

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA**  
**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana**

**ANÁLISE DO MANEJO DAS ÁGUAS PLUVIAIS NO MUNICÍPIO DE  
SÃO CARLOS - ESTUDO DA BACIA DO CÓRREGO SANTA MARIA  
DO LEME**

MÁRIO HENRIQUE DIAS PELISSARI

São Carlos  
2016

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA**  
**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana**

**ANÁLISE DO MANEJO DAS ÁGUAS PLUVIAIS NO MUNICÍPIO DE  
SÃO CARLOS - ESTUDO DA BACIA DO CÓRREGO SANTA MARIA  
DO LEME**

**MÁRIO HENRIQUE DIAS PELISSARI**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Urbana.

**ORIENTADOR: PROF. DR. JOÃO SÉRGIO CORDEIRO**

São Carlos  
2016

Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da Biblioteca Comunitária UFSCar  
Processamento Técnico  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

P384a Pelissari, Mário Henrique Dias  
Análise do manejo das águas pluviais no município  
de São Carlos : estudo da bacia do córrego Santa  
Maria do Leme / Mário Henrique Dias Pelissari. --  
São Carlos : UFSCar, 2016.  
167 p.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de  
São Carlos, 2016.

1. Manejo das águas pluviais. 2. Drenagem urbana.  
3. Escoamento superficial. 4. Plano diretor. I.  
Título.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

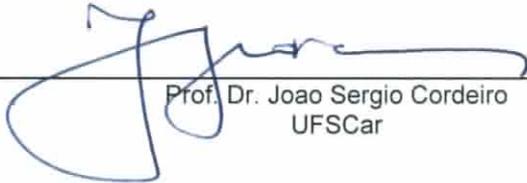
Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana

---

**Folha de Aprovação**

---

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Mário Henrique Dias Pelissari, realizada em 31/03/2016:



---

Prof. Dr. Joao Sergio Cordeiro  
UFSCar



---

Prof. Dr. Simone Pereira Casali  
USP



---

Profa. Dra. Cali Laguna Achon  
UFSCar

## **AGRADECIMENTOS**

*A Deus pela condução de minha vida.*

*Aos meus pais Antonio e Lúcia, por serem meus primeiros e mais importantes professores, meus exemplos.*

*A maior dádiva, minha esposa Juliana, pelo amor e pelo constante apoio em tudo.*

*As minhas irmãs Lucilene e Christina e aos meus cunhados que sempre torceram por mim.*

*Ao meu sobrinho irmão Matheus que chegou e alegrou nossas vidas.*

*A minha sogra Márcia e a dona Olga, pelo grande apoio nos momentos em que precisei.*

*Aos meus eternos avós e a todos os familiares pelo apoio.*

*Aos meus grandes amigos: Santos, Michele e Ana Alice; Marcos Martinez e Nilsa; Fernando e Jessica; Elievan, Sofia e Laura; e Samuel.*

*Ao professor João Sérgio Cordeiro, pela orientação, disponibilidade, paciência e amizade.*

*Aos demais professores e funcionários do Programa de Pós Graduação em Engenharia Urbana da UFSCar, pela oportunidade e auxílio durante o desenvolvimento da pesquisa.*

*Ao professor Almir Sales, pelos conselhos e estrutura disponibilizada.*

*Aos companheiros de trabalho, pela amizade e apoio nesta jornada, em especial ao Mateus Morasco, Flávio Micheloni, Jáiro Sales, Marcio Marino, Pedro Caballero e Paulo Vaz Filho, e a todos os demais funcionários da Prefeitura Municipal de São Carlos que contribuíram para realização deste trabalho.*

## RESUMO

Um dos grandes desafios dos municípios brasileiros é harmonizar o crescimento urbano com a oferta de serviços públicos. São Carlos, um município do interior Paulista, também busca resolver esta questão. A falta de planejamento urbano aliada a ausência de medidas de controle de ocupação favorecem a impermeabilização do solo, que por sua vez é a responsável pelos alagamentos nos fundos de vale. Considerando esse cenário, apresenta-se como objeto desse estudo a bacia do córrego Santa Maria do Leme, uma bacia que mesmo pouco urbanizada, sofre com a ocorrência de alagamentos na região de sua foz. O objetivo desse trabalho foi identificar os principais fatores que contribuem para a ocorrência dos alagamentos na bacia. Para tanto, foram realizadas as seguintes análises: Análise cronológica da evolução do coeficiente de escoamento superficial e da vazão de projeto pelo Método Racional; Análise da velocidade e da capacidade de escoamento das travessias urbanas; e Análise dos principais instrumentos legais e das ações diretas da municipalidade na gestão da drenagem urbana. Os resultados obtidos apontam um diagnóstico problemático da região, pois das seis travessias analisadas, somente duas possuem capacidade de escoamento suficiente para a vazão de projeto atual, e o Plano Diretor municipal indica a região livre dessa bacia como área de potencial expansão urbana, fato que pode agravar ainda mais os problemas.

**Palavras-chave:** Manejo das águas pluviais, drenagem urbana, Escoamento superficial, Plano Diretor.

## **ABSTRACT**

A major challenge of Brazilian municipalities is to harmonize urban growth with the provision of public service. São Carlos, a municipality in the State of São Paulo also tries to solve this issue. The lack of urban planning coupled with the absence of occupation control measures promotes the soil sealing, which is responsible for the flooding in the valley bottoms. Considering this scenario, the object of study of this dissertation is the creek watershed Santa Maria do Leme. This watershed, even undeveloped, suffers with the occurrence of flooding in the region of its mouth. The aim of this study was to identify the main factors that contribute directly or indirectly with the flooding in the watershed. To this end, the following analyzes were performed: chronological analysis of the evolution of the runoff coefficient and the design flow by Rational Method ; analysis of velocity and capacity of flow in urban crossings; and analysis of the main legal instruments and the direct actions of the municipality in the management of urban drainage. The results indicate a problematic assessment of the region. Were analysed six crossings and only two have enough transport capacity for the flow of current project, and the municipal Master Plan indicates the region free of this basin as a potential area of urban expansion, a fact that may further aggravate the problems.

**Keywords:** Management of stormwater, urban drainage, surface runoff, Master Plan.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação do Ciclo Hidrológico.....	21
Figura 2 - Diagrama de metodologias de cálculo de vazões.....	27
Figura 3 - Execução de Caixa e galerias de microdrenagem.....	29
Figura 4 - Obras de macrodrenagem, Córrego Gregório, São Carlos – SP.....	30
Figura 5 - Obras de macrodrenagem, Córrego Gregório, São Carlos – SP.....	30
Figura 6 - Evolução da mancha urbana da cidade de São Paulo.....	36
Figura 7 – Evolução das populações rural e urbana do Brasil (1940 a 2010).....	37
Figura 8 - Hidrograma de uma área urbanizada e não urbanizada.....	38
Figura 9 - Efeito da urbanização em bacias com área de uma milha quadrada.....	39
Figura 10 - Características do balanço hídrico numa bacia urbana.....	41
Figura 11 - Identificação do fundo de vale.....	42
Figura 12 - Planícies de escoamento nos fundos de vale.....	42
Figura 13 - Perfil esquemático do processo de enchente e inundação.....	45
Figura 14 - Exemplo de bacia.....	47
Figura 15 - Exemplo de obra linear.....	47
Figura 16 - Exemplo de poço de infiltração.....	48
Figura 17 – Variações dos diferentes tipos de técnicas compensatórias.....	49
Figura 18 - As cheias do Rio Túria em 1897.....	50
Figura 19 - Vista do Hospital Militar as margens do Rio Túria.....	50
Figura 20 - Ocupação no leito do Rio Túria em 1949.....	51
Figura 21 - Inundações no Rio Túria em 1957.....	51
Figura 22 - Inundações no Rio Túria em 1957.....	52
Figura 23 - Plano Sul, desvio do Rio Túria.....	52
Figura 24 - Parques de Valência.....	53
Figura 25- A Cidade das Artes e das Ciências.....	53
Figura 26 - Inundações na Região de Saitama antes da execução das obras.....	54
Figura 27 - Representação gráfica do sistema contra inundações em Tóquio.....	55
Figura 28 - Tanque do sistema contra inundações em Tóquio.....	55
Figura 29 - Inundação ocorrida no ano de 1915.....	56
Figura 30 - Túnel para controle de inundações.....	57
Figura 31 – Região do município de São Carlos.....	66

Figura 32 – Mapa pedológico da cidade de São Carlos.....	67
Figura 33 – Mapa hipsométrico da cidade de São Carlos.....	68
Figura 34 - Bacias da cidade de São Carlos. ....	70
Figura 35 – Sub-bacias da cidade de São Carlos. ....	71
Figura 36 – Sub-bacia do córrego Santa Maria do Leme.....	73
Figura 37- Inundação na Avenida Liberdade – Parque do Kartódromo. ....	75
Figura 38- Inundação na Avenida Eliza Gonzales Rabelo – Parque do Kartódromo. .....	75
Figura 39- Distâncias dos alinhamentos ao eixo do córrego Sta. Maria do Leme.....	76
Figura 40 – Fluxograma da pesquisa.....	78
Figura 41 - Vista da área de pastagem a montante da nascente N1. ....	89
Figura 42 - Vista da área de preservação permanente da nascente N1 .....	89
Figura 43 - Vista geral do primeiro barramento a jusante da nascente N1. ....	90
Figura 44 - Vista geral do segundo barramento a jusante da nascente N1.....	90
Figura 45 - Vista geral do segundo barramento a jusante da nascente N1 – vegetação ao fundo.....	90
Figura 46 - Vista do extravasor do segundo barramento a jusante da nascente N1 – bica.....	90
Figura 47 - Vista da nascente N2, próxima à região dos condomínios Damha.....	91
Figura 48 - Vista do dissipador de energia localizado a montante da nascente N2. .	91
Figura 49 - Leito do córrego à jusante do dissipador de energia destacado na Figura 47. ....	91
Figura 50 - Vista da área de preservação permanente localizada a montante da nascente N2. ....	91
Figura 51 - Leito do córrego à jusante da nascente N2 – lançamento clandestino de esgotos.....	92
Figura 52 - Vista do leito do córrego, observa-se isolamento com cerca – atividade pecuária.....	92
Figura 53 - Vista da nascente N3, próxima à região do loteamento Jd. Embaré.....	92
Figura 54 - Vista da área de pastagem localizada a jusante da nascente N3 – APP ao fundo. ....	92
Figura 55 - Vista de região da nascente N4, verificou-se a vegetação densa, porém não foi encontrado afloramento de água.....	93
Figura 56 - Vista da região da nascente N4 pela rodovia Washington Luís.....	93

Figura 57 - Cruzamento do córrego com a Rodovia Washington Luís, a jusante da nascente N5 (seção aproximada de 2,50 x 2,00 m).....	93
Figura 58 - Vista da vegetação a jusante do cruzamento referido na Figura 56. ....	93
Figura 59 - Vista de um açude utilizado para os animais tomarem água – atividade pecuária.....	94
Figura 60 - Vista geral da região do encontro das águas das nascentes N1 a N6....	94
Figura 61 - Vista geral da área de plantio para adensamento da mata ciliar e recomposição da APP.....	94
Figura 62 - Vista do leito do córrego águas das nascentes N1 a N5.....	94
Figura 63 - Cruzamento do córrego com a Rodovia Washington Luís, a jusante da nascente N6 (Ø1000mm).....	94
Figura 64 - Vista da vegetação a jusante do cruzamento referido na Figura 62. ....	94
Figura 65 - Vista geral do reservatório público de amortecimento de cheias com volume útil aproximado de 16.000m <sup>3</sup> - Sítio Paraíso.....	95
Figura 66 - Vista do reservatório, verificou-se a existência de um afloramento de água dentro do mesmo. ....	95
Figura 67 - Vista de uma antiga nascente na região da nascente N6. Ao fundo, observa-se a recomposição da vegetação por plantio. ....	96
Figura 68 - Nascente N6 – Sítio Paraíso.....	96
Figura 69 - Leito do córrego na região da nascente N6. ....	96
Figura 70 - Cruzamento do córrego com a Rodovia W. L., jusante da nascente N6 (Ø 1000mm). ....	96
Figura 71 - Nascente N5, localizada no Sítio Paraíso. Vista de um açude para animais tomarem água – atividade pecuária.....	97
Figura 72 - Nascente N5, Sítio Paraíso.....	97
Figura 73 - nascente N5, Sítio Paraíso. ....	97
Figura 74 - Vista do barramento localizado a jusante da nascente N5, Sítio Paraíso. ....	97
Figura 75 - Vista da seção do córrego a jusante da nascente N5 (Sítio Paraíso). Rodovia Washington Luís ao fundo.....	98
Figura 76 - Cruzamento do córrego com a Rodovia W. L., jusante da nascente N5 (Ø 800mm). ....	98
Figura 77 - Vista da vegetação a jusante do cruzamento com a Rodovia Washington Luís, nascentes N1 a N6. Ao fundo, as galerias em aço.....	99

Figura 78 - Cruzamento do córrego com a Rodovia Washington Luis, águas das nascentes N1 a N6 ( 2 Ø 1000mm). .....	99
Figura 79 - Vista da mata ciliar do córrego na região do cruzamento com a Rodovia Washington Luís, águas das nascentes N1 a N6.....	99
Figura 80 - Cruzamento do córrego com a Rodovia Washington Luís (seção 2 x 1,60 x 1,20 m). .....	99
Figura 81 - Seção do córrego a jusante do último cruzamento com a Rodovia Washington Luís, ao fundo APP densa.....	100
Figura 82 - Seção do córrego na região do Distrito Industrial, paralela a Rua Arlis Partel.....	100
Figura 83 - Vista do dissipador de energia em pedras argamassadas na nascente N7. Ao fundo mata ciliar. ....	100
Figura 84 - Vista do lançamento de águas pluviais sobre a nascente N7, região do Jd. Acapulco.....	100
Figura 85 - Seção do córrego a jusante da nascente N7, paralela a Rua Miguel Abdelnur Filho. ....	101
Figura 86 - Execução de serviços para manutenção de rede de esgoto, onde ocorriam vazamentos e contaminação do córrego.....	101
Figura 87 - Seção do córrego a jusante da nascente N7, paralela a Rua Miguel Abdelnur Filho. ....	102
Figura 88 - Vista do córrego, montante da primeira travessia perpendicular à Rua Miguel A. Filho.....	102
Figura 89 - Vista da seção da primeira travessia perpendicular à Rua Miguel A. Filho (3,00x3,00m). ....	102
Figura 90 - Vista da mata ciliar do córrego, a jusante da primeira travessia perpendicular à Rua Miguel Abdelnur Filho. ....	102
Figura 91 - Vista do bosque Cambuí, jusante da nascente N7. ....	102
Figura 92 - Vista do bosque Cambuí, jusante da nascente N7. ....	102
Figura 93 - Seção do córrego, águas das nascentes N1 a N7, córrego segue paralelo à Av. Eliza Gonzales Rabelo.....	103
Figura 94 - Vista da Av. Eliza Gonzales Rabelo, início da APP ocupada pela urbanização.....	103
Figura 95 - Seção do córrego a montante da passarela no alinhamento da Rua Brás Cubas.....	104

Figura 96 - Passarela no alinhamento da Rua Brás Cubas, Jardim Hikare ( Seção 4 x 3,00 x 3,00m). Ausência de manutenção. Região urbanizada. ....	104
Figura 97 - Seção do córrego a jusante da passarela no alinhamento da Rua Brás Cubas. ....	104
Figura 98 - Seção do córrego a montante da travessia no alinhamento da Rua João Ramalho. ....	104
Figura 99 – Travessia no alinhamento da Rua João Ramalho, Jd. Hikare (seção 4,50 x 2,20m). Região urbanizada. ....	104
Figura 100 – Seção do córrego a jusante da travessia no alinhamento da Rua João Ramalho. ....	104
Figura 101 - Seção do córrego a montante da travessia no alinhamento da Rua Oscar de Souza Geribelo, Jd. Nova Sta. Paula. ....	105
Figura 102 - Travessia no alinhamento da Rua Oscar de Souza Geribelo. (Seção 3,00 x 2,00 x 2,00 + 2,50 x 2,00 m). Manutenção. ....	105
Figura 103 - Seção do córrego a jusante da travessia no alinhamento da Rua Oscar de Souza Geribelo, Jd. Nova Sta. Paula. ....	106
Figura 104 - Travessia no alinhamento da Rua Oscar de Souza Geribelo. Funcionamento de apenas uma aduela pela ausência de manutenção. ....	106
Figura 105 - Seção do córrego a jusante da travessia da Rua Oscar de Souza Geribelo. Acúmulo de sedimentos ao lado dos gabiões. ....	106
Figura 106 - Área de preservação permanente ao lado da Av. Eliza G. rabelo, Parque do Kartódromo, Jd. Nova Sta. Paula. Região Urbana. ....	106
Figura 107 - Seção do córrego a montante da travessia da Alameda dos Crisântemos. Acúmulo de sedimentos pela ausência de manutenção. ....	106
Figura 108 - Vista a montante da travessia da Alameda dos Crisântemos (seção 4,00 x 2,00 x 2,00m). ....	106
Figura 109 - Vista a jusante da travessia da Alameda dos Crisântemos, ponto de desague no córrego Monjolinho. Acúmulo de sedimentos pela ausência de manutenção. Região urbanizada. ....	107
Figura 110 - Vista do córrego Monjolinho com a contribuição do córrego Santa Maria do Leme. Travessias na Alameda dos Crisântemos. ....	107
Figura 111 - Mapa cronológico da ocupação urbana. ....	109
Figura 112 – Gráfico da evolução da urbanização da bacia (%). ....	111
Figura 113 - Divisão das áreas da bacia. ....	112

Figura 114 - Mapa cronológico – divisão do Método Racional.....	114
Figura 115 – Evolução dos coeficientes de escoamento superficial. ....	119
Figura 116 – Vazões reais acumuladas, análise do período de urbanização. ....	123
Figura 117 – Travessias da área urbana.....	126
Figura 118 – Topografia da região dos alagamentos. ....	129
Figura 119 – Vazões reais acumuladas, análise do período de urbanização. ....	133
Figura 120 – Croqui do reservatório do sítio Paraíso. ....	140

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores recomendados para o coeficiente (c) Runoff.....	23
Tabela 2 - Máximas intensidades de chuvas em São Carlos (mm/h).....	24
Tabela 3 - Período de retorno das principais obras.....	26
Tabela 4 - Evolução das populações rural e urbana no Brasil (1940 a 2010). ....	37
Tabela 5 – Características das sub-bacias da cidade de São Carlos. ....	72
Tabela 6- Enchentes no córrego Sta. Maria do Leme – jan. 2005 a agosto 2014.....	77
Tabela 7 - Numeração, ano de implantação e área dos empreendimentos. ....	110
Tabela 8 - Características físicas das áreas A1 a A6.....	113
Tabela 9 - Dados dos empreendimentos compreendidos dentro da Área 1. ....	115
Tabela 10 - Dados dos empreendimentos compreendidos dentro da Área 2. ....	115
Tabela 11 - Dados dos empreendimentos compreendidos dentro da Área 3. ....	115
Tabela 12 - Dados dos empreendimentos compreendidos dentro da Área 4. ....	115
Tabela 13 - Dados dos empreendimentos compreendidos dentro da Área 5. ....	116
Tabela 14 - Dados dos empreendimentos compreendidos dentro da Área 6. ....	116
Tabela 15 – Dados cadastrais dos empreendimentos .....	117
Tabela 16 – Coeficientes de escoamento superficial resultantes.....	118
Tabela 17 –Vazões de projeto resultantes. ....	122
Tabela 18 – Vazões de projeto acumuladas - urbanização da bacia. ....	123
Tabela 19 – Dados característicos das travessias. ....	130
Tabela 20 – Cálculo da capacidade de escoamento das travessias. ....	130
Tabela 21 – Cálculo das vazões de projeto nas travessias.....	132
Tabela 22 – Comparação da vazão de projeto nas travessias com capacidade de escoamento das travessias. ....	132
Tabela 23 – Velocidade do escoamento nas travessias. ....	134
Tabela 24 – Características do córrego nas seções a montante das travessias.....	135
Tabela 25 – Cálculo da velocidade de escoamento nas seções do córrego, a montante das travessias.....	135
Tabela 26 – Comparação entre as velocidades de escoamento.....	136

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Componentes e objetivos dos cinco pilares do ecodesenvolvimento.....	32
Quadro 2 - Resumo da análise dos instrumentos legais e das ações diretas da municipalidade. ....	142

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Ciclo hidrológico.....	21
Equação 2 - Intensidade pluviométrica - Equação de Barbassa .....	23
Equação 3 - Tempo de concentração .....	25
Equação 4 - Risco para definição do Período de Retorno .....	26
Equação 5 - Método Racional. ....	28
Equação 6 - Vazão de projeto no ponto P1.....	122
Equação 7 - Vazão de projeto no ponto P2.....	122
Equação 8 - Vazão de projeto no ponto P3.....	123
Equação 9 - Vazão de projeto no ponto P4.....	123
Equação 10 - Vazão de projeto no ponto P5.....	123
Equação 11 - Vazão de projeto no ponto P6.....	123
Equação 12 - Equação de Manning. ....	127
Equação 13 - Equação da Continuidade.....	127

## SUMÁRIO

1.	<b>INTRODUÇÃO</b>	18
1.1.	Objetivo	19
2.	<b>EMBASAMENTO TEÓRICO</b>	20
2.1.	Águas pluviais	20
2.1.1.	Ciclo hidrológico	20
2.1.2.	Conceitos gerais de hidrologia	22
2.1.2.1.	Escoamento superficial	22
2.1.2.2.	Intensidade pluviométrica	23
2.1.2.3.	Tempo de concentração	24
2.1.2.4.	Período de retorno	25
2.1.2.5.	Vazões	26
2.1.3.	Micro e macrodrenagem	28
2.2.	Meio urbano	31
2.2.1.	Ecodesenvolvimento e Desenvolvimento Sustentável	31
2.2.2.	O uso e ocupação do solo	34
2.2.3.	Considerações sobre a urbanização das cidades brasileiras	35
2.2.4.	Impactos da urbanização na drenagem urbana	38
2.2.5.	Os impactos da urbanização no ciclo hidrológico	40
2.2.6.	A ocupação dos fundos de vale	41
2.2.7.	Áreas vulneráveis	43
2.2.8.	Inundações e enchentes	44
2.2.9.	Técnicas compensatórias	45
2.2.10.	Exemplos de obras internacionais contra enchentes	49
2.3.	Legislação pertinente	57
2.3.1.	Legislação sobre a questão da drenagem urbana	57
2.3.2.	Planos diretores	58
2.3.3.	A drenagem urbana nos Planos diretores	60
2.3.4.	A questão da drenagem urbana no Plano Diretor de São Carlos	61
2.3.5.	O Plano Diretor de Drenagem Ambientalmente Sustentável de São Carlos	62

2.3.6.	Diretrizes para projetos de Drenagem Urbana em São Carlos.....	63
2.4.	Análise crítica do embasamento teórico.....	64
<b>3.</b>	<b>OBJETO DE ESTUDO.....</b>	<b>66</b>
3.1.	A cidade de São Carlos.....	66
3.2.	Hidrografia do Município.....	69
3.3.	Sub-bacia do córrego Santa Maria do Leme.....	72
3.4.	Inundações na Sub-bacia do córrego Santa Maria do Leme.....	74
<b>4.</b>	<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....</b>	<b>78</b>
4.1.	Etapa 1 – Embasamento teórico.....	78
4.2.	Etapa 2 – Objeto de Estudo.....	79
4.2.1.	Mapa base do município.....	79
4.2.2.	Mapas de aprovação dos empreendimentos.....	80
4.2.3.	Ficha cadastral.....	80
4.2.4.	Índices de precipitações pluviométricas.....	81
4.2.5.	Levantamento topográfico.....	81
4.2.6.	Dados complementares.....	82
4.3.	Etapa 3 – Resultados.....	82
4.3.1.	Visitas em campo.....	82
4.3.2.	Mapa cronológico da ocupação urbana.....	83
4.3.3.	Evolução do coeficiente de escoamento superficial e estimativa da vazão de projeto através do Método Racional.....	84
4.3.4.	Análise hidráulica das travessias implantadas da região urbanizada da bacia.....	85
4.3.5.	Análise dos instrumentos legais e das ações públicas municipais na gestão da drenagem urbana.....	87
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>89</b>
5.1.	Relatório fotográfico das visitas em campo.....	89
5.2.	Mapa cronológico da ocupação urbana.....	107
5.3.	Evolução do coeficiente de escoamento superficial e da vazão de projeto através do Método Racional.....	111
5.3.1.	Evolução do coeficiente de escoamento superficial.....	111

5.3.2.	Evolução da vazão de projeto estimada .....	120
5.4.	Análise hidráulica das travessias implantadas da região urbanizada da bacia 124	
5.4.1.	Capacidade de escoamento das travessias na seção plena .....	130
5.4.2.	Velocidade do escoamento nas travessias .....	134
5.4.3.	Velocidade de escoamento no córrego à montante das travessias .....	134
5.4.4.	Verificação dos pontos críticos no escoamento do córrego - Possíveis formações de remansos hidráulicos.....	136
5.5.	Análise dos instrumentos legais e das ações públicas municipais na gestão da drenagem urbana do município .....	137
5.5.1.	Instrumentos Legais.....	137
5.5.2.	Ações executivas .....	139
5.5.3.	Quadro resumo das análises e propostas.....	142
6.	<b>CONCLUSÕES</b> .....	145
6.1.	Manejo das águas pluviais .....	145
6.2.	Sugestões para trabalhos futuros .....	146
7.	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	147
8.	<b>ANEXOS</b> .....	154

# 1. INTRODUÇÃO

A concentração populacional nos centros urbanos, intensificada pela revolução industrial no século XVIII, provocou o acelerado ritmo de mudanças ambientais, sociais e econômicas no meio urbano.

Com o processo de ocupação do solo, a parcela da precipitação que antes infiltrava ou ficava retida no solo e vegetações, escoava superficialmente, chegando mais rápido ao corpo d'água e exigindo maior capacidade de escoamento do mesmo.

Somado a problemática do acréscimo de vazão gerado pela urbanização, nos municípios brasileiros, a apropriação das melhores áreas urbanas pelo mercado imobiliário e a insuficiência de áreas destinadas às moradias populares, levou as classes sociais menos favorecidas a ocuparem as áreas ambientalmente frágeis, susceptíveis às enchentes.

Na tentativa de resolver problemas desta ordem, foi implantada a Lei Federal nº 10.257/2001 denominada de “Estatuto da Cidade” que teve por objetivo estabelecer as normas e os instrumentos públicos de interesse social e de controle ao uso do solo.

Um dos principais instrumentos apresentados no Estatuto da Cidade é o Plano Diretor que possui o objetivo de definir as diretrizes básicas para expansão urbana, parcelamento, uso e ocupação do solo, e implantação de infraestrutura.

Na cidade de São Carlos, no dia 25 de novembro de 2005 foi instituída a Lei Nº 13.691/2005, denominada de “Plano Diretor Municipal” buscando a mitigação dos problemas relacionados ao planejamento urbano.

No tocante a gestão da drenagem urbana, o Plano Diretor traz no seu artigo 103º a seguinte redação:

*“O projeto de drenagem constituído por poços de infiltração, bacias de retenção de águas pluviais, dispositivos de dissipação de energia, pavimentos permeáveis e demais componentes do sistema, devem ser concebidos e implantados de tal modo que a vazão de escoamento seja mantida dentro das condições originais da área antes de ser urbanizada, reduzindo-se o impacto da urbanização nos fundos de vale e nos corpos d'água” (SÃO CARLOS, 2005).*

No entanto, a urbanização da cidade iniciou-se muito antes da promulgação da lei do Plano Diretor, e acompanhada a ela, vieram os problemas relacionados ao manejo das águas pluviais.

Uma das bacias urbanas que mais sofre com a ocorrência desses problemas é a bacia do córrego Santa Maria do Leme, parte integrante da principal bacia urbana da cidade, a bacia do córrego Monjolinho.

A busca pela redução e controle dos impactos negativos causados pelo homem no meio urbano vem se tornando a principal preocupação do planejamento e da gestão pública.

Estudos para a interpretação dos problemas do manejo das águas pluviais nas bacias urbanas tornam-se importantes instrumentos para o reequilíbrio do planejamento, assim como a avaliação das consequências da ocupação das áreas livres, que, se ocupadas, poderão provocar a intensificação dos alagamentos.

### **1.1. Objetivo**

O objetivo do presente trabalho é analisar a forma de manejo das águas pluviais e as possíveis consequências futuras da ocupação do solo na bacia do córrego Santa Maria do Leme.

Para tanto, adotaram-se como objetivos específicos a realização das seguintes análises:

- Visitas em campo;
- Mapa cronológico da ocupação urbana;
- Evolução do coeficiente de escoamento superficial e da vazão de projeto através do Método Racional;
- Análise hidráulica das travessias implantadas da região urbanizada da bacia;
- Análise dos instrumentos legais e das ações públicas municipais na gestão da drenagem urbana do município.
- Apresentação de propostas mitigadoras.

## 2. EMBASAMENTO TEÓRICO

### 2.1. *Águas pluviais*

Ao longo da história evolutiva das aglomerações urbanas nota-se a fundamental ligação existente entre o homem e os cursos d'água. O homem sempre buscou nos cursos d'água suprimento para seu consumo, higiene e disposição dos dejetos. No entanto, a proximidade desta relação obrigou o homem a conviver com problemas de inundações, uma vez que esses mesmos cursos d'água são responsáveis por receber e escoar parcelas das águas precipitadas nas bacias ocupadas.

Considerando este cenário, faz-se necessário aprofundar o conhecimento sobre a movimentação natural da água no ambiente para buscar o equilíbrio nesta relação.

#### 2.1.1. *Ciclo hidrológico*

O termo ciclo hidrológico pode ser traduzido como o movimento da água em seus diferentes estados no ambiente, ou seja, é o processo de circulação da água em diferentes locais da hidrosfera. O fenômeno de movimentação da água somente ocorre em função das mudanças do estado físico da água (SEESP, 2004).

De acordo com a Secretaria de Estado da Educação de São Paulo (2004), caracterizam-se como etapas do ciclo hidrológico os seguintes processos:

a) Precipitação: Trata-se do volume de água que cai sobre a superfície através de chuvas, granizos, orvalhos, nevadas, etc. Após cair, o volume de água pode escoar superficialmente, evaporar ou infiltra no solo.

b) Escoamento superficial: É o deslocamento da água sobre o terreno que ocorre em função da gravidade, transportando a água às regiões baixas.

c) Infiltração: Corresponde à água que é absorvida pelo solo, abastecendo as nascentes e formando os lençóis subterrâneos.

d) Evaporação: É o processo natural de transferência da água para a atmosfera, onde a água passa do estado líquido para o gasoso através da energia do calor.

e) Evapotranspiração: Trata-se do processo de evaporação da transpiração da vegetação que retira a água do solo pelas raízes e a transfere até as folhas onde ocorre o processo.

Os processos do ciclo hidrológico podem ser visualizados na Figura 1.

De acordo com esta linha de raciocínio, admite-se que o ciclo hidrológico se representa pela Equação 1.

$$P = I + ES + EV + EVT$$

Equação 1

Onde:

P = Precipitação (volume)

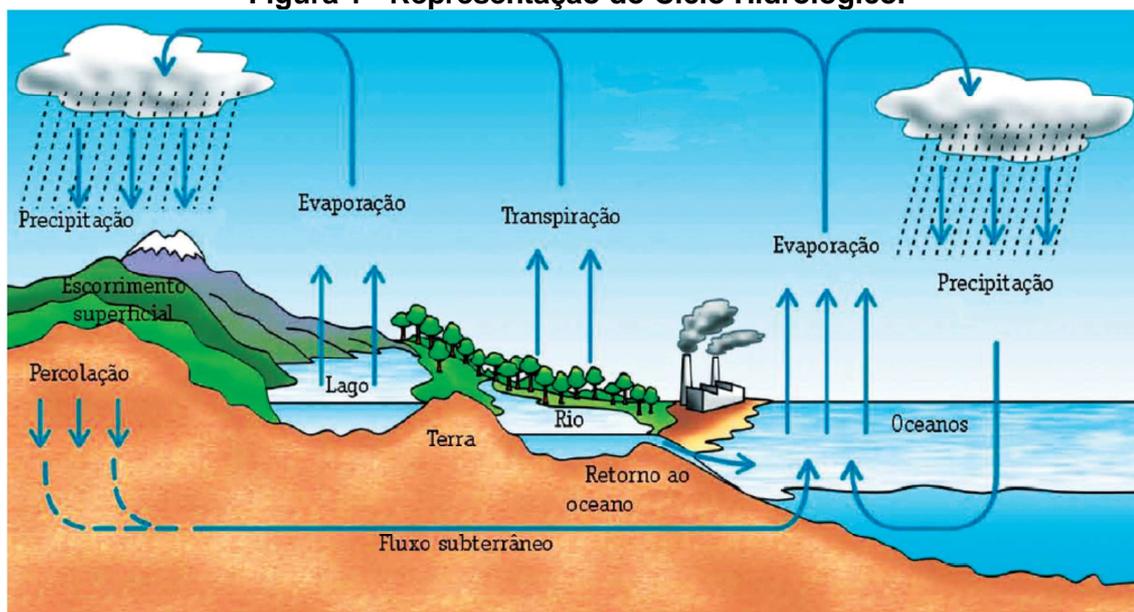
I = Infiltração (volume)

ES = Escoamento superficial (volume)

EV = Evaporação (volume)

EVT = Evapotranspiração (volume)

Figura 1 - Representação do Ciclo Hidrológico.



(Fonte: SEESP, 2004)

## **2.1.2. Conceitos gerais de hidrologia**

Define-se como hidrologia a ciência que estuda a movimentação da água no planeta Terra (DAEE, 2014).

O conhecimento da ciência hidrológica assume grande importância na prevenção e mitigação dos desastres ocasionados pela dinâmica natural de movimentação da água e agravada pelas ações antrópicas na superfície terrestre.

A seguir, serão apresentados alguns conceitos básicos relacionados com esta ciência.

### **2.1.2.1. Escoamento superficial**

O escoamento superficial é resultante da parcela da precipitação que se desloca livremente sobre a superfície da bacia, sendo foco da maioria dos estudos hidrológico ligados ao aproveitamento da água superficial e à proteção contra os fenômenos provocados pelo seu deslocamento (VILLELA, 1975).

O escoamento superficial sofre interferência direta de fatores climáticos como a intensidade e tempo de duração das precipitações e dos fatores fisiográficos como a forma e a topografia da bacia bem como a permeabilidade do solo (VILLELA, 1975).

Pode se obter o escoamento superficial de forma direta através da adoção de um coeficiente único (c), denominado de Runoff. Esta metodologia foi desenvolvida de forma empírica e considera as características fisiográficas da bacia como o grau de impermeabilização, tipo de cobertura da superfície, etc.(DAEE, 2005).

Nestas condições, considera-se que quanto menor a possibilidade de infiltração ou retenção no solo, maior será a parcela da precipitação que se transformará em escoamento superficial direto, resultando num valor mais elevado para o coeficiente “c” de runoff.

A Tabela 1, desenvolvida pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo – (DAEE, 2005) apresenta o resumo das faixas de valores de “c” para uso em projetos.

**Tabela 1 - Valores recomendados para o coeficiente (c) Runoff.**

USO DO SOLO OU GRAU DE URBANIZAÇÃO	Valores de C	
	Mínimos	Máximos
Área totalmente urbanizada	0,50	1,00
Área parcialmente urbanizada	0,35	0,50
Área predominantemente de plantações, pastos, etc.	0,20	0,35

(Fonte: DAEE, 2005)

### **2.1.2.2. Intensidade pluviométrica**

A intensidade de uma precipitação pode ser estimada através de uma análise estatística e de uma série de dados pluviométricos relativos à região de estudada.

A observação dos dados pluviométricos possibilita a realização de uma análise de frequência e probabilidade de ocorrência dos eventos, levando a determinação de uma curva característica que representa as três fundamentais características de uma precipitação: a intensidade, a duração e a frequência (DAEE, 2005).

Porém, para realização dessa estimativa, preliminarmente, faz-se necessário conhecer o Período de retorno e a duração do evento chuvoso.

As “Curvas I-D-F” (intensidade, duração e frequência das precipitações), também podem ser resumidas em equações e tabelas, resultante de análises estatísticas em séries de dados dos postos pluviométricos.

Como forma de exemplo, apresentamos a equação desenvolvida por Barbassa (1991) para o município de São Carlos (Equação 2) que utilizou uma série de dados pluviométricos ao longo de 27 anos.

$$i = (t + 16)^{-0,935} \cdot 25,33T^{0,236} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

i = Intensidade pluviométrica (mm/min)

t = Duração da chuva (min)

T= Período de retorno (anos)

A Tabela 2 apresenta o resultado da aplicação da equação em diversos tempos de duração de chuva e períodos de retorno.

**Tabela 2 - Máximas intensidades de chuvas em São Carlos (mm/h).**

Duração t (min.)	Período de retorno T (anos)								
	2	5	10	15	20	25	50	100	200
<b>10</b>	85,1	105,6	124,4	136,9	146,5	154,4	181,9	214,2	252,2
<b>20</b>	62,8	77,9	91,8	101,0	108,1	113,9	134,2	158,0	186,1
<b>30</b>	49,9	62,0	73,0	80,3	85,9	90,6	106,7	125,6	148,0
<b>60</b>	31,2	38,7	45,6	50,2	53,7	56,6	66,7	78,6	92,5
<b>120</b>	18,1	22,5	26,5	29,1	31,2	32,9	38,7	45,6	53,7
<b>180</b>	12,9	16,0	18,8	20,7	22,2	23,4	27,5	32,4	38,2
<b>360</b>	7,0	8,7	10,2	11,3	12,1	12,7	15,0	17,6	20,8
<b>720</b>	3,7	4,6	5,5	6,0	6,4	6,8	8,0	9,4	11,1
<b>1080</b>	2,6	3,2	3,8	4,1	4,4	4,7	5,5	6,5	7,6
<b>1440</b>	2,0	2,5	2,9	3,2	3,4	3,6	4,2	5,0	5,9

(Fonte: DAEE, 2014)

O gráfico que representa as curvas I.D.F da equação de Barbassa (1991) é apresentado nos Anexos (ANEXO A) deste trabalho.

### **2.1.2.3. Tempo de concentração**

O tempo de concentração pode ser definido como o tempo necessário para que a água, precipitada no ponto mais distante da bacia, atinja o ponto interessado.

Consiste em uma das grandezas que distinguem o escoamento superficial, quantificando o tempo necessário para que toda a bacia contribua simultaneamente para o escoamento de uma dada seção (VILLELA, 1975).

De acordo com a definição, pode-se concluir que quando ocorrem precipitações com duração inferiores ao tempo de concentração, somente o deflúvio de parte da bacia está sendo considerado no hidrograma, no entanto, para precipitações as precipitações de longa duração, toda a área da bacia é considerada.

Para a obtenção do tempo de concentração, importantes características físicas da bacia devem ser consideradas, como comprimento do rio principal e as características da cobertura da superfície, relacionadas com o uso do solo.

O cálculo do valor correspondente ao tempo de concentração de uma bacia pode ser obtido de maneira direta ou indireta.

O método direto baseia-se em informações hidrometeorológicas, onde os valores correspondentes são obtidos através de representações gráficas. Este método é bastante utilizado, porém depende exclusivamente de registros (FARIAS JUNIOR, 2011).

Os métodos indiretos baseiam-se em informações secundárias, com a utilização de equações matemáticas deduzidas empiricamente em função da região estudada.

Como exemplo do método indireto do tempo de concentração e por estar relacionada nas diretrizes da agência reguladora no estado (DAEE), destaca-se a equação de Califórnia Culverts Practice (Equação 3) adaptada pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo, frequentemente utilizado para estudos hidrológicos dos municípios do estado de São Paulo:

$$tc = 85,2 \cdot (L^3 / \Delta H)^{0,385}$$

**Equação 3**

Onde:

tc = Tempo de concentração (min)

L= Comprimento do talvegue (Km)

$\Delta H$  = Desnível máximo da bacia (m)

#### **2.1.2.4. Período de retorno**

Define-se período de retorno como um intervalo de tempo necessário para que um determinado evento seja igualado ou superado.

O período de retorno está diretamente relacionado com o grau de segurança que se deseja proporcionar ao bem protegido. A escolha do período de retorno requer um estudo técnico-econômico que indique qual é o risco do capital. O risco, por sua vez, esta associado com os danos causados pelo evento chuvoso de mesma probabilidade que o de projeto e, portanto, deve ser minimizado (DAEE, 1994).

De acordo com o Manual de cálculo de vazões máximas, médias e mínimas das bacias hidrográficas do estado de São Paulo (DAEE, 1994), o período de retorno pode ser expresso pela Equação 4.

$$R = 1 - (1 - 1/T)^n$$

Equação 4

Onde:

R = Risco

T = Período de retorno (anos)

n = Horizonte de planejamento (anos)

A Tabela 3, elaborada pelo DAEE (1994) apresenta os Períodos de Retorno indicados em função do tipo da obra a ser projetada.

**Tabela 3 - Período de retorno das principais obras.**

<b>OBRAS DE MICRODRENAGEM</b>	<b>TIPOS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO</b>	<b>T (anos)</b>
Galerias e Ruas	Residencial	2
	Comercial, Edif. Públicos	5
	Comercial, Alta Valorização	5 a 10
<b>OBRAS DE MICRODRENAGEM</b>	<b>TIPOS DE REVESTIMENTO</b>	<b>T (anos)</b>
Canal a céu aberto	Terra, Gabião, Pedra Argamassada, Rachão	50
	Concreto	100
Pontes, Bueiros e Estruturas Afins	Concreto	100
Canal em galeria	Concreto	100
Diques marginais (em áreas urbanas)	Concreto	100

(Fonte: DAEE, 1994)

### 2.1.2.5. Vazões

A vazão pode ser expressa por qualquer relação entre as unidades de volume e tempo, porém na hidráulica e hidrologia geralmente é apresentada nas unidades de metros cúbicos por segundo (m<sup>3</sup>/s) ou em litros por segundo (l/s).

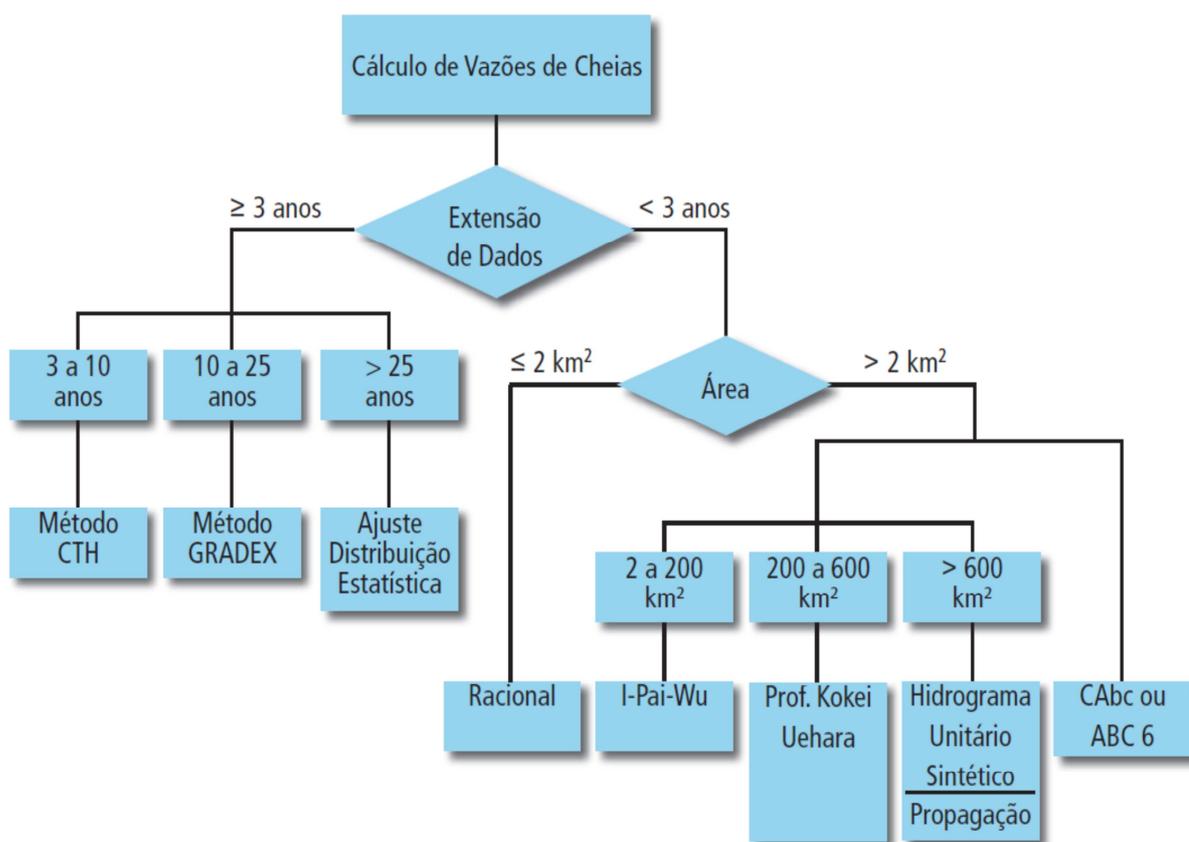
De acordo com o Guia Prático Para Projetos de Pequenas Obras Hidráulicas, desenvolvido pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo – (DAEE, 2005), a aplicação de uma metodologia para obter a vazão de uma

determinada bacia, deve ser condicionada ao conhecimento preliminar da extensão da série de dados fluviométricos existentes e o tamanho da área de drenagem.

A partir das séries históricas em períodos superiores a 3 anos, adotam-se métodos empíricos ou estatísticos para a obtenção da vazão, porém, para períodos inferiores a 3 anos adotam-se os métodos sintéticos.

A Figura 2 representa o fluxograma das metodologias indicadas para a determinação da estimativa de vazão, de acordo com DAEE (2005).

**Figura 2 - Diagrama de metodologias de cálculo de vazões.**



(Fonte: DAEE, 2005)

Apresenta-se a seguir o detalhamento do Método Racional, aplicável em bacias de até 2Km<sup>2</sup> de área.

### **a) Método Racional**

Por somente ser aplicável em pequenas bacias, o Método Racional não avalia a distribuição temporal da vazão, ou seja, considera que a precipitação ocorrendo simultaneamente e regularmente em toda a área (DAEE, 2005).

De acordo com DAEE (2005), a equação do Método Racional pode ser expressa por:

$$Q = 0,2778 \cdot c \cdot i \cdot AD$$

**Equação 5**

Onde:

Q = Vazão (m<sup>3</sup>/s)

c = Coeficiente de escoamento superficial – runoff (adimensional)

i = Intensidade da precipitação (mm/min)

AD = Área de drenagem (Km<sup>2</sup>)

A determinação do coeficiente de escoamento superficial e da intensidade pluviométrica utilizadas neste método seguem as especificações apresentadas nos itens anteriores.

### **2.1.3. Micro e macrodrenagem**

O sistema de drenagem urbana é composto por dois subsistemas principais denominados de sistema de microdrenagem e sistema de macrodrenagem.

#### **a) Microdrenagem**

Os sistemas de microdrenagem urbana, também conhecidos por sistema inicial de drenagem possuem o objetivo de captar e afastar as águas do escoamento superficial resultante das precipitações intensas com período de retorno de 2,5 a 10 anos (CETESB, 1979).

Os sistemas de microdrenagem são compostos pelos seguintes elementos: sarjetas, sarjetões, bocas de lobo, tubos e conexões, galerias, caixas de passagem ou ligação, poços de visita, muros de ala, e dissipadores de energia.

O funcionamento de um sistema de microdrenagem pode ser resumido da seguinte forma: O volume de água precipitada que não é absorvido pelo solo, escoam pelas guias / sarjetas, sarjetões e pavimento até ser captado pelas bocas de lobo, e destas, através de ramais de ligação, chegam às galerias de águas pluviais, para daí serem encaminhadas até os condutos finais localizados nos fundos de vale (VAZ FILHO, 2000).

A Figura 3 ilustra a execução de um sistema de microdrenagem.

**Figura 3 - Execução de Caixa e galerias de microdrenagem.**



(Fonte: [www.allparkpoloempresarial.com.br](http://www.allparkpoloempresarial.com.br), acessado em 15/04/2015)

## **b) Macrodrenagem**

Abrange o conjunto de galerias de águas pluviais, canais artificiais e canais naturais modificados, localizados em fundos de vale que constituem nos grandes troncos coletores.

O dimensionamento dos sistemas de macrodrenagem deve ser realizado considerando riscos elevados para evitar problemas com inundações, adotando tempos de retorno que variam de 10 a 100 anos (TUCCI, 2005).

A Figura 4 e a Figura 5 são exemplos de obras de macrodrenagem que foram realizadas na bacia do córrego do Gregório, na cidade de São Carlos.

**Figura 4 - Obras de macrodrenagem, Córrego Gregório, São Carlos – SP.**



(Fonte: Acervo próprio)

**Figura 5 - Obras de macrodrenagem, Córrego Gregório, São Carlos – SP.**



(Fonte: Acervo próprio)

Os sistemas de macrodrenagem objetivam-se a escoar todo o volume resultante do escoamento superficial da bacia, incluindo o volume conectado diretamente no corpo d'água receptor, proveniente dos sistemas de microdrenagem.

Contudo, pode-se concluir que uma obra de macrodrenagem se caracteriza por ser uma grande obra hidráulica com interferência direta no corpo d'água, como retificações, tamponamentos, canalizações, by-pass, etc.

## **2.2. Meio urbano**

O meio urbano é um ecossistema formado por dois sistemas intimamente relacionados: o natural, constituído pelos meios físicos e biológicos e o antrópico, constituído pelo homem e suas atividades. O grande desafio do ser humano está na busca do equilíbrio neste ecossistema (MOTA, 1999).

### **2.2.1. Ecodesenvolvimento e Desenvolvimento Sustentável**

Nos últimos 200 anos, o processo de desenvolvimento do ser humano alterou negativamente as características ambientais do planeta. A noção de desenvolvimento era atribuída unicamente ao crescimento econômico, excluindo a preocupação ambiental da questão (AMORIM, 2004).

Na contramão do antropocentrismo vigorante na economia mundial, onde o homem encarava a natureza como simples meio de produção geradora de riqueza, surgem nas Conferências Mundiais sobre Meio Ambiente de Estocolmo em 1972 e Ottawa em 1986, os conceitos de ecodesenvolvimento e desenvolvimento sustentável, onde a partir de uma visão holística, passa a encarar a questão do desenvolvimento como o conjunto de aspectos econômicos, políticos, culturais, sociais, e ambientais (MONTIBELLER FILHO, 1993).

#### **a) Ecodesenvolvimento**

O ecodesenvolvimento pode ser interpretado como o desenvolvimento autoproduzido, ou seja, que depende de sua força própria cujo objetivo é proporcionar a harmonização entre os objetivos sociais e econômicos através de uma gestão prudente dos recursos (SACHS, 1986).

Com base neste conceito, Montibeller Filho (1993) apresenta o Quadro 1, que sintetiza os cinco pilares do ecodesenvolvimento e seus objetivos.

**Quadro 1 - Componentes e objetivos dos cinco pilares do ecodesenvolvimento.**

<b>DIMENSÃO</b>	<b>COMPONENTES PRINCIPAIS</b>	<b>OBJETIVO</b>
<b>SUSTENTABILIDADE SOCIAL</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Criação de postos de trabalho que permitam renda individual adequada a melhor condição de vida e a melhor qualificação profissional.</li> <li>• Produção de bens dirigida prioritariamente às necessidades básicas sociais.</li> </ul>	<b>REDUÇÃO DAS DESIGUALDADES SOCIAIS</b>
<b>SUSTENTABILIDADE ECONÔMICA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fluxo permanente de investimentos públicos e privados (estes últimos com especial destaque para o cooperativismo).</li> <li>• Manejo eficiente dos recursos.</li> <li>• Absorção pela empresa dos custos ambientais.</li> <li>• Endogeneização: contar com suas próprias forças.</li> </ul>	<b>AUMENTO DA PRODUÇÃO DA RIQUEZA SOCIAL SEM DEPENDENCIA EXTERNA</b>
<b>SUSTENTABILIDADE ECOLÓGICA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produzir respeitando os ciclos ecológicos dos ecossistemas.</li> <li>• Prudência à produção de biomassa e à industrialização de insumos renováveis.</li> <li>• Redução do consumo energético.</li> <li>• Tecnologias e processos produtivos de baixo índice de resíduos.</li> <li>• Cuidados ambientais</li> </ul>	<b>QUALIDADE DO MEIO AMBIENTE E PRESERVAÇÃO DAS FONTES DE RECURSOS ENERGÉTICOS E NATURAIS PARA AS PRÓXIMAS GERAÇÕES</b>
<b>SUSTENTABILIDADE ESPACIAL OU GEOGRÁFICA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Descentralização espacial (de atividade, de população).</li> <li>• Descentralização - democratização local e regional do poder.</li> <li>• Relação cidade - campo equilibrada.</li> </ul>	<b>EVITAR EXCESSO DE AGLOMERAÇÕES</b>
<b>SUSTENTABILIDADE CULTURAL</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Soluções adaptadas a cada ecossistema.</li> <li>• Respeito à formação cultural comunitária.</li> </ul>	<b>EVITAR CONFLITOS CULTURAIS COM POTENCIAL REGRESSIVO</b>

(Fonte: MONTIBELLER, 1993)

## **b) Desenvolvimento Sustentável**

O desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento que atende as necessidades do presente sem comprometer as possibilidades das próximas gerações satisfazerem suas próprias necessidades (RAYNAULT, 1993).

No ano de 1986, durante a Conferência Mundial sobre a Conservação e o Desenvolvimento, realizada em Ottawa no Canadá o termo Desenvolvimento Sustentável e Equitativo foi colocado como um novo paradigma, tendo como princípios:

- Integrar conservação da natureza e desenvolvimento;
- Satisfazer as necessidades humanas fundamentais;
- Perseguir a equidade e a justiça social;
- Buscar a autodeterminação social e da diversidade cultural; e,
- Manter a integridade ecológica.

De acordo com Montibeller Filho (1993), a adoção desses princípios pressupõe na aceitação da tese básica de "produzir mais com menos". Nestas condições, algumas incoerências relacionadas ao padrão de consumo surgem à tona:

- O consumismo adotado pelo mundo globalizado pode ser mantido, expandido e difundido.
- O status do consumidor prevaleça sagrado
- A busca pela maior eficiência tecnológica proporcionará produzir cada vez mais, utilizado cada vez menos.

No entanto, fica evidenciada a preocupação com a disponibilidade dos recursos, poluição e degradação global, além das consequências causadas às futuras gerações.

Destacam-se como pontos comuns entre os conceitos Ecodesenvolvimento e Desenvolvimento Sustentável a preocupação com a questão ambiental, crítica ao consumo, à visão de longo prazo, a preocupação com o bem estar social e a solidariedade com as futuras gerações.

### **2.2.2. O uso e ocupação do solo**

Pode ser dizer que o termo “uso e ocupação do solo no meio urbano” se define como a atividade relacionada com a construção do espaço urbano, norteadas pelos dispositivos de controle das edificações, atividades e parcelamento do solo, que por sua vez definem o regime urbanização.

A ocupação de uma área deve ocorrer em função do zoneamento, que por sua vez, é um instrumento de gestão que estabelece, através de um conjunto de regulamentações, os tipos de uso adequados a cada porção do território (MOTA, 1999).

No entanto, as alterações no uso do solo em áreas urbanas provocam uma relação de contradição entre desenvolvimento e sustentabilidade, pois, ao mesmo tempo em que a moradia e o fornecimento das diversas infraestruturas buscam promover o bem estar, também criam problemas socioeconômicos e ambientais (ZAFFANI, 2012).

No Brasil, a ausência de controle e planejamento da ocupação do solo tem gerado transtornos e custos a sociedade e ao ambiente, pois a ocupação provocou o aumento na frequência de inundações, perda de biodiversidade, perda de qualidade dos recursos hídricos, crescimento na produção de sedimentos e aumento de problemas de saúde (TUCCI, 1997).

Pode-se dizer que a ocupação do solo é o fator determinante na poluição das áreas urbanas, pois a poluição é produzida em sua maior parte pelo despejo de esgotos sanitários ou águas residuárias, pelo lançamento de resíduos sólidos, pela drenagem urbana, pelas fontes acidentais e fontes atmosféricas. Além disso, as cargas pontuais difusas na água estão diretamente relacionadas com as fontes poluidoras (TUCCI, 2000).

Além dos graves problemas provocados pela alteração do uso do solo em áreas urbanas, outro fator que contribui para o descontrole da frequência e distribuição das precipitações, conseqüentemente para o aumento do número de desastres, é a mudança climática.

Um dos fatores relevantes para a mudança climática é a alteração no uso do solo. Isoladamente a alteração de uma pequena fração de área pode não ser muito significativa, porém, quando relacionamos as alterações de uso do solo que

ocorreram em um longo prazo, estas podem resultar em uma alteração significativa no balanço hídrico e conseqüentemente nas mudanças climáticas (TUCCI, 2000).

### **2.2.3. Considerações sobre a urbanização das cidades brasileiras**

*“O urbanismo é a condição moderníssima da nossa evolução social. Toda a nossa história é a história de um povo agrícola, é a história de uma sociedade de lavradores e pastores. É no campo que se forma a nossa raça e se elaboram as forças íntimas de nossa civilização”* (OLIVEIRA VIANNA, 1966).

De um modo geral, o processo de urbanização iniciou-se com o surgimento de pequenas vilas localizadas no litoral, onde as concentrações populacionais parcialmente isoladas e desconectadas entre si se instalaram (CHAFFUN, 1996).

Até a década de 1930, o processo de urbanização das cidades brasileiras ocorreu gradativamente absorvendo as influências dos diversos ciclos econômicos que ocorreram no país.

A partir deste período, com a ocorrência da crise econômica mundial que atingiu, entre outros países, o Brasil no auge do ciclo do café paulista, iniciou-se um cenário de grande dinamismo demográfico e econômico, na qual, parte da população desmobilizada pela cafeicultura dirigiu-se às áreas do interior, enquanto a outra parte optou pela migração em direção às cidades estabelecidas (CHAFFUN, 1996).

Um exemplo desta situação se passou na cidade de São Paulo que, durante a Revolução Industrial, necessitou da mão de obra fabril, fato que acabou se tornando um grande atrativo dos trabalhadores que optaram por deixar o campo buscando de melhores condições de vida nos centros urbanos (BASTOS, 2009).

A partir dos anos 50, tem-se a percepção de uma tendência às aglomerações da população e da urbanização. A participação no conjunto da população brasileira cresce significativamente nos núcleos com mais de 20.000 habitantes, passando de 15% em 1940 para 28,43% em 1960 (SANTOS, 1994).

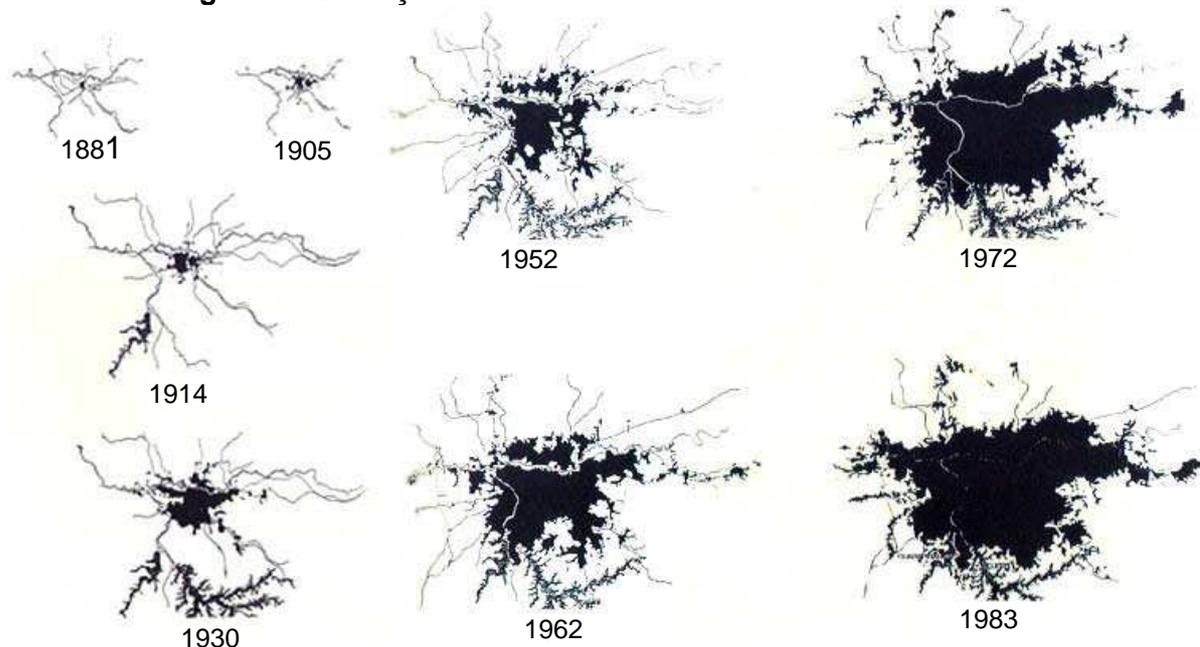
Nos anos 70, o processo de urbanização estabelece um novo patamar do ponto de vista quantitativo e qualitativo, pois, desde a revolução urbana brasileira, consecutiva à revolução demográfica dos anos 50, quando ocorreram a urbanização aglomerada e o aumento do número de cidades intermediárias, surge o conceito de

metropolização, com um considerável aumento de cidades milionárias e de grandes cidades (SANTOS, 1994).

Um grande aumento no número de municípios brasileiros com população acima de 20.000 habitantes ocorreu entre os anos de 1980 a 1991, passando de 496 para 685 municípios. A maior parte do acréscimo se deve ao número de cidades com população entre 20.000 e 50.000 habitantes, onde os domicílios urbanos correspondiam a 78,2% e 21,8% aos domicílios rurais (CHAFFUN, 1996).

A Figura 6 apresenta a evolução do crescimento da mancha urbana da cidade de São Paulo entre os anos de 1881 e 1983.

**Figura 6 - Evolução da mancha urbana da cidade de São Paulo.**



(Fonte: ROGERS, 1997)

Acompanhado do crescimento vertiginoso da ocupação territorial nos municípios veio o crescimento populacional e a demanda por infraestrutura com eficiência.

Para Vaz Filho (2000), o processo de urbanização brasileira ocorreu de forma diferente do ocorrido nos países desenvolvidos, pois, naqueles países, o processo de urbanização durou entre 100 e 200 anos, enquanto que no Brasil o fenômeno durou cerca de 50 anos, iniciando-se na década de 40 e intensificando-se na década de 60, quando ocorreu concomitantemente com o processo de industrialização.

Na Tabela 4 demonstra a evolução populacional brasileira ocorrida no território rural e urbano.

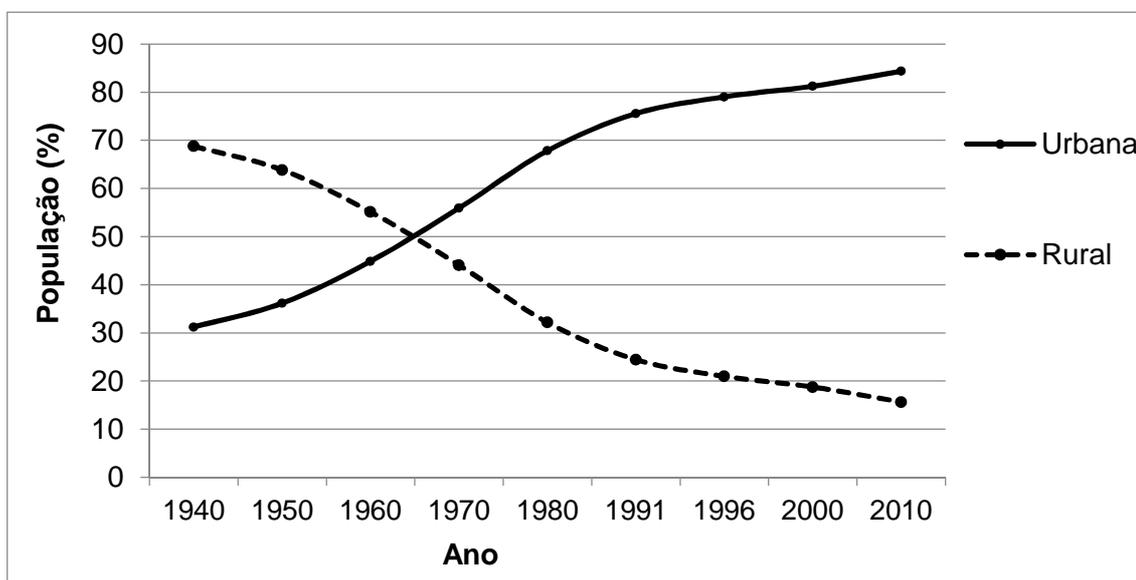
**Tabela 4 - Evolução das populações rural e urbana no Brasil (1940 a 2010).**

Ano	População Total	População Urbana		População Rural	
		N.º Hab.	%	N.º Hab.	%
1940	41.236.315	12.880.182	31,21	28.356.133	68,76
1950	51.944.397	18.782.891	36,15	33.161.506	63,84
1960	70.070.457	31.304.034	44,67	38.987.526	54,92
1970	93.139.037	52.084.984	55,92	41.603.839	44,08
1980	118.002.706	80.436.409	68,16	39.137.198	32,43
1991	146.825.475	110.990.990	75,50	35.834.485	24,41
1996	157.079.573	123.082.167	79,83	33.997.406	21,64
2000	169.799.170	137.082.167	81,25	31.845.211	18,75
2010	190.755.799	160.925.792	84,36	29.830.007	15,64

(Fonte: IBGE, 2010)

A Figura 7 representa a evolução das populações rural e urbana no Brasil entre os anos 1940 e 2010.

**Figura 7 – Evolução das populações rural e urbana do Brasil (1940 a 2010)**



(Fonte: IBGE, 2010)

Na contramão dos avanços, o acelerado processo de urbanização ocorrido no final do século XX veio acompanhado da intensificação dos processos de degradação ambiental, resultando em crescentes vulnerabilidades das cidades.

A falta de opções para as classes com baixo poder aquisitivo, obrigou esses grupos a iniciarem processos de ocupações clandestinas e ilegais de espaços

vulneráveis, impróprios para as ocupações como encostas íngremes, várzeas inundáveis, beiras de rio e cursos d'água e áreas de proteção de mananciais, etc. (CHAFFUN, 1996).

Além do convívio com o alto risco de catástrofes como enchentes, deslizamentos, a população, cujo tipo de moradia é precária, muitas vezes ainda tem que conviver com a inexistência ou ineficiência de infraestrutura básica.

#### **2.2.4. Impactos da urbanização na drenagem urbana**

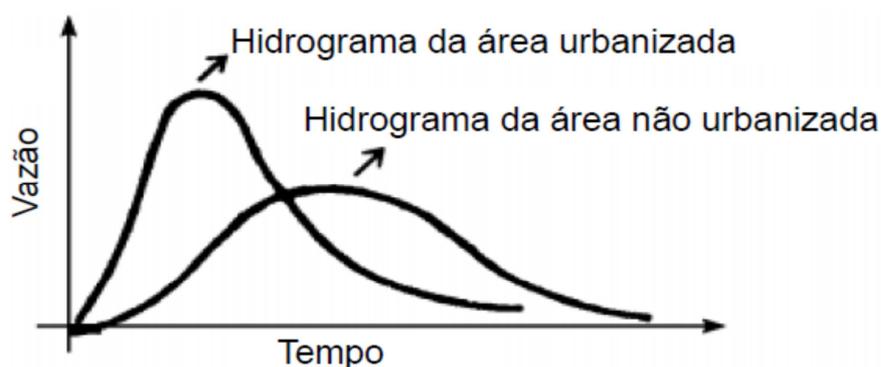
Entende-se como Drenagem Urbana, o conjunto de medidas que visam à minimização dos riscos à população causados por inundações, minimizando os prejuízos e possibilitando o desenvolvimento urbano harmônico, articulado e sustentável (TUCCI, 2002).

Para que a drenagem urbana de uma determinada bacia seja considerada eficiente, ou seja, evitando os prejuízos causados por enchentes e possibilitando o desenvolvimento sustentável, esta deve ser implantada de modo a permitir que a situação de drenagem final da bacia permaneça igual à condição natural.

No entanto, verifica-se que as consequências da urbanização que mais interferem na drenagem urbana estão relacionadas à alteração no escoamento superficial da bacia, diminuindo sua capacidade de infiltração e consequentemente aumentando o escoamento superficial.

A Figura 8 apresenta as diferenças entre os hidrograma de uma bacia natural e do período referente à posterior urbanização.

**Figura 8 - Hidrograma de uma área urbanizada e não urbanizada.**

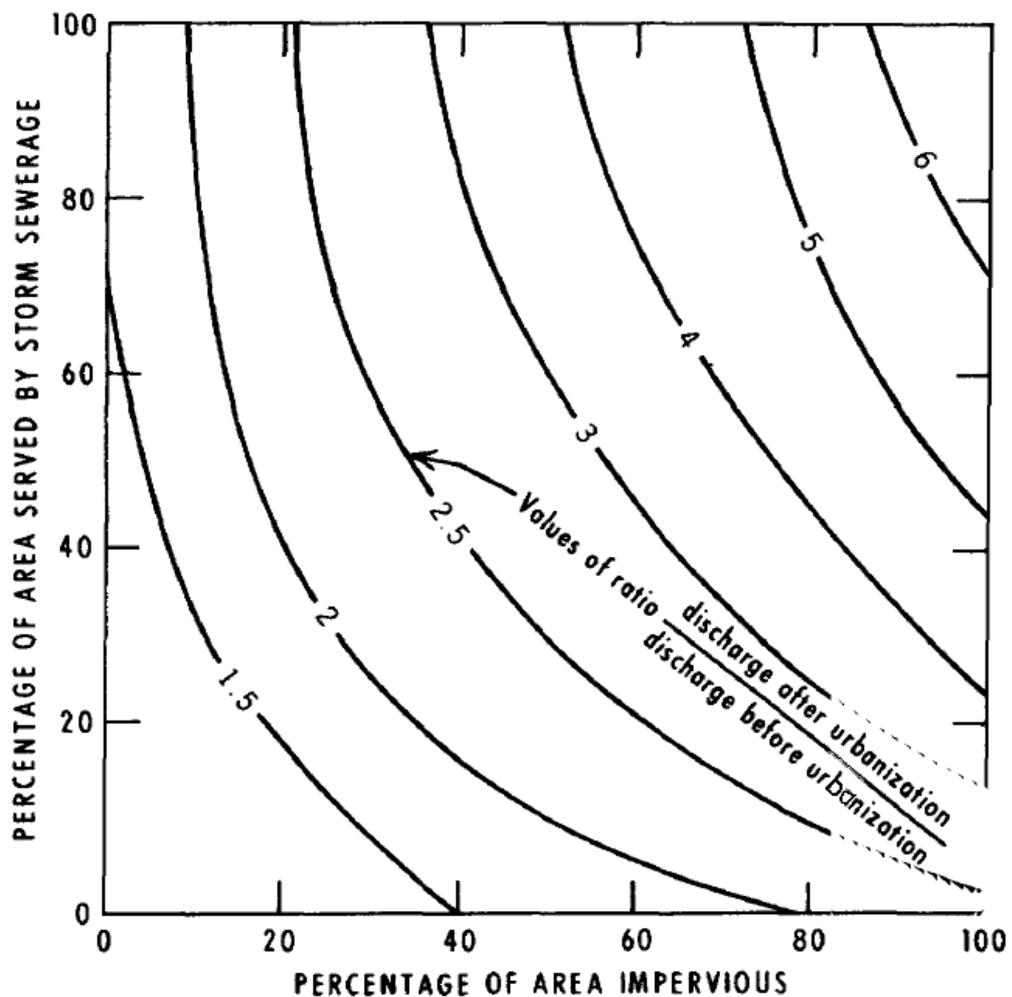


(Fonte: TUCCI, 1995)

O aumento do escoamento superficial e o aumento da capacidade de escoamento por meio de condutos e canais provocam o crescimento do pico de cheia da bacia podendo chegar a ser, em casos extremos, até sete vezes maior do que o pico desta mesma bacia em condições naturais (LEOPOLD, 1968).

Leopold (1968) estudou bacias urbanas de cidades americanas com área de até uma milha quadrada. A Figura 9 apresenta a relação entre o aumento das vazões máximas de cheia com a área urbanizada da bacia além da área servida por sistemas de drenagem.

**Figura 9 - Efeito da urbanização em bacias com área de uma milha quadrada.**



(Fonte: LEOPOLD, 1968)

Além da possibilidade de enchentes, o aumento das vazões de cheia também pode provocar o surgimento de processos erosivos no solo, a produção de sedimentos devido à falta de proteção das superfícies, a produção de resíduos sólidos e a deterioração da qualidade da água superficial e subterrânea devido a lavagem das ruas e as ligações clandestinas com esgoto (TUCCI, 2006).

### **2.2.5. Os impactos da urbanização no ciclo hidrológico**

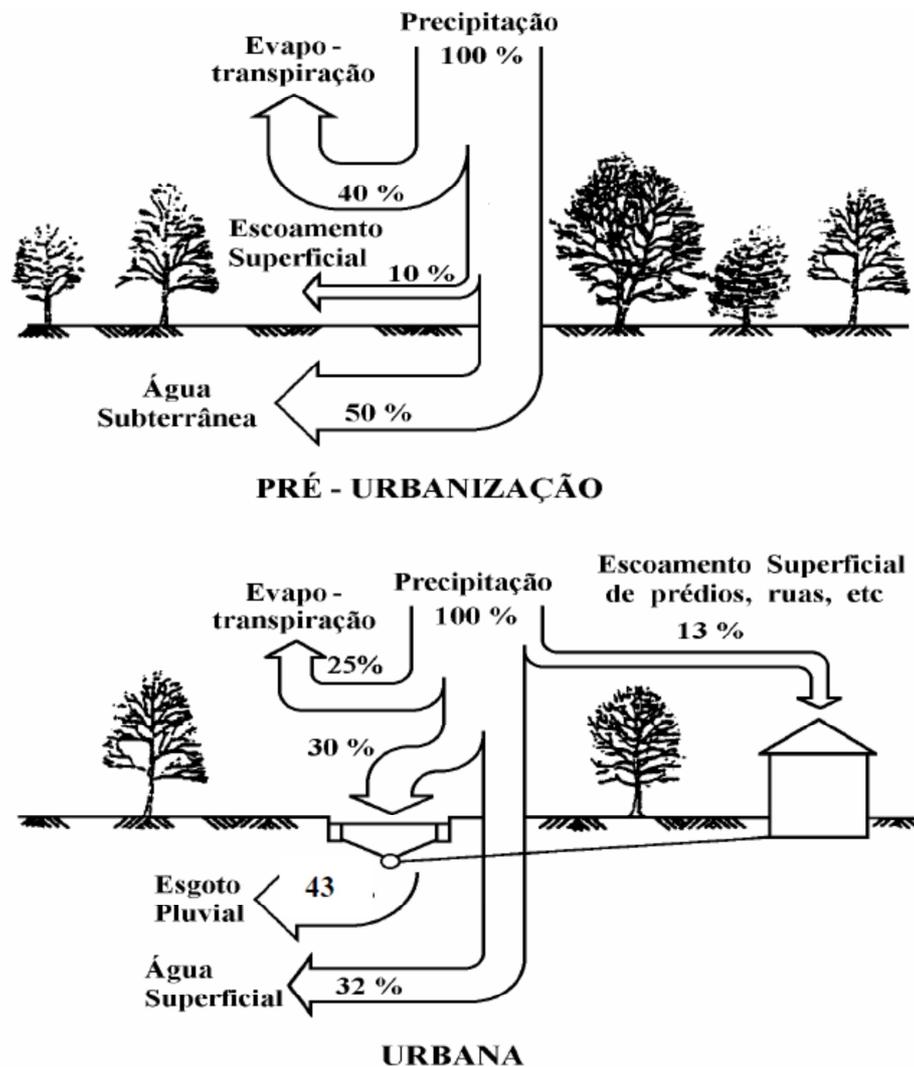
De acordo com Tucci (2006), o crescimento da área urbanizada de uma bacia modifica a área de cobertura vegetal e provoca a alteração do ciclo hidrológico natural.

A área que antes era coberta por vegetação passa a ser, em sua maior parte, mais impermeável em função da implantação de edificações e pavimentos, conforme apresentado na representação gráfica da Figura 10.

Com o encaminhamento da vazão gerada pelo aumento do escoamento superficial nos condutores, surgem as seguintes alterações:

- Redução da infiltração no solo;
- Aumento do escoamento superficial em função do volume que deixa de infiltrar no solo;
  - Redução do tempo de deslocamento em função da implantação de condutos;
  - Diminuição do nível do lençol freático do aquífero em função da falta de alimentação do escoamento subterrâneo;
- Redução da evapotranspiração em função da diminuição da cobertura vegetal.

Figura 10 - Características do balanço hídrico numa bacia urbana.

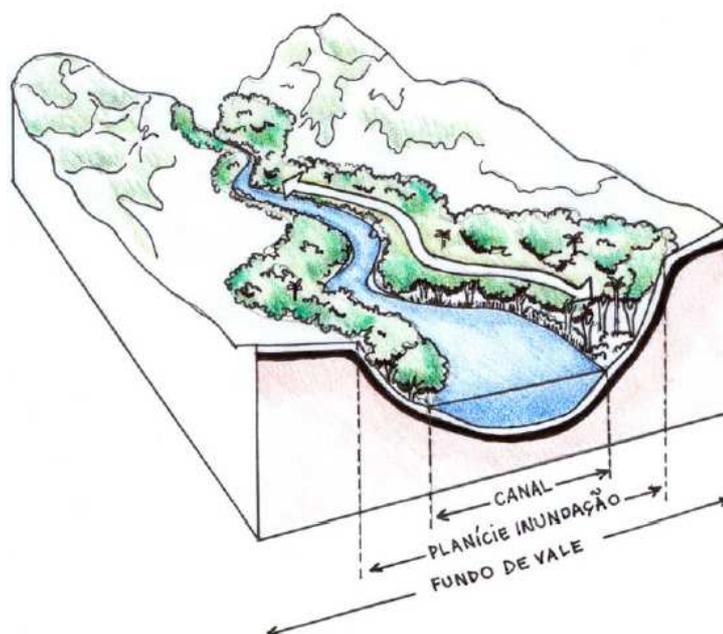


(Fonte: TUCCI, 2006)

### 2.2.6. A ocupação dos fundos de vale

Denominam-se como fundos de vale as áreas com cotas mais baixas dos terrenos que recebem o escoamento das águas pluviais em sua superfície (Figura 11). Os fundos de vale não necessariamente são cortados por cursos d'água perenes. Muitas vezes, mesmo quando não dispõem de fluxo contínuo de água, são regiões sensíveis às ações antrópicas (PINHO, 1999).

**Figura 11 - Identificação do fundo de vale.**



(Fonte: AMORIM, 2004)

As ocupações das áreas marginais aos córregos e rios para a incorporação dos espaços urbanos é um processo comum que ocorre desde o estabelecimento das primeiras cidades. Grande parte da ocupação se explica pela falta de opções das classes com baixo poder aquisitivo que os obrigam ocupar as regiões com alto risco de catástrofes.

Nestas condições, é importante especificar os vários tipos de leitos fluviais que compõe o espaço ocupado pelo escoamento das águas no fundo de vale.

A Figura 12 apresenta um exemplo do perfil transversal da planície de inundação de um fundo de vale.

**Figura 12 - Planícies de escoamento nos fundos de vale.**

Um perfil transversal de uma planície de inundação. O diagrama mostra a topografia do vale com árvores e vegetação nas margens. O curso principal do rio é o 'LEITO MAIOR'. Dentro dele, há um curso secundário chamado 'LEITO MENOR'. A 'VAZANTE' é a área imediatamente adjacente ao leito menor. A 'PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO' abrange toda a área plana adjacente ao curso principal do rio.

(Fonte: AMORIM, 2004)

42

O conflito interpretativo entre o Código Florestal e as legislações urbanísticas, muitas vezes possibilitaram as ocupações de Áreas de Preservação Permanentes instituídas, suprimindo vegetações e desviando corpos d'água para implantação de sistemas viários (PAVEZZI, 2012).

Outro fator importante a ser considerado neste caso é a perda de funcionalidade ecológica que ocorre quando estruturas urbanas acabam por prejudicar a função ecológica do corpo d'água, exemplo disso são as canalizações e tamponamento de córregos em concreto.

O conceito do risco e conseqüentemente do período de retorno está diretamente relacionado com os prejuízos causados pela ocupação desordenada dos fundos de vale, uma vez que, para a ocupação, não se considera a projeção da planície de inundação de acordo com o período de retorno padrão.

### **2.2.7. Áreas vulneráveis**

São as áreas passíveis de ser atingida por fenômenos ou processos naturais ou induzidos que as causem situações adversas. Os habitantes dessas áreas estão sujeitos aos danos à integridade física e às perdas materiais e patrimoniais.

No Brasil, estas áreas geralmente são ocupadas por assentamentos precários e núcleos habitacionais de baixa renda (BRASIL, 2007).

As áreas vulneráveis são áreas suscetíveis a enchentes que surgem por processos naturais ou pela ocupação do homem. As enchentes ocorrerem tanto em áreas urbanas quanto em áreas ainda não urbanizadas, porém, nas áreas urbanas, onde a impermeabilização e a ausência de vegetação ciliar são maiores, a exposição humana ao risco é maior (ARTICO, 2013).

A vulnerabilidade das áreas esta diretamente relacionada à taxa de impermeabilização do solo, pois as enchentes são causadas pelos picos de cheias que ocorrem nos momentos de grandes precipitações, quando o volume que antes era absorvido pelo solo passa a escoar superficialmente ou a ser lançado diretamente no corpo d'água através de sistemas de drenagem.

Este fenômeno, cada vez mais observado nas cidades brasileiras, traz como principais consequências os prejuízos materiais, interrupções de atividades comerciais, veiculação de doenças e principalmente as perdas humanas.

De acordo com levantamentos do EM-DAT (2009), o Brasil ocupa o 11.º no ranking de vítimas de catástrofes, afetando 12,7 milhões de brasileiros nos últimos dez anos.

As ações recomendadas pelo trabalho do Ministério das cidades juntamente com o Instituto de Pesquisa Tecnológica de São Paulo – IPT referem-se primeiramente à identificação e localização das áreas potencialmente sujeitas a esses efeitos, delimitando-as em mapas a partir da classificação de sua vulnerabilidade. Posteriormente, devem ser elaboradas estratégias para prevenção visando à minimização dos impactos à população (BRASIL, 2007).

O equilíbrio entre o desenvolvimento urbano e as condições ambientais da cidade é o fator fundamental para mitigação dos impactos negativos. Para tanto, a busca pela integração entre a problemática das águas pluviais, as áreas vulneráveis com o planejamento urbano participativo, juntamente com ações preventivas e corretivas deve ser o foco da discussão.

### ***2.2.8. Inundações e enchentes***

Embora os termos “inundações” e “enchentes” sejam popularmente utilizados quando relacionados às catástrofes ocasionadas pelas chuvas, é de fundamental importância à compreensão das palavras e as diferenças que abrangem.

O termo enchente relaciona-se diretamente com o termo cheio.

As enchentes são caracterizadas pela elevação do curso d'água em uma cota acima da cota normal e ocorrem em função das precipitações que proporcionam o aumento momentâneo da vazão, porém até atingir a cota máxima da calha do rio (BRASIL, 2007).

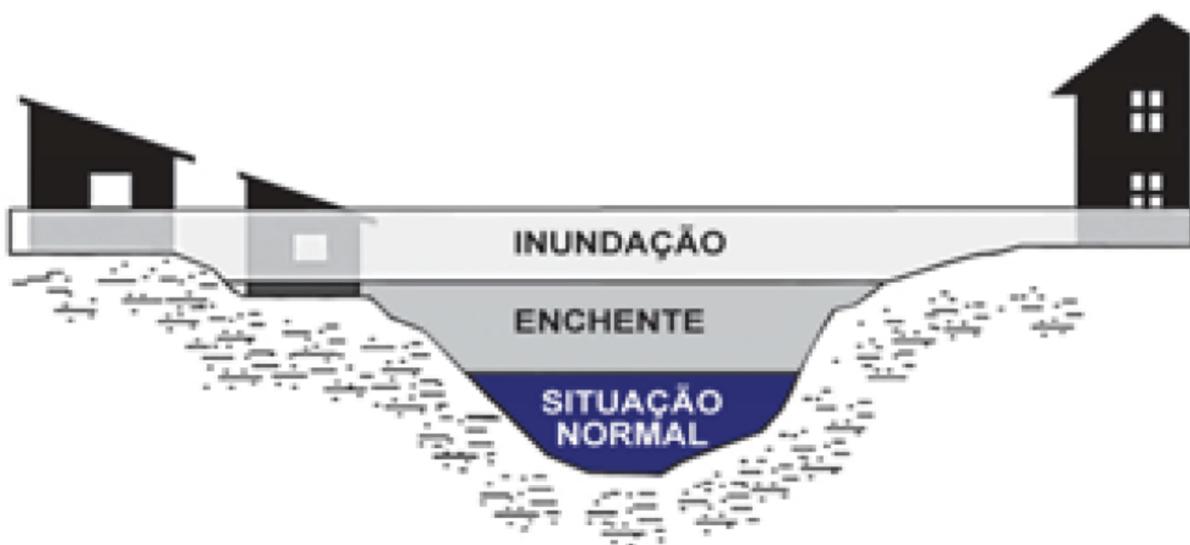
Já o termo inundação pode se relacionar com a palavra transbordamento.

As inundações somente ocorrem quando a vazão escoada no curso d'água supera o limite da calha do rio, ou seja, extrapolando o limite das enchentes e transbordando para as áreas que margeiam o curso d'água (BRASIL, 2007).

Nesta mesma abordagem, pode-se entender que as inundações são provocadas pelo escoamento superficial proveniente da ausência da infiltração no solo, seja ela natural (saturação) ou devido às ações antrópicas de impermeabilização (TUCCI, 1995).

A Figura 13 apresenta didaticamente os processos de enchentes e inundações.

**Figura 13 - Perfil esquemático do processo de enchente e inundação.**



(Fonte: BRASIL & IPT, 2007)

### **2.2.9. Técnicas compensatórias**

As técnicas compensatórias visam promover o rearranjo temporal das vazões das bacias, pois a urbanização altera o regime de infiltração do solo e conseqüentemente aumenta a vazão lançada diretamente ao corpo d'água.

Basicamente, as técnicas baseiam-se nos princípios de retenção e infiltração da água, diminuindo o volume escoado e realinhando o tempo de escoamento no sistema.

Desta maneira, pode-se concluir que as técnicas compensatórias contribuem para a redução da probabilidade de inundações além de possibilitar ganhos na qualidade da água (BATISTA, 2005).

As técnicas compensatórias podem ocorrer em escalas diversificadas, situações individualizadas como em um lote ou até mesmo situações coletivas e maiores como em um loteamento ou condomínio. Além disso, possuem a

possibilidade de integração e associação com o meio ambiente e com as áreas urbanas, através da utilização de pavimentos permeáveis, parques, etc.

No Brasil, embora o uso das técnicas compensatórias ainda seja considerado pequeno, a técnica compensatória mais utilizada é a bacia de amortecimento de cheia (BATISTA, 2005).

As técnicas compensatórias podem ser divididas em duas tipologias fundamentais: as “estruturais” e as “não estruturais”.

As técnicas compensatórias não estruturais buscam retardar o escoamento e aumentar o tempo de concentração do sistema. Nestas condições, entende-se que as técnicas compensatórias não estruturais visam estimular a utilização de revestimentos adequados para o retardamento nos canais e pavimentos rugosos, e principalmente visam promover a racionalização do uso e ocupação do solo urbano (BATISTA, 2005).

Nos municípios, as técnicas compensatórias não estruturais somente ganham força quando estão presentes em legislação específica.

As técnicas compensatórias estruturais visam proporcionar a infiltração ou retenção da água pluvial, porém, em alguns as duas situações são combinadas.

Podem ser classificadas em três tipologias básicas:

- Bacias;
- Obras lineares;
- Obras pontuais.

No entanto, as tipologias apresentam características singulares.

As bacias representam o equipamento mais difundido no Brasil. Geralmente são utilizadas em loteamentos e condomínios, proporcionando a mitigação do impacto coletivo, ou seja, considerando toda a impermeabilização do empreendimento.

Em muitos casos, adota-se a tipologia das bacias para a resolução dos problemas relacionados às enchentes.

A Figura 14 exemplifica a tipologia das bacias.

**Figura 14 - Exemplo de bacia.**



(Fonte: [www.engeform.com.br](http://www.engeform.com.br), acessado em 15/04/2015)

As obras lineares, por sua vez, possuem maior facilidade de implantação nos sistemas viários, através de trincheiras de infiltração, pisos drenantes, pavimentos permeáveis, etc., conforme demonstra a Figura 15.

**Figura 15 - Exemplo de obra linear .**

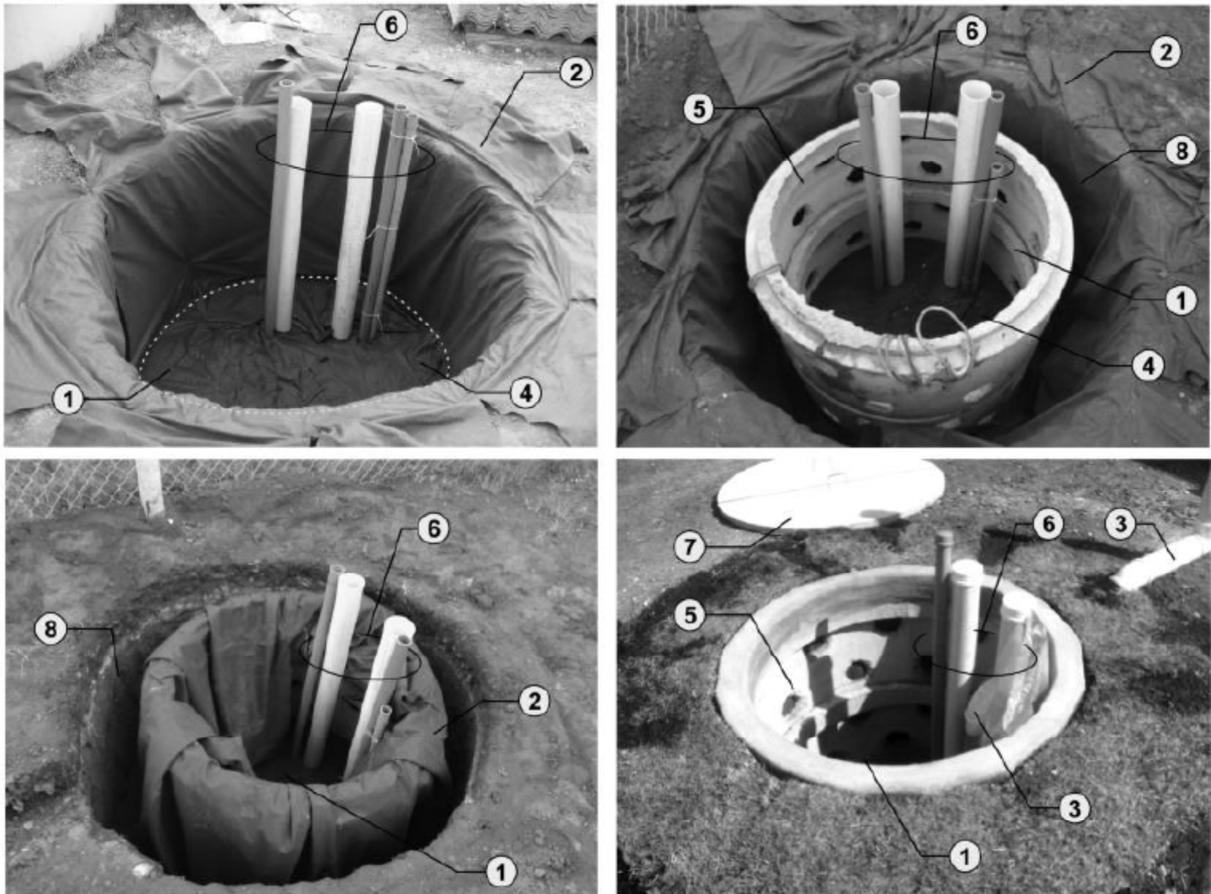


(Fonte: [www.rhinopisos.com.br](http://www.rhinopisos.com.br), acessado em 15/04/1015)

As obras pontuais podem ser associadas às técnicas de controle na fonte, ou seja, são pequenas obras individuais a cada lote que propiciam o armazenamento de pequenas parcelas.

O mais comum exemplo desta tipologia é o poço de infiltração, demonstrado na Figura 16.

**Figura 16 - Exemplo de poço de infiltração.**



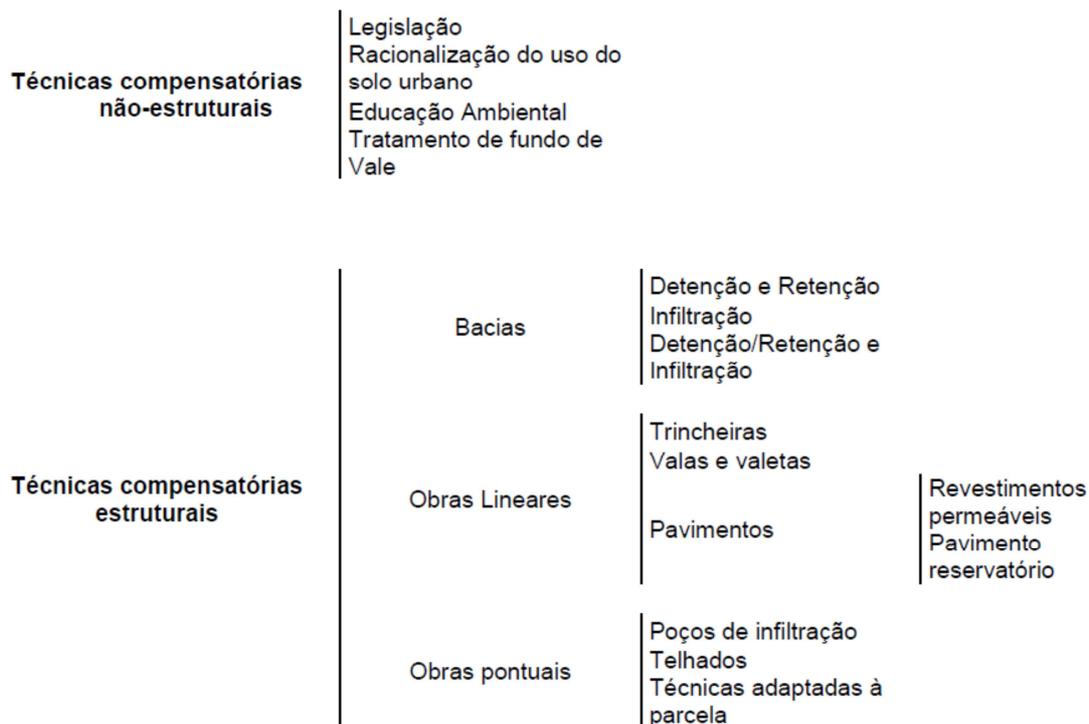
Legenda:

- ① Poço de infiltração (DI = 110 mm, profundidade = 1,50 m, sendo 0,50 m da camada de brita mais 1,0 m de altura livre até a tampa)
- ② Manta geotêxtil envolvendo a camada de brita do fundo e fazendo a interface entre parede lateral do poço e o solo
- ③ Conductor de água para descarga no poço de infiltração
- ④ Fundo - camada de brita nº 1 com 0,50 m envolta em manta geotêxtil
- ⑤ Tubo de concreto com 1,10 m de diâmetro interno e com 20 perfurações de 100 mm de diâmetro cada
- ⑥ Tubos para a inserção de sensores de nível de água e outros equipamentos utilizados em ensaios futuros
- ⑦ Tampa de concreto
- ⑧ Área lateral de escavação ao final preenchida com brita nº 1 (distância média de 10 cm da parede lateral do poço)

(Fonte: REIS, 2014)

Para Batista (2005), as variações das tipologias das técnicas compensatórias podem ser explicadas na Figura 17.

**Figura 17 – Variações dos diferentes tipos de técnicas compensatórias.**



(Fonte: BATISTA, 2005)

### **2.2.10. Exemplos de obras internacionais contra enchentes**

As enchentes não são fenômenos recentes e nem mesmo regionais, verificamos a seguir alguns exemplos de boas gestões destes problemas ocorridos pelo mundo.

#### **a) A retirada do Rio Túria do centro de Valência - ESPANHA**

Cortada pelo Rio Túria, a cidade de Valência na Espanha, localizada na costa do Mediterrâneo, no leste do país, sempre foi assolada por inundações que trouxeram incontáveis prejuízos à cidade (Figura 18).

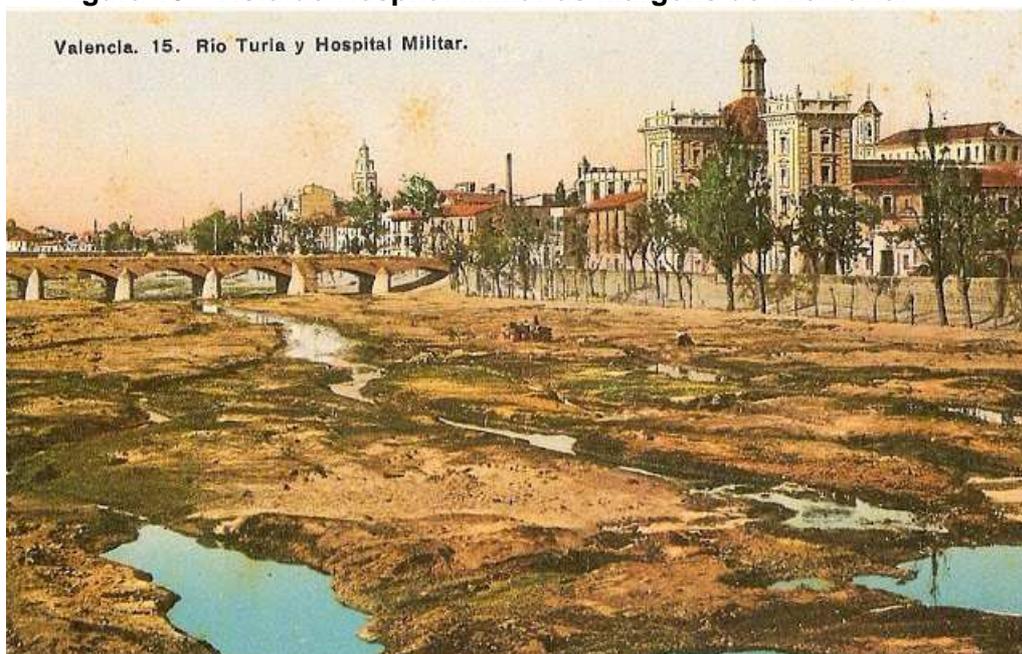
**Figura 18 - As cheias do Rio Túria em 1897.**



(Fonte: SORRIBES, 2010).

Observa-se na Figura 19 que em longos períodos o Rio Túria não ocupava todo o leito definido pelos muros, dando a falsa impressão de que não haveria problema em ocupar a região lindeira, conforme mostra a Figura 20.

**Figura 19 - Vista do Hospital Militar as margens do Rio Túria.**



(Fonte: SORRIBES, 2010)

**Figura 20 - Ocupação no leito do Rio Túria em 1949.**



(Fonte: SORRIBES, 2010)

Talvez a maior das catástrofes de Valência tenha ocorrido durante os dias 13 e 14 de novembro de 1957, quando uma forte tempestade provocou a inundação do Rio T ria, trazendo significativas perdas econ micas e sociais em grande parte do território da cidade. Por esses motivos, a inundação de 1957 ganhou o nome de “A catástrofe da morte e da lama” (SORRIBES, 2010).

A Figura 21 e 22 retratam o drama vivido pelos moradores de Valência.

**Figura 21 - Inundações no Rio T ria em 1957.**



(Fonte: SORRIBES, 2010)

**Figura 22 - Inundações no Rio Túrria em 1957.**



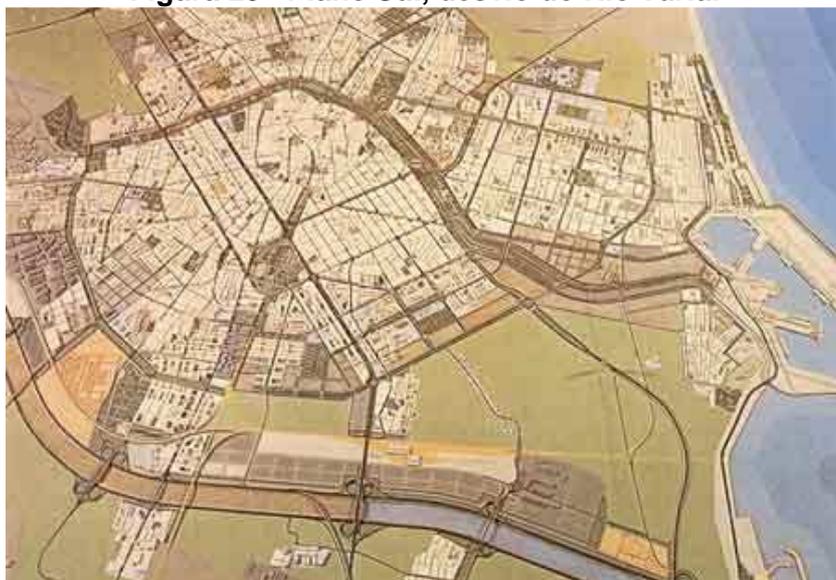
(Fonte: SORRIBES, 2010)

A catástrofe de 1957 provocou uma mudança de postura no governo de Valência que a partir de então, buscou através do planejamento resolver os problemas de inundações que sempre prejudicaram o avanço da cidade.

Para resolução deste problema, na década de 60, iniciou-se uma significativa obra hidráulica que prometia mudar a face da cidade, o denominado Plano Sul (SORRIBES, 2010).

O Plano Sul era composto por um audacioso desvio “Bypass” no Rio Túrria que, ao invés de passar pelo centro da cidade, seria deslocado a uma região desabitada localizada no sul de Valência, conforme observa-se na Figura 23.

**Figura 23 - Plano Sul, desvio do Rio Túrria.**



(Fonte: SORRIBES, 2010)

Além de resolver os problemas das inundações, com a construção do by-pass, a cidade teve um salto na qualidade da mobilidade urbana e principalmente um grande ganho de espaço urbano onde hoje são realizadas diversas ações de cunho cultural, esportivo e principalmente turístico, conforme pode-se observar na Figura 24 e na Figura 25.

**Figura 24 - Parques de Valência.**



(Fonte: SORRIBES, 2010)

**Figura 25- A Cidade das Artes e das Ciências.**



(Fonte: SORRIBES, 2010)

Na verdade, além de dar maior capacidade de drenagem e resolver definitivamente os problemas de inundação, com o desvio do Rio Túria foi possível converter o antigo leito no maior jardim da cidade, além de ser a base dos grandes edifícios culturais que representam a modernidade Valência, conhecida em todo o mundo como “A Cidade das Artes e das Ciências” (SORRIBES, 2010).

### **b) Os reservatórios de amortecimento de cheias de Tóquio - JAPÃO**

A região de Saitama localizada na cidade de Tóquio, capital do Japão, é atravessada por 11 rios, que constantemente transbordavam em função das chuvas (Figura 26).

**Figura 26 - Inundações na Região de Saitama antes da execução das obras.**

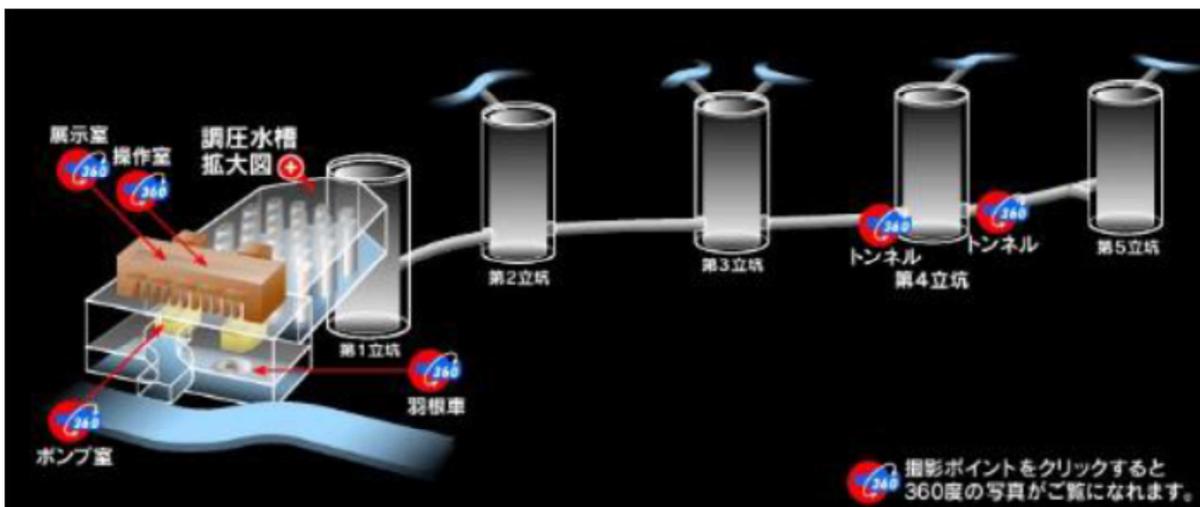


(Fonte: [www.oka-jp.seesaa.net](http://www.oka-jp.seesaa.net), acessado em 30/04/2015)

Após conviver com estes problemas por muitos anos, o governo japonês decidiu investir cerca de 4 bilhões de reais em uma obra que prometia controlar o fluxo dos rios através de um sistema de bombeamento.

Tratam-se de cinco colossais tanques que se interligam através de um sistema de aproximadamente 6 mil metros de tubos. Os tanques possuem cerca de 80 metros de altura e juntos proporcionam 670 mil metros cúbicos de armazenamento provisório (ZAHED FILHO, 2011), conforme demonstrado na Figura 27.

Figura 27 - Representação gráfica do sistema contra inundações em Tóquio.



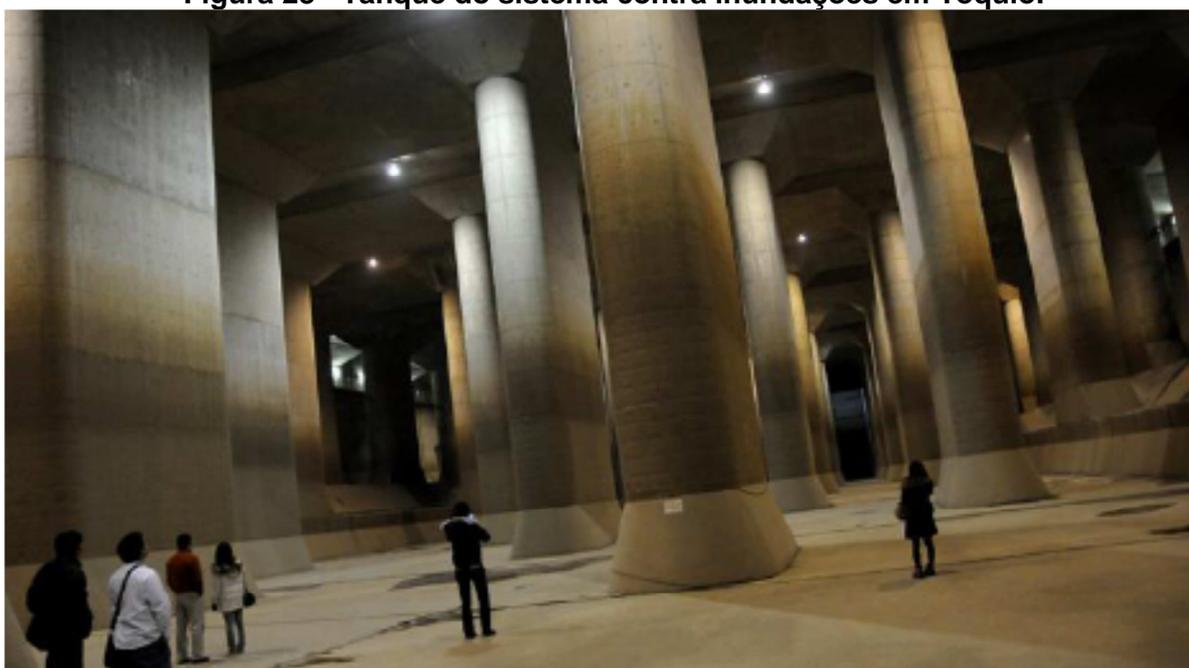
(Fonte: ZAHED FILHO, 2011)

Após o armazenamento da água, o volume é despejado lentamente no rio Edo, eliminando o risco de inundações.

O sistema ficou pronto no ano de 2006 (Figura 28), trazendo a segurança desejada aos cidadãos que conseqüentemente esqueceram os riscos das enchentes.

Em média, o sistema livra a região de enchentes por quatro vezes no ano (ZAHED FILHO, 2011).

Figura 28 - Tanque do sistema contra inundações em Tóquio.



(Fonte: ZAHED FILHO, 2011)

### c) O by-pass de Austin no Texas - EUA

A cidade de Austin, localizada no Estado do Texas, sudoeste dos Estados Unidos possui um histórico de graves inundações (Figura 29).

**Figura 29 - Inundação ocorrida no ano de 1915.**



(Fonte: [www.statesman.com](http://www.statesman.com), acessado em 30/04/2015)

Por possuir topografia predominantemente plana, apresenta em seu território áreas com características de várzeas. Além disso, as colinas da região oeste são compostas por rochas com baixo grau de permeabilidade, fato que contribui para o aumento do escoamento superficial e conseqüentemente para o surgimento de picos de cheias nas regiões baixas.

A região mais problemática fica localizada as margens de um córrego urbano denominado Waller Creek, afluente do rio Colorado onde ocorrem constantes inundações.

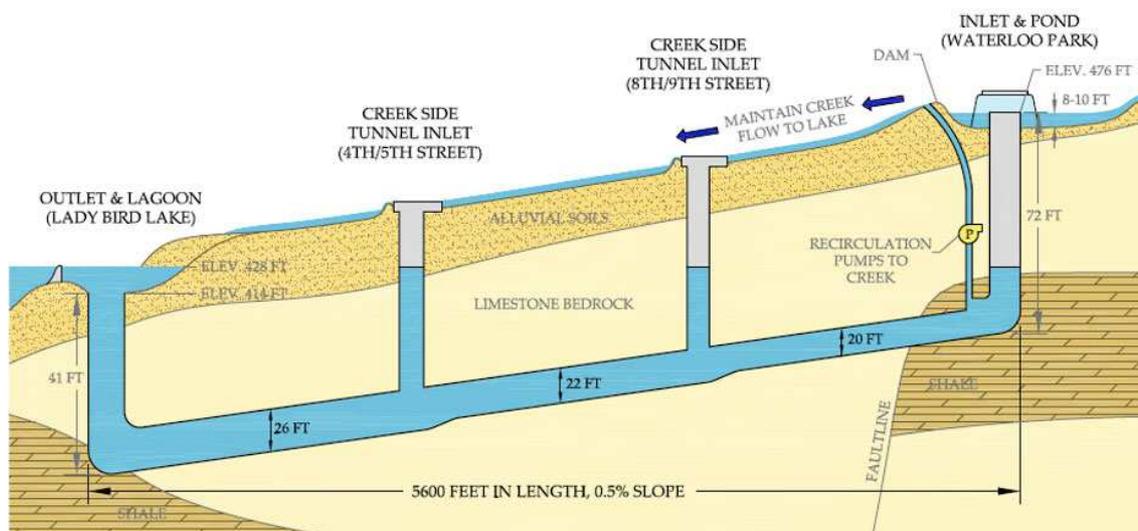
Para corrigir esta situação, está em execução uma grandiosa obra hidráulica que desvia água do córrego durante os picos de cheia, encolhendo significativamente sua vazão.

Trata-se de um Túnel bypass de aproximadamente 1700 metros que desvia o volume excedente à cota normal para um caminho alternativo até a região de desague.

A Figura 30 representa graficamente o efeito do Bypass para o controle das inundações na região (LANDERS, 2011).

Nota-se que o dispositivo apresenta um sistema de bombeamento para transferência superficialmente de parte do volume captado no primeiro ponto aos pontos a jusante de modo a proporcionar a equalização do sistema.

**Figura 30 - Túnel para controle de inundações.**



(Fonte: LANDERS, 2011)

Com a execução da obra pretende-se atingir um nível satisfatório de segurança contra inundações, além de revitalizar uma área que tem sofrido ao longo de anos.

### **2.3. Legislação pertinente**

Entende-se que em uma sociedade as leis e os demais instrumentos legais cumpram a função de controlar os comportamentos e ações dos cidadãos de acordo com os princípios definidos pela própria sociedade.

#### **2.3.1. Legislação sobre a questão da drenagem urbana**

Embora inicialmente tenha sido mencionada a questão da drenagem urbana na Lei n.º 10257 de 10 de julho de 2001 – Estatuto da Cidade (BRASIL, 2001), onde no artigo 42º menciona que os Planos Diretores devem abordar as medidas de

drenagem urbana necessárias à prevenção e à mitigação de impactos de desastres, somente em 5 de janeiro de 2007 a questão ganhou força com a promulgação da Lei n.º 11445 – Diretrizes nacionais para o Saneamento Básico (BRASIL, 2007) que incluía a drenagem urbana no saneamento básico.

No artigo terceiro da Lei do Saneamento Básico, considera-se como saneamento básico o conjunto de serviços, infraestrutura e instalações operacionais de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e por fim a drenagem e manejo das águas pluviais.

Ainda neste mesmo artigo, a Lei define como drenagem e manejo das águas pluviais o conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de drenagem urbana de águas pluviais, de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas nas áreas urbanas (BRASIL, 2007).

Em 21 de junho de 2010 passa a vigorar o Decreto n.º 7217 (BRASIL, 2010) que regulamenta a questão do serviço público de manejo das águas pluviais urbanas no país.

Em seu artigo décimo quinto, o referido decreto define como serviço público de manejo das águas pluviais urbanas a drenagem urbana, o transporte da água pluvial urbana, a detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias e o tratamento e disposição final das águas pluviais urbanas.

No artigo décimo sexto deste mesmo decreto, define-se que para efetuar a cobrança pela prestação do serviço público de manejo de águas pluviais urbanas, o poder público deverá levar em conta, em cada lote urbano, o percentual de área impermeabilizada e a existência de dispositivos de amortecimento ou de retenção da água pluvial (BRASIL, 2010).

Considerando o resumo cronológico sobre a Legislação que norteia a questão da drenagem no ambiente urbano, fica evidenciada a necessidade de instrumentos que forneçam subsídios suficientes para proporcionar o gerenciamento eficiente.

### **2.3.2. Planos diretores**

O Plano Diretor é o instrumento básico da política de desenvolvimento urbano e tem como um dos objetivos definir as diretrizes básicas para expansão urbana, uso

e ocupação do solo urbano, parcelamento e implantação de infraestrutura urbana. (CARVALHO, 2001).

O instrumento plano diretor é o produto da imposição na Constituição Federal de 1988 onde o tornou obrigatório aos municípios com mais de 20 mil habitantes. A Constituição Federal determinou como competência do poder público municipal a responsabilidade pela execução da política de desenvolvimento urbano, adequando-a as ações do governo federal que por sua vez, estabeleceu a Lei federal nº 10.257, de 10 de julho de 2001, denominada Estatuto da Cidade, como regulamentação (CARVALHO, 2001).

Coube ao Estatuto da Cidade apontar as normas de ordem pública e de interesse social que definissem o uso e o desenvolvimento do meio urbano em prol do bem coletivo, da segurança, do bem-estar dos cidadãos e do equilíbrio ambiental (BRASIL, 2001).

Nestas condições, estabeleceu-se como instrumento norteador para promoção das diretrizes de políticas públicas o Plano Diretor, que além de apresentar as propostas de desenvolvimento e expansão urbana, deveria contemplar o planejamento de todo o território municipal, relacionando-o com as limitações orçamentárias e características sociais de cada município, garantindo a distribuição igualitária dos benefícios e ônus (BRASIL, 2001).

O Ministério das Cidades aponta que a elaboração do Plano deve ser precedida do diagnóstico denominado “Leitura da Cidade”, que por sua vez, se divide em dois níveis: o Técnico e o Comunitário (BRASIL, 2004).

Cabe ao corpo técnico da Prefeitura Municipal promover a leitura técnica da cidade, diagnosticando os problemas socioeconômicos, urbanísticos, ambientais e administrativos da cidade, em muitos casos, contratando consultorias especializadas como forma de ajuda. A participação pública fica restrita a leitura comunitária que deve ser realizada através de dinâmicas participativas com a comunidade, visando diagnosticar os problemas e estabelecer prioridades para ao Plano Diretor (BRASIL, 2004).

Para garantir a progressão do Plano Diretor, a Lei federal nº 10.257, de 10 de julho de 2001, determina que o mesmo deva ser atualizado a realidade do município em um período máximo de dez anos (BRASIL, 2001).

### **2.3.3. A drenagem urbana nos Planos diretores**

De acordo com Moruzzi (2009) o gerenciamento da drenagem urbana municipal somente pode ser eficiente quando inseridas as medidas de regulamentações ao uso do solo nos Planos Diretores.

Segundo o autor, para promover o adequado diagnóstico dos problemas bem como a garantia da eficiência das proposições, a observação da questão da drenagem urbana deve ser dividida em três categorias principais:

#### **a) O curso d' água principal**

Os córregos e rios, condutores naturais de água são de suma importância para garantir o equilíbrio do sistema de drenagem, desta forma, a análise de suas características se torna fundamental para o diagnóstico adequado. Por outro lado, a regulamentação do uso dos terrenos ocupados pelo curso d'água, ou seja, a seção da drenagem pode ser considerada vaga. O Código Florestal (Lei Federal Nº 4771 de 29 de junho de 1965), revogado pela Lei 12.651 de maio de 2012, resume-se a preservação vegetal, enquanto que a Lei de Parcelamento de Solo (Lei Nº 6766 de 19 de dezembro de 1979) somente exige que nos projetos dos empreendimentos sejam apresentadas as localizações dos cursos d'água, tratando os rios simplesmente como linhas (MORUZZI, 2009).

#### **b) As áreas de preservação permanente**

De acordo com o Código Florestal (Lei n.º 12651/2012), a APP possui a função de preservação do recurso hídrico, paisagem, estabilidade geológica a biodiversidade, o fluxo gênico da fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem estar das populações humanas. Partindo deste princípio, é vedada sua ocupação salvo em casos de interesse público com baixo impacto ambiental, que são os casos das ciclovias, pequenos parques de lazer, equipamentos de segurança, lazer, cultura, esporte e regulamentações fundiárias de ocupações populares consolidadas, que posteriormente foram revisadas no Estatuto da Cidade.

De acordo com o Artigo 2.º da Resolução CONAMA 369/2006, o órgão ambiental competente somente poderá autorizar a intervenção ou supressão de

vegetação em APP se forem atendidos os requisitos previstos nas normas federais, estaduais e municipais, que nesta última entende-se como principal o Plano Diretor (MORUZZI, 2009).

### **c) A urbanização das vertentes das microbacias**

Consideram-se vertentes as áreas dinâmicas onde o principal processo hidrológico é o escoamento da água. As condições de urbanização destas áreas dependem exclusivamente de suas características de forma e geotécnicas, porém, não existe legislação estadual e federal que possa ser considerada clara quanto aos limites ideais para a urbanização.

As variabilidades para a ocupação devem ser previstas no Plano Diretor uma vez que este pode tratar detalhadamente as limitações naturais de cada região do município (MORUZZI, 2009).

### **2.3.4. A questão da drenagem urbana no Plano Diretor de São Carlos**

No município de São Carlos - SP foi aprovada a Lei nº 13.691 de 25 de novembro de 2005, que institui o Plano Diretor do Município. Em relação à drenagem urbana, o plano traz no seu artigo 103º a seguinte redação:

“O projeto de drenagem constituído por poços de infiltração, bacias de retenção de águas pluviais, dispositivos de dissipação de energia, pavimentos permeáveis e demais componentes do sistema, devem ser concebidos e implantados de tal modo que a vazão de escoamento seja mantida dentro das condições originais da área antes de ser urbanizada, reduzindo-se o impacto da urbanização nos fundos de vale e nos corpos d'água” (SÃO CARLOS, 2005).

No entanto, para disciplinar o atendimento ao artigo 103 da legislação do Plano Diretor, coube ao município elaborar um novo documento denominado de “Diretrizes Municipais para Projetos de Drenagem”.

Uma questão relacionada à bacia do córrego Santa Maria do Leme, apontada na legislação do Plano Diretor Municipal (Lei 13691/2005) é a definição das áreas livres daquela bacia como áreas de preferencial expansão urbana, ou seja, sem

exigir estudos complementares, face os problemas de drenagem da bacia, o Plano Diretor Municipal prioriza o crescimento da cidade para aquela região.

### ***2.3.5. O Plano Diretor de Drenagem Ambientalmente Sustentável de São Carlos***

Entende-se como Plano Diretor de Drenagem Urbana, a relação das medidas de prevenção e controle que visam à resolução dos problemas de drenagem dos municípios, considerando a economicidade. Problemas gerados pela falta de disciplinamento da ocupação urbana nas cidades brasileiras (TUCCI, 1997).

Na cidade de São Carlos em meados de 2009 iniciou-se o processo de Licitação para contratação de empresa especializada na execução de Planos Diretores de Drenagem Urbana através de recursos fornecidos pelo Ministério das Cidades – Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. A empresa vencedora da licitação foi a SHS Consultoria e Projetos de Engenharia LTDA. que iniciou os serviços através do contrato n.º 87/2009.

A elaboração do Plano Diretor de Drenagem Urbana basicamente dividiu-se em três etapas:

Diagnóstico dos problemas de drenagem urbana da cidade, que basicamente se resumia a realizar o levantamento dos problemas que ocorrem na cidade, alagamentos, enchentes, ausência de microdrenagem, estrangulamentos de seções, etc.

Formulação de cenários, que estudou as tendências futuras de ocupação, ou seja, considerando urbanizadas as áreas disponíveis apontadas pelo Plano Diretor Municipal.

Resultados e propostas, que apresentou o Mapa de criticidade do município; Diversas obras de contenção para amortecimento do acréscimo da vazão, denominadas como medidas estruturais; Medidas não estruturais, que apontou que as áreas onde se instalariam as medidas estruturais são de interesse público; Manual de Drenagem Urbana, que apresenta os procedimentos adequados para projetos e obras de drenagem urbana no município; Programa Municipal de Drenagem, que apresentava a priorização e planejamento das ações.

A elaboração do Plano Diretor de Drenagem Urbana finalizou-se em meados do ano de 2011 onde foram entregues ao município todos os documentos da última etapa.

Vale ressaltar que o Plano Diretor Municipal e o Plano Diretor de Drenagem Urbana são coisas distintas, onde no caso do município de São Carlos o primeiro aborda todos os aspectos relativos à urbanização do município, inclusive alguns pontos relativos à drenagem urbana, enquanto que o segundo trata exclusivamente das questões da drenagem urbana.

### ***2.3.6. Diretrizes para projetos de Drenagem Urbana em São Carlos***

Após a implementação do Plano Diretor Municipal em 2005, o município se viu com o dever de nortear e padronizar as aprovações de projetos de drenagem de águas pluviais dos empreendimentos. Diante disso, coube a Secretaria Municipal de Obras Públicas a elaboração das Diretrizes para projetos drenagem no município de São Carlos (CAICHE, 2013).

As diretrizes municipais apresentam os padrões municipais dos equipamentos de drenagem e disciplinam as condições de entrega dos projetos para aprovação, sendo elas:

- Padrões e dimensionamentos de guias e sarjetas;
- Dimensionamento de galerias;
- Padrões e dimensionamento de dispositivos de drenagem (bocas de lobo, poços de visitas, dissipadores, etc.);
- Dimensionamento dos reservatórios de amortecimento de cheias;
- Manual de drenagem urbana – memorial descritivo;
- Padrões de apresentação dos projetos (CAICHE, 2013).

Em casos especiais, onde a implantação de empreendimentos trazem impactos negativos à drenagem urbana do município, as Diretrizes Municipais adotam exigências particulares mais restritivas. No entanto, esta situação gera um grande desgaste ao corpo técnico da Prefeitura Municipal, pois, em muitas vezes, essas exigências proporcionam elevados gastos por parte do empreendedor.

A metodologia de dimensionamento dos componentes do sistema de drenagem urbana adotada nas diretrizes municipais segue o padrão apresentado neste trabalho, nos conceitos gerais de hidrologia, com a utilização do Método Racional ou do Método de I Pai Wu para a determinação da vazão de projeto e das equações derivadas da equação de Manning para o dimensionamento dos sistemas de condução.

O principal ponto de conflito da Prefeitura Municipal com os empreendedores se estabelece em torno do método de dimensionamento dos reservatórios de amortecimento de cheias, utilizado para atendimento do Artigo 103º do Plano Diretor.

Para a determinação do volume retido, as Diretrizes Municipais sugerem que seja adotado o conceito do hidrograma triangular, considerando basicamente a informação do diferencial de vazão da área (antes da urbanização e após a urbanização) e do tempo de concentração.

A adoção desta metodologia se deu pelo fato da simplificação dos cálculos, pois nela se obtém o volume de amortecimento de forma direta, sem a necessidade de variações de outros parâmetros hidrológicos. No entanto, apesar de simples, este método geralmente resulta num volume de amortecimento superior ao dos demais métodos, gerando conflitos com os interessados.

Vale destacar que as diretrizes municipais não são leis, portanto, não possui caráter obrigatório.

#### **2.4. Análise crítica do embasamento teórico**

O embasamento teórico realizado buscou evidenciar a relação existente entre as áreas de conhecimento:

- A dinâmica das águas pluviais e os conceitos básicos da hidrologia;
- O meio urbano e os exemplos de gestão dos impactos da urbanização;
- A legislação pertinente e os instrumentos utilizados na gestão do manejo das águas pluviais.

O aprofundamento do estudo revelou a amplitude do problema discutido.

A revisão demonstrou que nos estudos onde se discute a relação do homem com o meio urbano, contribuições de profissionais com outros pontos de vista, ou seja, de outras especialidades do conhecimento humano, poderiam proporcionar o melhor desenvolvimento da questão, como: Estatísticos, engenheiros civis e sanitaristas, arquitetos e urbanistas, geólogos, geógrafos, historiadores, etc.

De modo geral, pode-se verificar que a revisão subsidiou o desenvolvimento de uma estratégia de análise para o esclarecimento dos problemas de manejo das águas pluviais (enchentes) apresentados na bacia do córrego Santa Maria do Leme.

Além disso, através dos exemplos apresentados na revisão e da análise da legislação pertinente, destacou-se a necessidade de cautela na ocupação das áreas livres da bacia do córrego Santa Maria do Leme.

## 3. OBJETO DE ESTUDO

### 3.1. A cidade de São Carlos

O município de São Carlos está situado na região central do estado de São Paulo, distante cerca de 240 km da capital do estado.

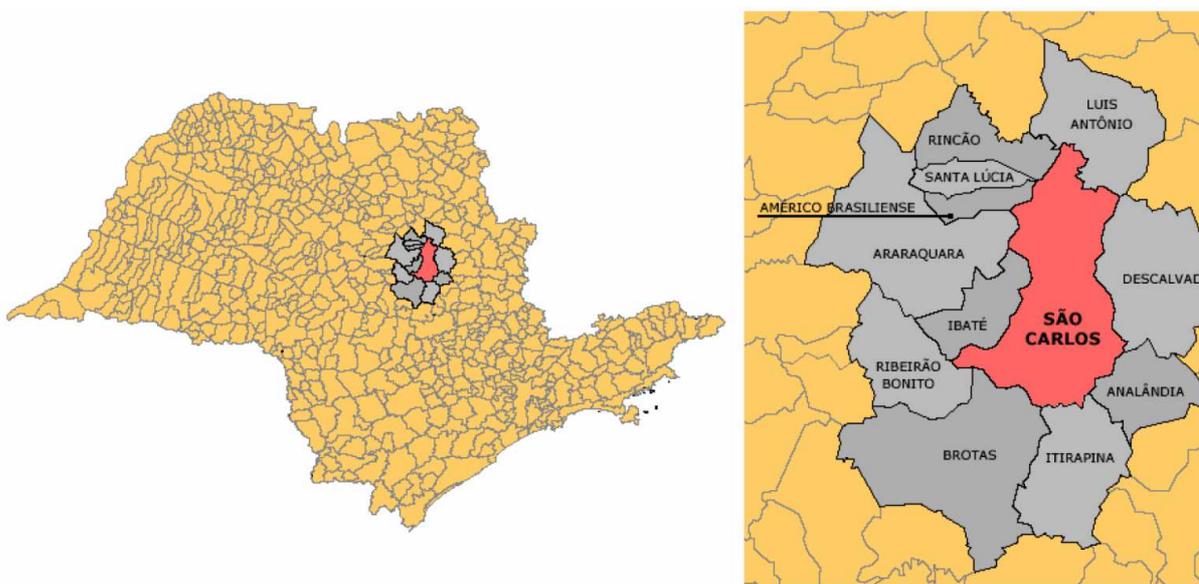
De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2014), com aproximadamente 239 mil habitantes, o município possui área superficial de 1.136,97 Km<sup>2</sup>, dentre os quais somente 5% correspondem à área urbanizada.

A altitude média do município é de 856m e seus limites encontram-se nas coordenadas 47°30' e 48°30' Longitude Oeste, 21°30' e 22°30' Latitude Sul.

Conforme representado na Figura 31, o município faz divisa com o município de Américo Brasiliense, Analândia Araraquara, Brotas, Descalvado, Ibaté, Itirapina, Luís Antônio, Santa Lucia, Ribeirão Bonito e Rincão (POLIS, 2002).

A região possui clima temperado, apresentando o verão chuvoso e inverno seco, com precipitação média anual de 1.512,00mm e umidade relativa do ar variando entre 54% no inverno e 76% no verão (POLIS, 2002).

**Figura 31 – Região do município de São Carlos.**



(Fonte: POLIS, 2002)

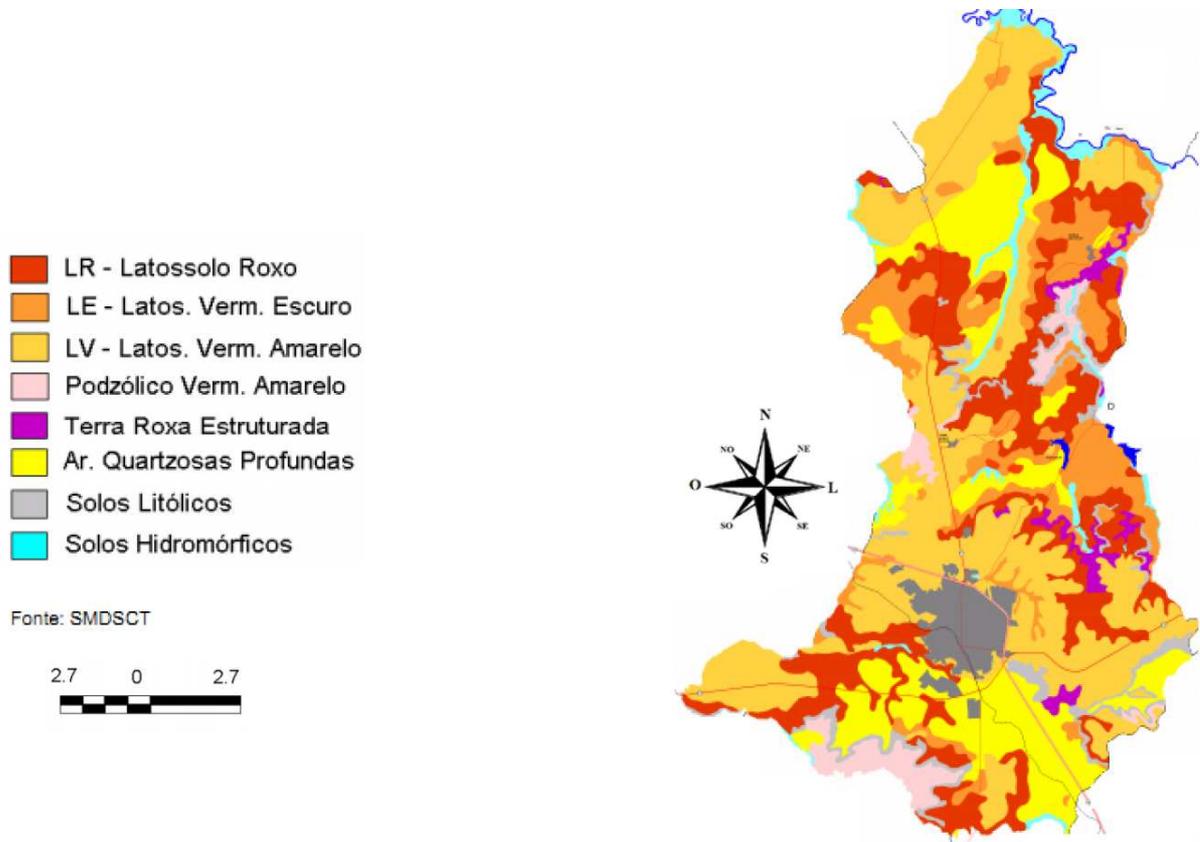
## a) Pedologia

Segundo Polis (2002), de um modo geral, o solo do município é caracterizado pelo alto grau de permeabilidade. A maior parte do território é constituído por zonas de solo latossolo vermelho-amarelo e de areia quartzosa profunda com característica arenosa, conforme representado na Figura 32.

Verificam-se também no município, grandes áreas de latossolo vermelho, amarelo e roxo, sendo estes caracterizados por apresentarem predominância argilosa com pequenos índices de terras roxas.

Ainda em acordo com Polis (2002), as áreas de latossolo são as que possuem melhores condições para a ocupação urbana, uma vez que são mais resistentes aos processos erosivos. Por outro lado, o solo com alto índice de permeabilidade requer que sejam elaboradas diretrizes específicas para a ocupação de modo a evitar a contaminação do aquífero Guaraní, onde se situa o município.

**Figura 32 – Mapa pedológico da cidade de São Carlos.**



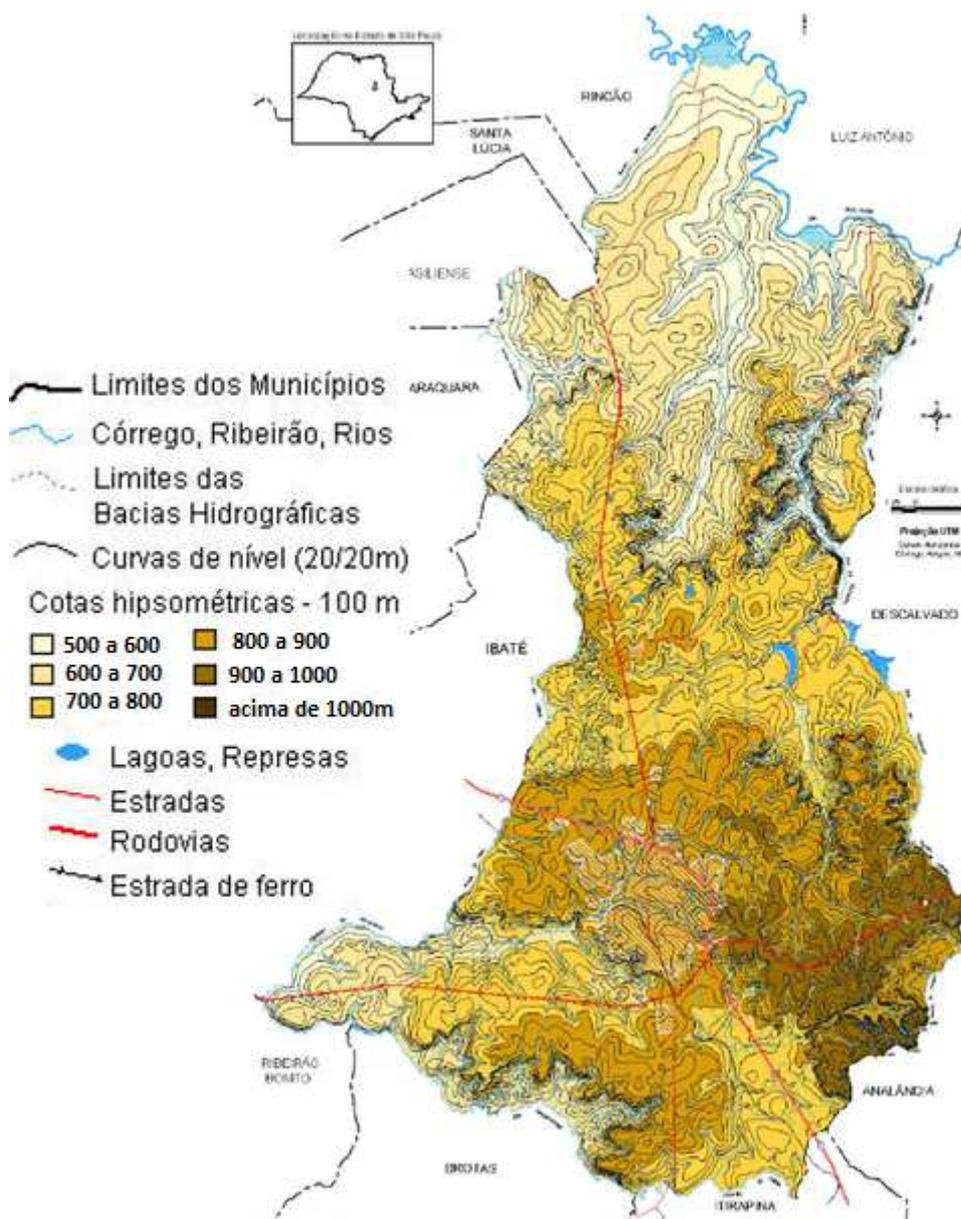
(Fonte: POLIS, 2002)

## b) Hipsometria

De acordo com Polis, (2002), grande parte do território municipal possui faixa hipsométrica que varia que varia entre 700 a 1000m, porém, a região norte se caracteriza por possuir altitudes menores, variando entre 500 e 600m, enquanto que a região sudeste possui altitude bem mais elevada, podendo a ultrapassar o limite dos 1000 metros, conforme demonstra a Figura 33.

A área urbana possui altitude que varia entre 800 e 900 metros.

**Figura 33 – Mapa hipsométrico da cidade de São Carlos.**



(Fonte: POLIS, 2002)

### **c) Cobertura Vegetal**

O município se destaca por ser um dos municípios com maior cobertura vegetal nativa. Cerca de 25 % de todo o território é coberto por vegetação nativa e 17 % dessas áreas já estão averbadas em cartório para garantia da perpetuidade.

São Carlos se situa na zona de transição entre os biomas: mata atlântica e cerrado. Porém, a cidade também se caracteriza por possuir grande variedade de ecossistemas.

As matas existente são do tipo Floresta estacional semi-decídua (POLIS, 2002).

## **3.2. Hidrografia do Município**

### **a) Macrobacias**

O município de São Carlos está inserido em duas macrobacias hidrográficas, sendo elas: Mogi-Guaçu e Tietê Jacaré, conforme apresentado na Figura 33 (POLIS, 2002).

A região urbanizada da cidade, está inserida na macrobacia Tietê Jacaré, próximo ao divisor de águas.

### **b) Bacias**

Com relação às bacias, de acordo com Polis (2002), podemos destacar como as mais importantes do município as seguintes:

- Bacia do Monjolinho, pertencente à macrobacia do Tietê-Jacaré é a bacia onde se concentra a área urbana do município.

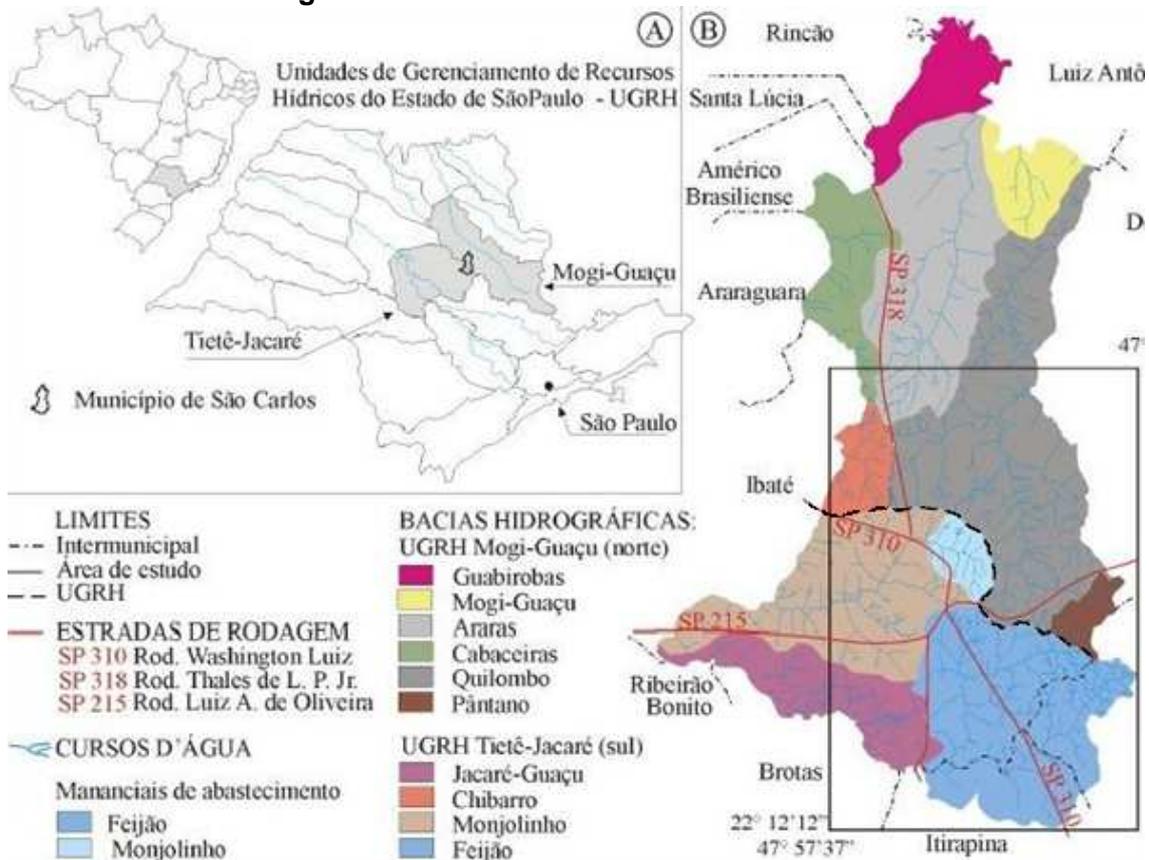
Na sua parte montante, situa-se o manancial do Espriado, um importante ponto de captação para abastecimento de água da cidade.

Os problemas de inundações da cidade ocorrem ao longo do Rio Monjolinho e seus afluentes como Córrego Santa Maria do Leme, Córrego Tijuco Preto, Córrego Mineirinho, Córrego do Gregório e Córrego Água Fria.

- Bacia do Feijão, pertencente à macrobacia Tietê-Jacaré e situa-se na APA Corumbataí. É responsável por 40% do abastecimento municipal e também é área de recarga do Aquífero Guarani.
- Bacia do Quilombo, pertencente à macrobacia Mogi Guaçu, grande veio de comunicação histórico pelo qual se estabelecem grandes propriedades do ciclo cafeeiro. Atualmente, o Vale do Quilombo é considerado o grande vetor de potencial turístico histórico-ecológico no município.
- Bacia do Chibarro, também está inserida na região norte do município e apresenta a nascente de seu principal córrego localizada na Fazenda do Urso próximo as propriedades dos condomínios Damha e Valparaíso.

A Figura 34 apresenta de uma maneira detalhada todas as bacias que compõe o município de São Carlos, nota-se que a linha espessa tracejada de cor preta representa a divisão das Macrobacias.

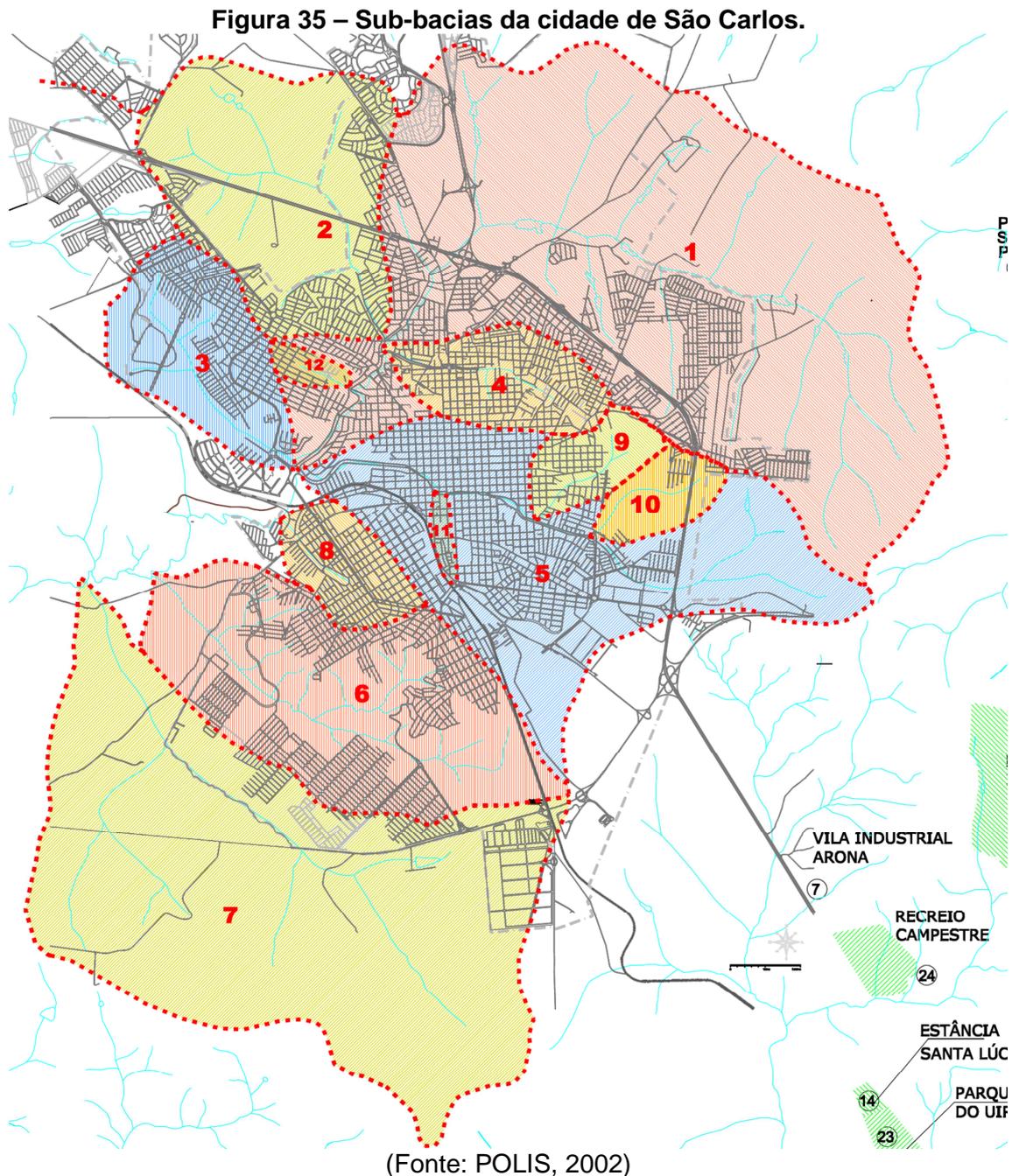
**Figura 34 - Bacias da cidade de São Carlos.**



(Fonte: POLIS, 2002)

### c) Sub-bacias

Para Polis (2002), na área urbanizada, podemos destacar 14 sub-bacias hidrográficas como sendo as mais importantes do município, conforme apresenta a Figura 35.



Na Tabela 5, é apresentado o resumo das principais características das sub-bacias destacadas na Figura 35, de acordo com Polis (2002).

**Tabela 5 – Características das sub-bacias da cidade de São Carlos.**

<b>N °</b>	<b>Sub bacia</b>	<b>Área Km<sup>2</sup></b>	<b>Comprimento do Rio principal (Km)</b>
1	Monjolinho	37,53	15,00
2	Santa Maria do Leme	10,73	4,50
3	Mineirinho	5,38	3,60
4	Tijuco Preto	3,50	2,88
5	Gregório	15,60	8,50
6	Água Quente	13,35	5,50
7	Água Fria	29,50	7,70
8	Medeiros	2,35	1,50
9	Lazarini	1,79	1,93
10	Sorrigoti	1,63	1,80
11	Simeão	0,32	1,29
12	Paraíso	0,48	0,92

(Fonte: POLIS, 2002)

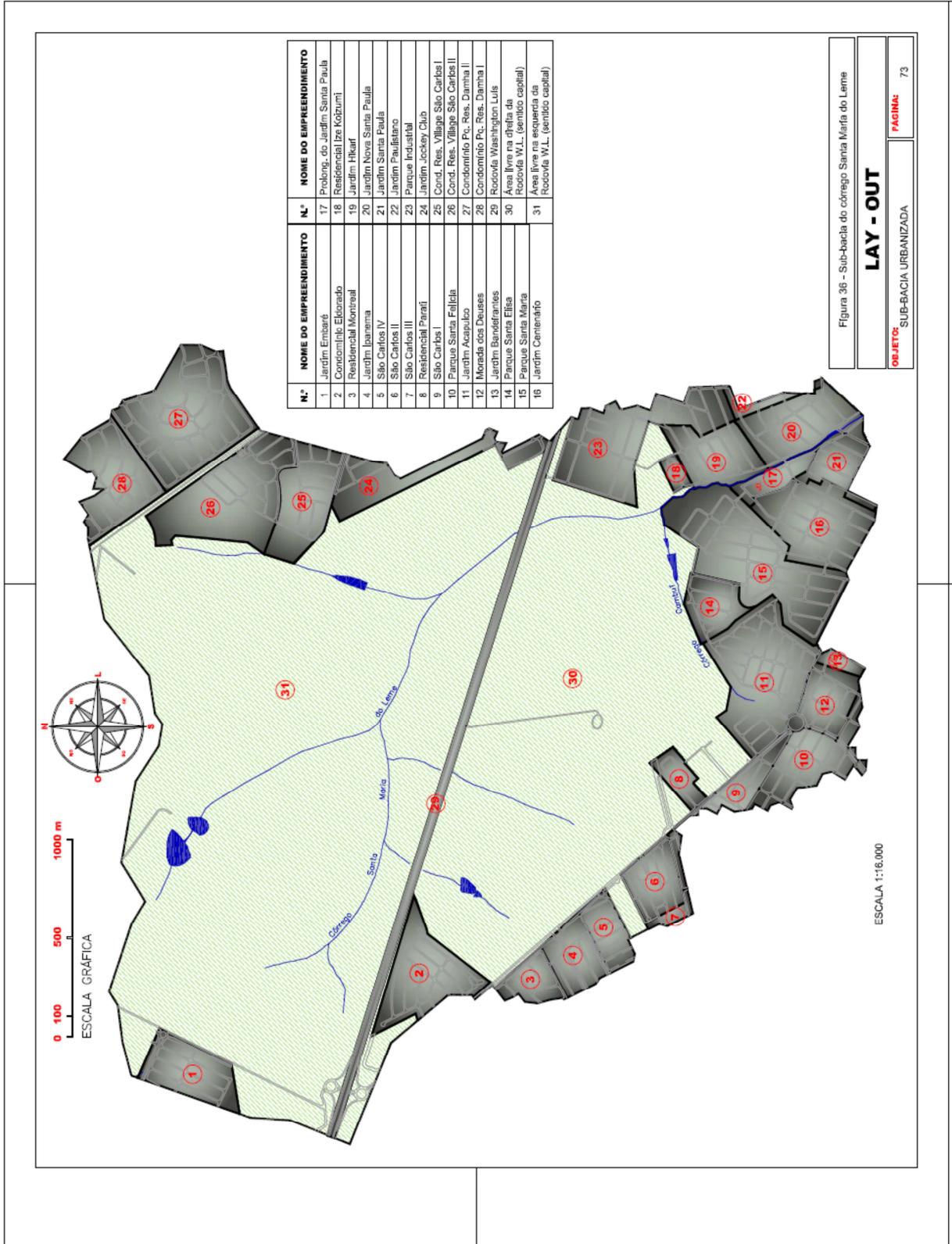
### **3.3. Sub-bacia do córrego Santa Maria do Leme**

Apresenta-se como objeto desse estudo a sub-bacia do córrego Santa Maria do Leme, afluente do córrego Monjolinho. Esta sub-bacia se insere na bacia do Monjolinho, que por sua vez se insere na macrobacia Tiete-Jacaré (CDEE-USP, 2015).

Para visualização da sub-bacia do córrego Santa Maria do Leme foi elaborado o Layout da Figura 36.

Observa-se juntamente com a Figura 36, a lista de empreendimentos implantados na sub-bacia.

Figura 36 – Sub-bacia do córrego Santa Maria do Leme.



A sub-bacia do córrego Santa Maria do Leme possui topografia pouco acidentada, fazendo com que o córrego tenha pequena declividade longitudinal, tornando-o extremamente vulnerável a processos de assoreamento, o que torna ainda mais lenta a drenagem de suas águas para o corpo d'água que o recebe (Monjolinho). Outro fator importante é que a sub-bacia do Córrego Santa Maria do Leme encontra-se em franco processo de urbanização, uma vez que o Plano Diretor Municipal aponta a região como vetor de crescimento (CDCC-USP, 2015).

Durante o processo de urbanização, o córrego Santa Maria do Leme foi parcialmente modificado para a implantação de avenidas marginais, resultando na eliminação total de suas áreas de várzeas, ao longo de aproximadamente 1.000 metros de extensão a contar de sua foz.

A bacia possui área superficial de aproximadamente 10,73 km<sup>2</sup>, com aproximadamente 70% em área rural e 30% em área urbana, englobando parcialmente ou totalmente os seguintes bairros e empreendimentos: Condomínio Eldorado, Residencial Parati, São Carlos I, Parque Santa Felícia, Morada dos Deuses, Residencial Montreal, Jardim Ipanema, São Carlos II, São Carlos III, São Carlos IV, Jardim Acapulco, Parque Santa Elisa, Parque Santa Marta, Jardim Centenário, Jardim Santa Paula, Jardim Nova Santa Paula, Jardim Hicare, Vila Parque Industrial, Condomínio Residencial Village São Carlos I, Condomínio Residencial Village São Carlos II, Condomínio Parque Residencial Damha I, Condomínio Parque Residencial Damha II, Jardim Paulistano, Jardim Embaré, Jardim Jockey Club, Prolongamento do Jardim Santa Paula, Tonin, Makro, MRV Monte Logan.

### **3.4. Inundações na Sub-bacia do córrego Santa Maria do Leme**

A região da foz do Córrego Santa Maria do Leme, à montante do ponto de desague no córrego Monjolinho, é constantemente inundada.

A baixa declividade longitudinal neste trecho de córrego, a densidade da ocupação do solo e a inexistência de sistemas de retenção são fatores que contribuem para que em dias de fortes precipitações a região se transforme numa verdadeira planície de inundação.

A Figura 37 e 38 retratam a enchente ocorrida na noite do dia 13 de janeiro de 2013 na região.

**Figura 37- Inundação na Avenida Liberdade – Parque do Kartódromo.**



(Fonte: [www.saocarlosdiaenoite.com.br](http://www.saocarlosdiaenoite.com.br), acessado em 15/06/2015)

**Figura 38- Inundação na Avenida Eliza Gonzales Rabelo – Parque do Kartódromo.**



(Fonte: [www.saocarlosdiaenoite.com.br](http://www.saocarlosdiaenoite.com.br), acessado em 15/06/2015)

As enchentes que ocorrem na região causam grandes prejuízos aos cidadãos que residem ou transitam pelas vias, como perdas materiais, interrupções no comércio local, contaminação por doenças veiculadas pela água, etc.

Um fator relevante que contribui para o aumento dos prejuízos é a proximidade que a ocupação urbana possui do córrego. Pode-se dizer que os prejuízos são potencializados quando a urbanização ocupa a planície de inundação do rio.

Através de uma representação gráfica sobre a imagem aérea da região dos alagamentos, observa-se, na Figura 39, as distâncias das vias e das edificações em relação ao eixo do córrego Santa Maria do Leme.

Verifica-se que os recuos não atendem a legislação atual do Código florestal, no entanto, os loteamentos do entorno do córrego foram implantados em outras oportunidades.

Vale destacar que as vias relacionadas (Avenida Liberdade e Avenida Eliza Gonzales Rabelo) são as mesmas vias inundadas apresentadas na Figura 37 e na Figura 38.

**Figura 39- Distâncias dos alinhamentos ao eixo do córrego Sta. Maria do Leme.**



Visando a obtenção das informações sobre a frequência dos eventos chuvosos que trouxeram consequências à região, realizou-se a consulta à Defesa Civil Municipal que, por sua vez, após realizar o cruzamento com o cadastro das

solicitações por ações daquele órgão na região, apresentou a relação dos dias dos eventos chuvosos.

A Tabela 6 apresenta a relação dos dias das enchentes na região da foz do córrego Santa Maria do Leme, bem como a quantidade de chuva acumulada (no dia do evento), considerando o período de janeiro de 2005 a agosto de 2014.

**Tabela 6- Enchentes no córrego Sta. Maria do Leme – jan. 2005 a agosto 2014.**

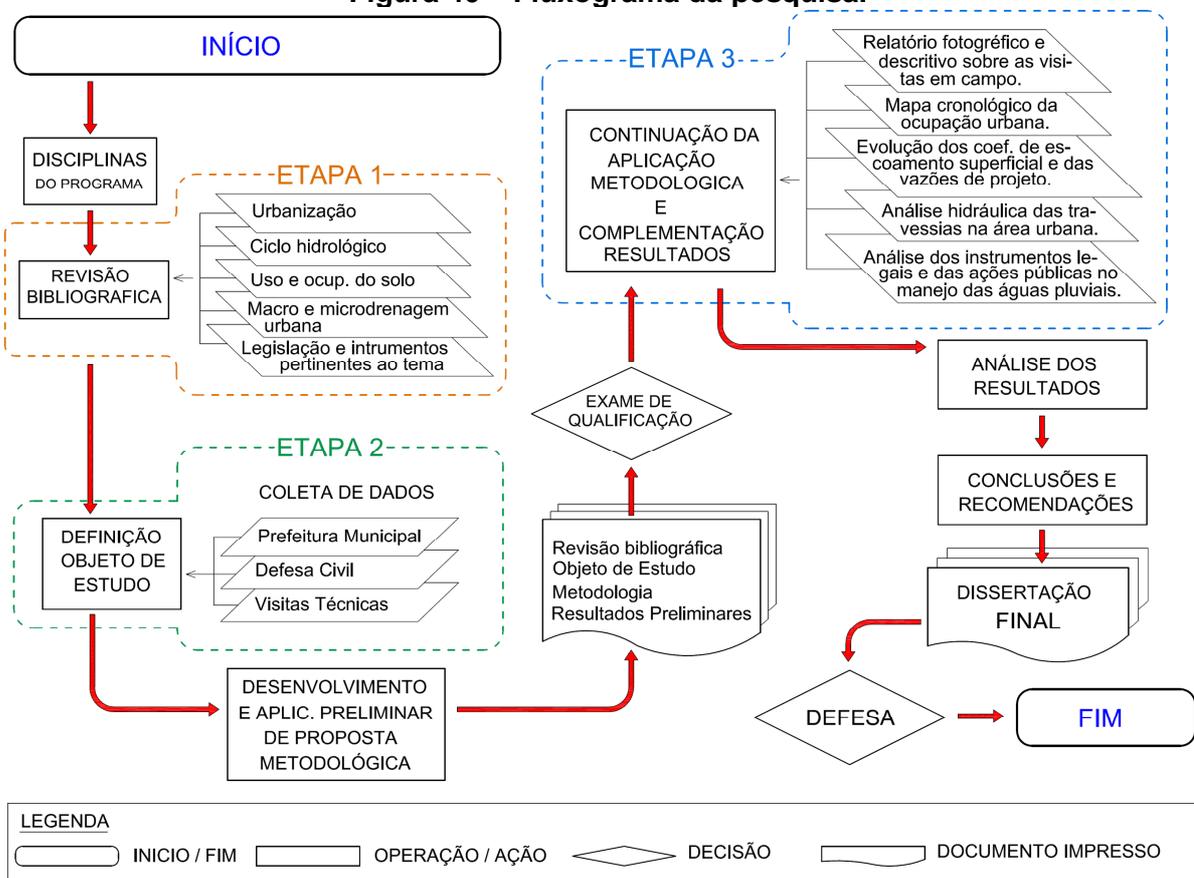
Data do evento chuvoso		Intensidade pluviométrica (mm)	Número de eventos ocorridos no ano
Ano	dia/mês		
2005	06 de janeiro	42,00	6,00
	21 de março	57,50	
	08 de outubro	48,50	
	16 de novembro	42,50	
	16 de dezembro	41,50	
	22 de dezembro	60,00	
2006	19 de novembro	47,50	3,00
	23 de dezembro	41,00	
	31 de dezembro	50,00	
2007	28 de janeiro	51,00	3,00
	08 de fevereiro	50,00	
	06 de novembro	48,00	
2008	19 de fevereiro	43,50	4,00
	01 de outubro	47,00	
	06 de novembro	43,00	
	25 de dezembro	48,00	
2009	01 de janeiro	56,50	3,00
	11 de março	56,50	
	29 de dezembro	103,50	
2010	Sem ocorrências no ano		0,00
2011	12 de janeiro	75,75	3,00
	27 de março	72,10	
	31 de dezembro	77,00	
2012	Sem ocorrências no ano		0,00
2013	12 de janeiro	44,00	4,00
	13 de janeiro	72,00	
	22 de fevereiro	56,00	
	04 de dezembro	65,00	
2014	Sem ocorrências até o mês de agosto		0,00

# 4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O presente capítulo descreve os procedimentos metodológicos adotados na elaboração desse trabalho.

Para demonstrar a evolução e o desenvolvimento da pesquisa, elaborou-se o fluxograma da Figura 40.

Figura 40 – Fluxograma da pesquisa.



## 4.1. Etapa 1 – Embasamento teórico

A etapa 1 consiste na descrição do embasamento teórico realizado para a elaboração deste trabalho. O embasamento teórico realizou-se por meio de consultas a livros, artigos acadêmicos, revistas científicas, anais de congressos, dissertações e teses relacionadas ao tema central da pesquisa.

As principais áreas de conhecimento que contribuíram para o embasamento teórico foram:

- Ciclo hidrológico;
- Manejo das águas pluviais;
- Urbanização;
- Uso e ocupação do solo;
- Exemplos de obras internacionais contra enchentes;
- Legislação e instrumentos pertinentes ao tema.

## **4.2. Etapa 2 – Objeto de Estudo**

A etapa 2 apresenta os procedimentos adotados no levantamento de dados para a definição do Objeto de Estudo, definido como a bacia do córrego Santa Maria do Leme, em função da estrutura hidrográfica de São Carlos.

Para sistematização no levantamento dos dados cadastrais necessários para o desenvolvimento da pesquisa, foram realizadas consultas às secretarias da Prefeitura Municipal de São Carlos que se relacionavam com a urbanização da cidade: Secretaria Municipal de Habitação e Desenvolvimento Urbano, Secretaria Municipal de Obras Públicas, Secretaria Municipal de Governo - Defesa Civil.

O objetivo das consultas foi levantar o material técnico e histórico da ocupação da bacia.

Dentre o material obtido, destacam-se os seguintes documentos: Mapa base do município, mapa de aprovação dos empreendimentos, ficha cadastral, índices de precipitações pluviométricas, levantamento topográfico e alguns dados complementares.

### **4.2.1. Mapa base do município**

Trata-se do mapa base vetorizado em formato digital para o uso em softwares específicos que trabalham nesta plataforma. O mapa, que abrange todo o território municipal, proporciona a obtenção das características físicas dos lotes, bairros, grandes áreas e bacias localizadas no município.

Para edição do mapa utilizou-se o software AutoCAD, disponibilizado gratuitamente na versão estudante pelo fabricante AutoDesk.

Através desse mapa, foram obtidos os dados relativos às dimensões e áreas de cada empreendimento implantado na bacia, além dos dados da própria bacia como um todo.

Por se tratar de um mapa desenvolvido por georreferenciado e frequentemente atualizado pelos técnicos da prefeitura, este mapa retrata a implantação real dos loteamentos na bacia, aumentando o grau de precisão dos resultados.

#### ***4.2.2. Mapas de aprovação dos empreendimentos***

Os mapas de aprovação dos empreendimentos representam a digitalização dos projetos urbanísticos apresentados pelo loteador à aprovação da Prefeitura Municipal.

Com os projetos dos loteamentos aprovados foi possível realizar um trabalho visual de comparação com o mapa georreferenciado.

#### ***4.2.3. Ficha cadastral***

A ficha cadastral é um instrumento criado pela Secretaria Municipal de Habitação e Desenvolvimento Urbano que visa apresentar o resumo das informações cadastrais dos bairros, além dos números dos principais documentos relacionados com o bairro, onde todo o detalhamento da aprovação pode ser consultado.

Na ficha cadastral podem ser consultadas informações diretas como: Nome do loteamento, números de documentos de registro, data de aprovação, número de quadras e lotes, áreas institucionais, verdes e de preservação, número de processos e matrículas das áreas, coeficientes urbanísticos, resumo da lei de aprovação, etc.

Os principais dados coletados nas fichas cadastrais foram organizados e apresentados nos resultados em uma tabela resumo, no item que avalia a evolução do coeficiente de escoamento superficial.

#### **4.2.4. Índices de precipitações pluviométricas**

A Defesa Civil da Prefeitura Municipal de São Carlos realiza o trabalho de monitoramento das precipitações que ocorrem no território municipal através de medições de instrumentos próprios e da coleta dos dados dos instrumentos sob responsabilidade de universidades e empresas de pesquisa do município.

Em consulta ao departamento, foram obtidos os índices das precipitações pluviométricas ocorridas na cidade nos últimos dez anos, com acumulações mensais e anuais.

Além destes dados, também foi fornecido o histórico das solicitações ocorridas na região estudada bem como algumas imagens capturadas durante os atendimentos.

A partir dos dados das chuvas, das ocorrências e do cruzamento das informações de ocorrências coletadas na Defesa Civil municipal, foi possível determinar os dias que ocorreram as enchentes na bacia do córrego Santa Maria do Leme.

#### **4.2.5. Levantamento topográfico**

Na Secretaria Municipal de Obras Públicas, obteve-se o levantamento topográfico de aproximadamente mil metros lineares do córrego Santa Maria do Leme a partir de sua foz, realizado no ano de 2006. O trecho corresponde justamente ao mesmo trecho onde ocorreram as enchentes, conforme apontamentos da Defesa Civil Municipal.

Embora esse levantamento topográfico tenha sido realizado no ano de 2006, nenhuma alteração significativa ocorreu no local.

Através do levantamento foram elaboradas as seções transversais e longitudinais do córrego nos trechos de maior interesse.

#### **4.2.6. Dados complementares**

Além dos documentos mencionados anteriormente, também foram obtidos alguns documentos que contribuiriam para a análise cronológica da ocupação da bacia, dentre eles:

- Fotos aéreas datadas do ano de 1969, 1970, 1971, 1998, 2000, 2001, 2004, onde se verifica o processo de urbanização do município.
- Base cartográfica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
- Trabalhos técnicos realizados pela prefeitura na bacia.

### **4.3. Etapa 3 – Resultados**

A etapa 3 apresenta a descrição dos procedimentos metodológicos adotados para a obtenção dos resultados.

#### **4.3.1. Visitas em campo**

Com o propósito de obter a avaliação básica e a percepção atualizada das condições do córrego a partir de cada uma das sete nascentes, foram realizadas visitas in loco.

Como a maioria das nascentes estavam localizadas em propriedades particulares, primeiramente houve necessidade de obter as autorizações dos respectivos representantes.

De posse das autorizações e dos equipamentos necessários, iniciaram-se as visitas que duraram aproximadamente dez dias.

As principais questões observadas nas vistorias foram:

- Condição das áreas de preservação permanente nas nascentes e no leito do córrego;
- Existência de áreas de recuperação com o replantio de espécies arbóreas;
- Existência de despejos clandestinos de esgoto;

- Manutenção pública na área urbana - acúmulo de sedimentos, presença de vegetação rasteira no leito do córrego, presença de entulho e resíduos, etc;
- Existência de passarelas, travessias, passagens canalizadas, etc.

Em diversas oportunidades houve dificuldades de acesso aos pontos desejados, pois a região apresentava cobertura vegetal fechada. Desta forma, foi necessário encontrar rotas alternativas com menor adversidade para chegar ao ponto desejado.

Com a finalização dos trabalhos de campo, iniciaram-se o processamento e escolha das fotos.

Para melhor visualização das regiões vistoriadas, elaborou-se o layout de articulação das pranchas, onde se apresenta o planejamento da visualização de cada região da bacia (ANEXO B).

As oito pranchas definidas no layout de articulação demonstram a ordenação e numeração adotadas nas figuras selecionadas, direcionando seus símbolos conforme visão da respectiva figura (ANEXO C).

Por fim, no capítulo destinado aos resultados do trabalho, apresentou-se o relatório fotográfico contendo as figuras selecionadas, comentários individuais e comentários intermediários que visão estabelecer a relação entre as figuras.

#### ***4.3.2. Mapa cronológico da ocupação urbana***

Para representar a ocupação cronológica da bacia pelos loteamentos, foi idealizado um mapa onde cada empreendimento passaria a receber uma cor referente à década em que foi implantado.

Com o uso do software AutoCAD e do mapa base fornecido pela Prefeitura Municipal, delimitaram-se as áreas correspondentes a cada empreendimento. Em seguida, cada fração de área recebeu sua respectiva cor.

Adotou-se a escala de cor amarela, onde as cores claras representavam às décadas iniciais da urbanização e as cores escuras as décadas mais recentes. As áreas livres foram representadas pela cor verde.

Para obter as informações relativas às datas de aprovações foram consultados os mapas de aprovação de cada empreendimento bem como as respectivas fichas cadastrais, obtidas no levantamento de dados.

### ***4.3.3. Evolução do coeficiente de escoamento superficial e estimativa da vazão de projeto através do Método Racional***

O coeficiente de escoamento superficial representa o fator determinante no estudo do acréscimo de vazão gerado pela urbanização em uma bacia. A determinação deste parâmetro, assim como da vazão de projeto da área urbanizada, possibilita a comparação com os limites físicos implantados no córrego, como travessias, canais, etc.

O objetivo principal do cálculo destes parâmetros foi entender, através da análise sucinta, a relação existente entre a evolução do coeficiente de escoamento superficial com o surgimento dos problemas de drenagem em bacias urbanas. Para tanto, adotou-se o Método Racional (DAEE, 2005), que de maneira direta e simplificada possibilita a determinação destes parâmetros.

Considerando que o Método Racional deve ser aplicado em áreas inferiores a 2,00 Km<sup>2</sup>, e que a bacia do córrego Santa Maria do Leme possui área de aproximadamente 10,7 Km<sup>2</sup>, primeiramente foi necessário dividir a bacia em seis frações de áreas iguais denominadas de A1 a A6, adequando-se as condições de permissibilidade.

A divisão se deu com o uso do mapa vetorizado fornecido pela Prefeitura Municipal e do software AutoCAD, traçando um eixo longitudinal que ligou a nascente mais distante à foz da bacia e eixos perpendiculares, que originaram as frações de aproximadamente 1,79Km<sup>2</sup>.

A realização do estudo cronológico da ocupação da bacia possibilitava a determinação do coeficiente de escoamento superficial resultante em qualquer data do processo de urbanização. No entanto, optou-se por dividir o período de urbanização em faixas de dez anos e calcular o coeficiente de escoamento superficial resultante do final de cada década, em todas as frações de áreas, assim como foi realizado no mapa cronológico da ocupação.

Embasados na bibliografia estudada, verificou-se que inicialmente toda a bacia deveria receber o valor do coeficiente de escoamento superficial correspondente à

cobertura vegetal de pastagem, ou seja, 0,20. Posteriormente, na medida em que a urbanização ocorria, cada fração de área urbanizada recebia o valor de 0,70 para o coeficiente de escoamento superficial, correspondente ao valor das áreas urbanizadas, conforme bibliografia considerada (DAEE, 2005).

Na sequencia, realizaram-se os cálculos ponderados resultantes para as frações de áreas e décadas, obtendo os valores desejados.

Com relação à determinação da estimativa da evolução da vazão de projeto pelo Método Racional, após determinar as variáveis relativas às precipitações considerando a equação da chuva da cidade de São Carlos (Barbassa, 1991), e a fixação dos valores relativos às áreas A1 a A6, realizou-se os cálculos variando os valores dos coeficientes de escoamento superficial em função do tempo, ou seja, da urbanização da bacia. Nestas condições, a determinação da vazão se deu de forma direta, substituindo os valores dos coeficientes ponderados para cada década em cada uma das áreas.

Vale salientar que, também foram consideradas as vazões de jusante de cada área que contribui diretamente na área seguinte.

Os resultados desta etapa do trabalho possibilitaram a elaboração de gráficos que representaram a evolução do coeficiente de escoamento superficial e da vazão de projeto durante o período de urbanização da bacia.

#### ***4.3.4. Análise hidráulica das travessias implantadas da região urbanizada da bacia.***

A bacia do córrego Santa Maria do Leme apresenta uma série de passagens e travessias em seu território rural e urbano.

Considerando a importância do estudo da vazão de suporte dessas travessias bem como da velocidade do escoamento para determinação de pontos críticos e possíveis formações de remansos hidráulicos, esta etapa apresentou a avaliação de seis travessias localizadas na bacia, enfatizando a região urbanizada onde ocorrem os alagamentos.

Embora seja sabido que a vazão máxima de escoamento de uma travessia não ocorra na seção plena e sim numa condição de  $y/d$  entre 0,75 e 0,90 (DNIT, 2006), neste caso, no estudo das velocidades do escoamento, a adoção destes parâmetros

não retrataria a condição mais desfavorável, pois com o menor atrito ocorrendo nas paredes das travessias aumentam-se as velocidades de escoamento e conseqüentemente o fluxo do sistema. Por este motivo optamos por adotar a seção plena das travessias, ou seja, com  $y/d = 1,0$ , proporcionando menor velocidade de escoamento e evidenciando os pontos de criticidade. Também será calculada a vazão na seção com  $y/d$  entre 0,75 e 0,90 e apresentado os índices de variabilidade.

As travessias consideradas nos estudos são as seguintes:

- Galerias de passagem sob a Rodovia Washington Luís;
- Travessia perpendicular à Rua Miguel Abdelnur Filho;
- Passarela localizada no alinhamento da Rua Brás Cubas;
- Travessia de veículos da Rua João Ramalho;
- Travessia de veículos da Rua Oscar de Souza Geribelo;
- Travessia de veículos da Alameda dos Crisântemos.

Para prosseguimento da análise, necessitou-se complementar as vistorias em campo com observações específicas das travessias escolhidas, coletando informações características como: dimensões, características dos materiais, acabamentos, deterioração, etc.

Na sequência, com o uso do software AutoCAD, foram traçadas as respectivas representações gráficas, apresentadas nos resultados.

Com o levantamento topográfico coletado na Prefeitura Municipal, foi possível obter as informações de altimetria das travessias localizadas na região dos alagamentos. As informações serviram para o traçado dos perfis longitudinais e transversais do córrego.

Somente os perfis longitudinais e transversais das galerias da principal passagem sob a Rodovia Washington Luís e da travessia do córrego Cambuí, localizada perpendicularmente a Rua Miguel Abdelnur Filho, não puderam ser traçados, pois o levantamento topográfico não chegava aos pontos.

A partir do perfil longitudinal do córrego foi possível obter a declividade longitudinal verdadeira, sem a necessidade de realizar estimativas.

O levantamento também subsidiou o traçado das seções transversais do córrego nos pontos imediatamente a montante das quatro travessias (aproximadamente cinco metros), possibilitando o estudo da velocidade e o

apontamento de pontos críticos, onde possivelmente pode existir a formação de remansos hidráulicos.

As velocidades foram determinadas pela equação de Manning (Equação 12) e pela equação da Continuidade (Equação 13).

Com o uso da equação de Manning, foi determinada a capacidade de escoamento de cada travessia, calculando a vazão máxima que cada uma pode suportar. A determinação desses valores possibilitou a elaboração do gráfico que compara as seções reais das travessias implantadas com a lógica crescente das seções, ou seja, quanto maior a área de contribuição, maior deverá ser a seção da travessia. Nesta lógica, seguindo o sentido de escoamento do córrego, a seção da travessia localizada em um ponto a jusante do analisado, sempre será maior.

Por fim, com os valores da evolução da vazão de projeto e com o conhecimento da capacidade de escoamento de cada travessia urbana, foi possível realizar a comparação e a verificação de possíveis pontos problemáticos.

#### ***4.3.5. Análise dos instrumentos legais e das ações públicas municipais na gestão da drenagem urbana***

Diferente das análises anteriores, esta etapa da pesquisa visou realizar a interpretação teórica dos instrumentos legais e das ações do poder público municipal na gestão do manejo das águas pluviais.

Para desenvolvimento desta etapa, foi necessário primeiramente realizar um estudo aprofundado nas seguintes legislações municipais:

- Lei Municipal nº 13.691 de 25 de novembro de 2005 – Plano Diretor Municipal;
- Diretrizes Municipais para projetos de drenagem urbana – elaborados pela Secretaria Municipal de Obras Públicas no ano de 2010;
- Lei Municipal nº 15.958 de 29 de dezembro de 2011 – Código de Obras;
- Plano Diretor de Drenagem Ambientalmente Sustentável de São Carlos, cujas medidas foram aprovadas na Lei Municipal nº 444 de 19 de novembro de 2013 – Plano Municipal de Saneamento Básico.

Para conhecer a forma de utilização desses instrumentos, realizou-se reuniões com os responsáveis pela aplicação, aprovação e fiscalização dos empreendimentos na prefeitura.

Para verificação e avaliação das ações diretas realizadas pelo município, também realizaram-se reuniões na prefeitura com os responsáveis por estes serviços, onde avaliou-se o reservatório de amortecimento de cheias localizado no sítio Paraíso, as margens da Rua Miguel Petroni, para combater os alagamentos na bacia do córrego Santa Maria do Leme.

Os dados relativos aos serviços de manutenção realizados pela prefeitura no córrego não puderam ser coletados, pois os mesmos não existem, restando à pesquisa somente a interpretação da situação percebida nas vistorias de campo.

Com os dados das obras, das vistorias e com a interpretação dos instrumentos legais, realizou-se a análise comparativa e qualitativa do material.

Para demonstrar concisamente os resultados obtidos nesta análise, elaborou-se um quadro que elenca os instrumentos e as ações públicas e que posteriormente, embasados na bibliografia estudada, são apresentadas as avaliações das condições atuais e ideais nas colunas seguintes.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O presente capítulo expõe e discute os resultados obtidos nas análises realizadas na bacia do córrego Santa Maria do Leme, apresentando comentários gerais que buscam estabelecer conexões através da visão panorâmica do problema.

Os resultados serão apresentados na ordenação definida nos procedimentos metodológicos, conforme apresentado na Etapa 3.

### 5.1. *Relatório fotográfico das visitas em campo*

As visitas realizadas proporcionaram a visão geral da bacia, favorecendo a percepção de situações e pontos importantes, como: nascentes, áreas de preservação permanente, reflorestamentos, leito, travessias, assoreamentos, etc.

Para compreensão da ordenação e direção das figuras, apresentam-se nos Anexos deste trabalho o Layout de articulação das pranchas (ANEXO B) e as pranchas de ordenação das Figuras (ANEXO C).

Na sequência, apresentam-se os resultados obtidos na forma do relatório fotográfico com comentários acerca de cada figura selecionada.

As Figuras 41 a 46 foram capturadas na região da nascente N1 que predominantemente se configura como área rural de pastagem com atividade pecuária, embora seja apontada no Plano Diretor como área de ocupação controlada.

**Figura 41 - Vista da área de pastagem a montante da nascente N1.**



**Figura 42 - Vista da área de preservação permanente da nascente N1**



Conforme se verifica nas Figuras 41 e 42, não foi possível ter acesso direto à nascente N1, pois a região está isolada com cercas e coberta por vegetação densa.

A região, onde se localiza o trecho entre a nascente N1 e o eixo principal do córrego Santa Maria do Leme, dispõe de dois barramentos particulares (Figura 43 e 44). De acordo com os proprietários, nos últimos anos sofrem com a redução do volume de água.

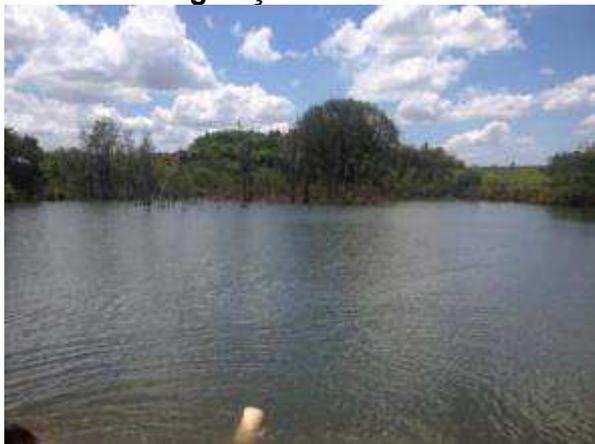
**Figura 43 - Vista geral do primeiro barramento a jusante da nascente N1.**



**Figura 44 - Vista geral do segundo barramento a jusante da nascente N1.**



**Figura 45 - Vista geral do segundo barramento a jusante da nascente N1 – vegetação ao fundo.**



**Figura 46 - Vista do extravasor do segundo barramento a jusante da nascente N1 – bica.**



As Figuras 47 a 50 retratam a região da nascente N2, propriedade privada com estudos para ocupação urbana, localizada à esquerda dos loteamentos Damha.

A nascente está isolada com alambrados e cercada por vegetação densa preservada. No entanto, próximo à mesma é possível constatar um dissipador de energia de um lançamento de água pluvial do loteamento implantado à montante.

**Figura 47 - Vista da nascente N2, próxima à região dos condomínios Damha.**



**Figura 48 - Vista do dissipador de energia localizado a montante da nascente N2.**



**Figura 49 - Leito do córrego à jusante do dissipador de energia destacado na Figura 47.**



**Figura 50 - Vista da área de preservação permanente localizada a montante da nascente N2.**



As Figuras 51 e 52 demonstram o leito do córrego no trecho compreendido entre a nascente N2 e a junção com o eixo principal do córrego. Neste mesmo trecho, nota-se a existência de açudes, utilizados pelo gado como bebedouros, contribuindo para a formação de regiões com pouca vegetação arbórea. Além disso, conforme nota-se na Figura 51, verificou-se a existência de um ponto clandestino de lançamento de esgotos, provocando a poluição do córrego.

**Figura 51 - Leito do córrego à jusante da nascente N2 – lançamento clandestino de esgotos.**



**Figura 52 - Vista do leito do córrego, observa-se isolamento com cerca – atividade pecuária.**



As Figuras 53 e 56 representam a região das nascentes N3 e N4. Essas nascentes estão localizadas entre a Rodovia Washington Luís e o loteamento Jardim Embaré. Verifica-se o isolamento da área com cercas e a presença de cobertura vegetal de grande porte na área de preservação permanente.

A Figura 53 representa o ponto da nascente.

Não foi possível localizar o ponto exato da nascente N3, devido à dificuldade de acesso pela vegetação densa e a existência de solo brejoso.

**Figura 53 - Vista da nascente N3, próxima à região do loteamento Jd. Embaré.**



**Figura 54 - Vista da área de pastagem localizada a jusante da nascente N3 – APP ao fundo.**



**Figura 55 - Vista de região da nascente N4, verificou-se a vegetação densa, porém não foi encontrado afloramento de água.**



**Figura 56 - Vista da região da nascente N4 pela rodovia Washington Luís.**



As Figuras 57 e 58 retratam o ponto de cruzamento de um trecho do córrego com a Rodovia Washington Luís, trazendo as águas provenientes da nascente N5, localizada na propriedade particular.

**Figura 57 - Cruzamento do córrego com a Rodovia Washington Luís, a jusante da nascente N5 (seção aproximada de 2,50 x 2,00 m).**



**Figura 58 - Vista da vegetação a jusante do cruzamento referido na Figura 56.**



Em um dos trechos do leito do córrego localizado à montante da Rodovia Washington Luís, foi constatada uma área de replantio de espécies arbóreas, conforme demonstram as Figuras 61 e 62. Esse replantio deve contribuir para a complementação da faixa de preservação permanente existente, que apesar de densa, não possui largura suficiente para atendimento da legislação.

As Figuras 63 e 64 retratam outro ponto de cruzamento do córrego com a Rodovia Washington Luís recebendo as águas da nascente N6.

**Figura 59 - Vista de um açude utilizado para os animais tomarem água – atividade pecuária.**



**Figura 60 - Vista geral da região do encontro das águas das nascentes N1 a N6.**



**Figura 61 - Vista geral da área de plantio para adensamento da mata ciliar e recomposição da APP.**



**Figura 62 - Vista do leito do córrego águas das nascentes N1 a N5.**



**Figura 63 - Cruzamento do córrego com a Rodovia Washington Luís, a jusante da nascente N6 (Ø1000mm).**



**Figura 64 - Vista da vegetação a jusante do cruzamento referido na Figura 62.**



Na vistoria ao sítio Paraíso, verificou-se a existência de um reservatório de contenção de cheias, executado pela Prefeitura Municipal na tentativa de controlar os alagamentos que ocorrem na região do Kartódromo. Este reservatório encontra-se em bom estado de conservação e isolamento, conforme demonstram as Figuras 65 e 66.

**Figura 65 - Vista geral do reservatório público de amortecimento de cheias com volume útil aproximado de 16.000m<sup>3</sup> - Sítio Paraíso.**



**Figura 66 - Vista do reservatório, verificou-se a existência de um afloramento de água dentro do mesmo.**



Ao lado direito do reservatório localiza-se a nascente N6, apresentada nas Figuras 67 a 69. Esta nascente fica numa região brejosa de difícil acesso, não fornecendo condições suficientes para a determinação com clareza de todos os pontos de afloramento das águas.

A Figura 67 mostra um antigo ponto de afloramento, onde hoje existe a área de reflorestamento ainda em estágio inicial.

A Figura 68 apresenta um ponto de afloramento com pouca cobertura vegetal localizado às margens do isolamento da área de preservação permanente.

Constatando os diversos pontos de afloramentos secos e com água, verificamos que a região sofre constantes mudanças quanto à posição das nascentes, onde as posições se definem em função da oferta de chuvas na bacia.

A Figura 69 representa um ponto do leito do córrego localizado ao centro da região cercada.

**Figura 67 - Vista de uma antiga nascente na região da nascente N6. Ao fundo, observa-se a recomposição da vegetação por plantio.**



**Figura 68 - Nascente N6 – Sítio Paraíso.**



**Figura 69 - Leito do córrego na região da nascente N6.**



**Figura 70 - Cruzamento do córrego com a Rodovia W. L., jusante da nascente N6 (Ø 1000mm).**



A jusante da nascente N6 encontra-se um dos três cruzamentos do córrego com a rodovia Washington Luís, conforme apresenta-se na Figura 70. Este mesmo cruzamento já foi representado nas Figuras 63 e 64, porém, do outro lado da rodovia.

Ainda dentro da propriedade privada, localiza-se a nascente N5, representada pelas Figuras 71 a 73. Esta nascente também se situa em uma região de solo brejoso com cobertura vegetal densa e também encontra-se isolada por cercas. No entanto, em alguns pontos do leito do córrego, diferentemente da região da nascente N6, notaram-se alguns açudes, utilizados pelo gado como bebedouros, conforme demonstra a Figura 71.

**Figura 71 - Nascente N5, localizada no Sítio Paraíso. Vista de um açude para animais tomarem água – atividade pecuária.**

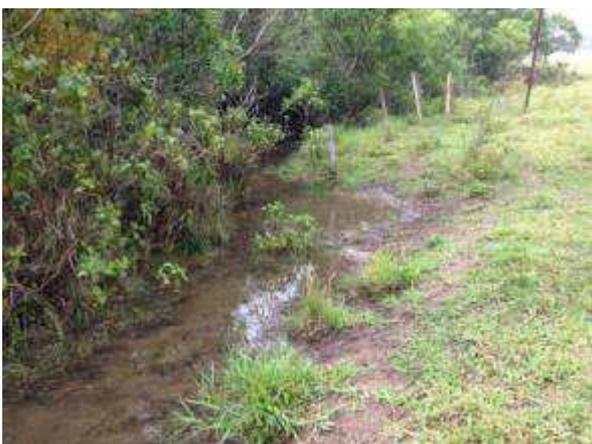


**Figura 72 - Nascente N5, Sítio Paraíso.**



A jusante da nascente N5 localiza-se um grande barramento privado, conforme demonstrado na Figura 74. A frente deste barramento localiza-se uma região brejosa, demonstrada na Figura 75, que se estende até a margem direita da Rodovia Washington Luís (sentido capital) onde encontra-se o segundo ponto de cruzamento com a rodovia , apresentado na Figura 76 e já apresentado na Figura 58.

**Figura 73 - nascente N5, Sítio Paraíso.**



**Figura 74 - Vista do barramento localizado a jusante da nascente N5, Sítio Paraíso.**



**Figura 75 - Vista da seção do córrego a jusante da nascente N5 (Sítio Paraíso). Rodovia Washington Luís ao fundo.**



**Figura 76 - Cruzamento do córrego com a Rodovia W. L., jusante da nascente N5 (Ø 800mm).**



As Figuras 77 a 80 representam o terceiro e principal ponto de cruzamento (cruzamento principal) do córrego Santa Maria do Leme com a rodovia Washington Luís, onde acumulam as águas provenientes das nascentes N1 a N6.

A montante da rodovia constatou-se a existência de duas galerias em aço para passagem dos coletores / interceptores da rede de esgoto pública, administrada pelo SAAE - São Carlos, conforme apresenta a Figura 77.

As galerias do cruzamento iniciam-se a montante da rodovia em formas circulares de 1,0 metro de diâmetro (Figura 78) e finalizam-se a jusante da rodovia em formas de células retangulares com 1,60 metros por 1,20 metros (Figura 80).

Ainda na região rural da bacia, ou seja, a montante do cruzamento principal do córrego com a rodovia nota-se a predominância de vegetação do tipo pastagem, favorecendo a atividade pecuária, conforme apresentado na Figura 79.

Este tipo de uso do solo é responsável pela formação de pontos do leito do córrego com pouca vegetação arbórea.

Com relação à topografia desta região, embora se perceba a declividade acentuada nas áreas de pastagem, de um modo geral, o leito do córrego possui inclinação constante e leve, não apresentando quedas d'água.

A partir do cruzamento, o córrego passa a ter contato com a região urbanizada da bacia.

**Figura 77 - Vista da vegetação a jusante do cruzamento com a Rodovia Washington Luís, nascentes N1 a N6. Ao fundo, as galerias em aço.**



**Figura 78 - Cruzamento do córrego com a Rodovia Washington Luís, águas das nascentes N1 a N6 (2 Ø 1000mm).**



**Figura 79 - Vista da mata ciliar do córrego na região do cruzamento com a Rodovia Washington Luís, águas das nascentes N1 a N6.**



**Figura 80 - Cruzamento do córrego com a Rodovia Washington Luís (seção 2 x 1,60 x 1,20 m).**



Na região a jusante do cruzamento principal do córrego com a rodovia, a Figura 81 retrata o leito do córrego na área administrada pela concessionária da rodovia (Triângulo do Sol), motivo pelo qual, a faixa destinada à área de preservação permanente não dispõe de vegetação arbórea.

Finalizando a faixa de domínio da concessionária, inicia-se o trecho de aproximadamente seiscentos e cinquenta metros, onde o córrego faz divisa com o loteamento Parque Industrial, uma região com vegetação arbórea densa e largura mínima de aproximadamente trinta metros, conforme retratado na Figura 82.

**Figura 81 - Seção do córrego a jusante do último cruzamento com a Rodovia Washington Luís, ao fundo APP densa.**



**Figura 82 - Seção do córrego na região do Distrito Industrial, paralela a Rua Arlis Partel.**



As Figuras 83 e 84 representam a nascente N7 que se localiza próxima ao loteamento Jardim Acapulco, é a única nascente na região urbanizada.

Neste mesmo ponto, nota-se a existência de lançamento de água pluvial e um dissipador de energia em pedras amarradas. Provavelmente, executado durante a urbanização da bacia, onde a nascente foi drenada e direcionada à galeria. Atualmente a nascente despeja suas águas junto com o lançamento de águas pluviais, conforme verificado na Figura 84.

Recentemente, atendendo uma decisão judicial do Ministério Público do Estado de São Paulo, a Prefeitura Municipal realizou um serviço de adequação do lançamento que se encontrava comprometido por um grave processo erosivo, empregando solo importado para o aterro, pedras do tipo rachão e concreto no local.

**Figura 83 - Vista do dissipador de energia em pedras argamassadas na nascente N7. Ao fundo mata ciliar.**



**Figura 84 - Vista do lançamento de águas pluviais sobre a nascente N7, região do Jd. Acapulco.**



A partir da nascente N7, inicia-se um extenso trecho de aproximadamente mil e trezentos metros onde a faixa destinada à área de preservação permanente do córrego margeia a Rua Miguel Abdelnur Filho e a Avenida São João Batista.

A faixa de área de preservação permanente encontra-se preservada e em bom estado de conservação (Figura 85, 87 e 90), além disso, nota-se a existência de dois bosques consolidados neste percurso, o bosque Santa Marta e o bosque Cambuí.

Os bosques são mantidos pelas associações de moradores locais e pela Prefeitura Municipal e possuem vegetação densa e de grande porte, conforme demonstram as Figuras 91 e 92.

Conforme apresenta-se na Figura 86, no mesmo dia em que ocorreram as vistorias, realizava-se concomitantemente a manutenção da rede de esgoto da Rua Miguel Abdelnur Filho pelo SAAE - São Carlos. Segundo moradores locais, constantemente ocorrem extravasamentos de esgoto provenientes desta rede, contribuindo diretamente para a danificação da faixa de preservação e a poluição do córrego Santa Maria do Leme.

Nesta região, verifica-se a existência de uma travessia em células de concreto, conforme demonstrado na Figura 89. Esta travessia proporciona o acesso a uma propriedade particular que já possui estudos para urbanização.

**Figura 85 - Seção do córrego a jusante da nascente N7, paralela a Rua Miguel Abdelnur Filho.**



**Figura 86 - Execução de serviços para manutenção de rede de esgoto, onde ocorriam vazamentos e contaminação do córrego.**



**Figura 87 - Seção do córrego a jusante da nascente N7, paralela a Rua Miguel Abdelnur Filho.**



**Figura 88 - Vista do córrego, montante da primeira travessia perpendicular à Rua Miguel A. Filho.**



**Figura 89 - Vista da seção da primeira travessia perpendicular à Rua Miguel A. Filho (3,00x3,00m).**



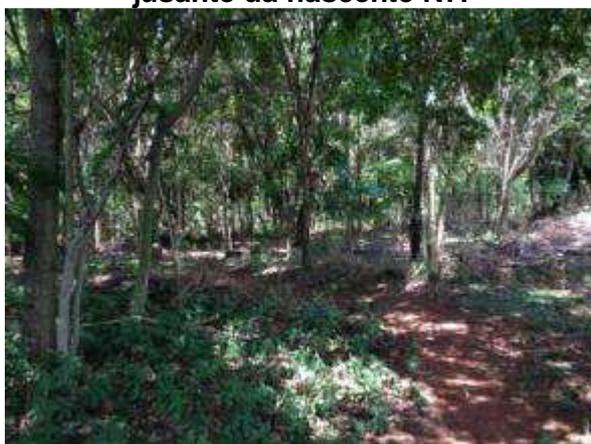
**Figura 90 - Vista da mata ciliar do córrego, a jusante da primeira travessia perpendicular à Rua Miguel Abdelnur Filho.**



**Figura 91 - Vista do bosque Cambuí, jusante da nascente N7.**



**Figura 92 - Vista do bosque Cambuí, jusante da nascente N7.**



Voltando ao leito principal, agora com as águas provenientes de todas as nascentes já incorporadas ao córrego Santa Maria do Leme, inicia-se o trecho mais urbanizado, com aproximadamente mil metros de comprimento margeado pela Avenida Elisa Gonzales Rabelo.

Na vistoria constatou-se que, embora na maioria do percurso exista uma faixa lindeira ao córrego com vegetação arbórea de grande porte, a faixa de APP, a partir do Residencial Ize Koizumi, possui dimensão significativamente inferior à legislação vigente, pois, em alguns pontos, a largura da faixa não ultrapassa seis metros.

Além disso, foram verificados alguns pontos com ineficiência na manutenção pública, pois, as vegetações que crescem nas margens do córrego e nas próprias travessias, juntamente com os assoreamentos existentes, acabam prejudicando a capacidade de escoamento das travessias, conforme apresenta a Figura 96.

Antes de chegar à região dos alagamentos, o córrego Santa Maria do Leme é cortado por duas travessias, sendo que a primeira delas foi executada em células de concreto e serve para a passagem exclusiva de pedestres. Esta travessia se localiza no alinhamento da Rua Brás Cubas, conforme demonstra a Figura 96.

A segunda, executada em concreto armado, localiza-se no alinhamento da Rua João Ramalho e proporciona a passagem de veículos e de pedestres, conforme apresenta a Figura 99.

**Figura 93 - Seção do córrego, águas das nascentes N1 a N7, córrego segue paralelo à Av. Eliza Gonzales Rabelo.**



**Figura 94 - Vista da Av. Eliza Gonzales Rabelo, início da APP ocupada pela urbanização.**



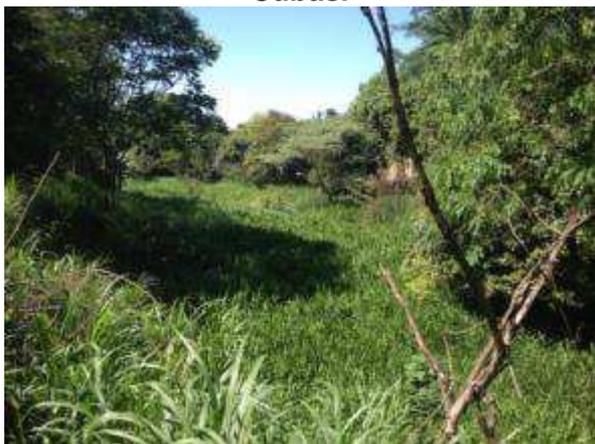
**Figura 95 - Seção do córrego a montante da passarela no alinhamento da Rua Brás Cubas.**



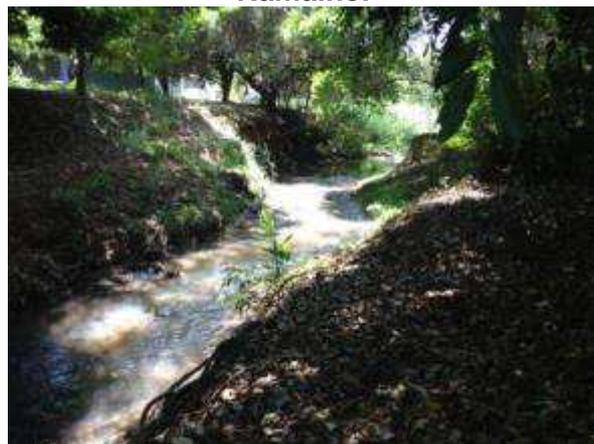
**Figura 96 - Passarela no alinhamento da Rua Brás Cubas, Jardim Hikare ( Seção 4 x 3,00 x 3,00m). Ausência de manutenção. Região urbanizada.**



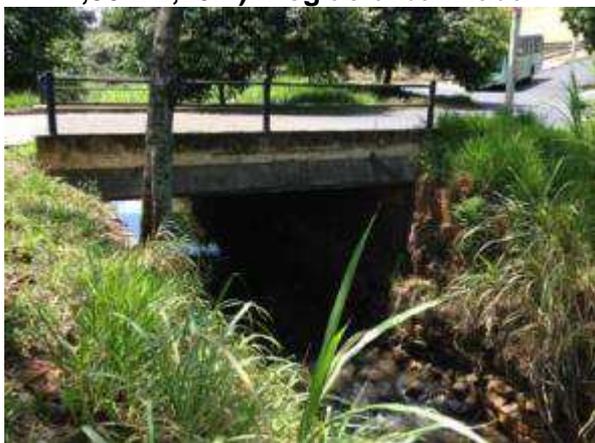
**Figura 97 - Seção do córrego a jusante da passarela no alinhamento da Rua Brás Cubas.**



**Figura 98 - Seção do córrego a montante da travessia no alinhamento da Rua João Ramalho.**



**Figura 99 – Travessia no alinhamento da Rua João Ramalho, Jd. Hikare (seção 4,50 x 2,20m). Região urbanizada.**



**Figura 100 – Seção do córrego a jusante da travessia no alinhamento da Rua João Ramalho.**



Chegando à região onde ocorrem os alagamentos, próximo ao Parque do Kartódromo, verifica-se que, assim como ocorreu no trecho à montante, a faixa de APP dessa região também é reduzida, conforme apresentada nas Figuras 101 e 103, estima-se a largura média de aproximadamente dez metros.

O trecho em questão também é cortado por duas travessias: a primeira, executada em células de concreto (Figura 102 e 104), fica localizada no alinhamento da Rua Oscar de Souza Geribelo; a segunda, também executada com células de concreto (Figura 107), localiza-se no alinhamento da Alameda dos Crisântemos.

Novamente, conforme demonstra a Figura 102, constata-se a ineficiência da manutenção pública na travessia localizada na Rua Oscar de Souza Geribelo que dispõe de grande acúmulo de vegetação que compromete sua capacidade de escoamento. A jusante da mesma travessia, conforme apresentado na Figura 104, é possível observar a formação de um banco de areia (sedimentos) coberto por vegetação rasteira. Os sedimentos inutilizaram as três células localizadas a direita da Figura 104.

Na Figura 105, também é possível verificar o acúmulo de sedimentos localizado ao lado do muro de contenção em gabião existente, provavelmente existente há bastante tempo pela existência de vegetação arbórea no mesmo.

Embora estreita, a faixa de APP que margeia o córrego Santa Maria do Leme (paralela ao Parque do Kartódromo) possui vegetação arbórea em estágio avançado, possivelmente recuperada por replantios, conforme ilustra a Figura 106.

**Figura 101 - Seção do córrego a montante da travessia no alinhamento da Rua Oscar de Souza Geribelo, Jd. Nova Sta. Paula.**



**Figura 102 - Travessia no alinhamento da Rua Oscar de Souza Geribelo. (Seção 3,00 x 2,00 x 2,00 + 2,50 x 2,00 m). Manutenção.**



**Figura 103 - Seção do córrego a jusante da travessia no alinhamento da Rua Oscar de Souza Geribelo, Jd. Nova Sta. Paula.**



**Figura 104 - Travessia no alinhamento da Rua Oscar de Souza Geribelo. Funcionamento de apenas uma aduela pela ausência de manutenção.**



**Figura 105 - Seção do córrego a jusante da travessia da Rua Oscar de Souza Geribelo. Acúmulo de sedimentos ao lado dos gabiões.**



**Figura 106 - Área de preservação permanente ao lado da Av. Eliza G. rabelo, Parque do Kartódromo, Jd. Nova Sta. Paula. Região Urbana.**



**Figura 107 - Seção do córrego a montante da travessia da Alameda dos Crisântemos. Acúmulo de sedimentos pela ausência de manutenção.**



**Figura 108 - Vista a montante da travessia da Alameda dos Crisântemos (seção 4,00 x 2,00 x 2,00m).**



Por fim, no ponto da foz do córrego Santa Maria do Leme, onde o mesmo deságua no córrego Monjolinho, assim como ocorreu a montante deste ponto, verificou-se a formação de um grande banco de areia por sedimentos, conforme Figuras 109 e 110, comprometendo a capacidade de escoamento da travessia. Também notou-se nesta região, a ausência de espécies arbóreas.

**Figura 109 - Vista a jusante da travessia da Alameda dos Crisântemos, ponto de desague no córrego Monjolinho. Acúmulo de sedimentos pela ausência de manutenção. Região urbanizada.**



**Figura 110 - Vista do córrego Monjolinho com a contribuição do córrego Santa Maria do Leme. Travessias na Alameda dos Crisântemos.**



## **5.2. Mapa cronológico da ocupação urbana**

Para realização desta etapa, primeiramente, realizou-se a comparação entre o mapa base georeferenciado fornecido pela prefeitura e os mapas de aprovação de cada empreendimento.

Na comparação, verificaram-se algumas incompatibilidades como: desvios em ruas, eliminação de lotes em áreas com muita declividade, entre outras. No entanto, as divergências verificadas não se tornaram relevantes quando comparadas com a área total do bairro, ou seja, não ocasionaram alterações significantes na área total urbanizada considerada.

Sobre a urbanização da bacia, verifica-se que a primeira fração de área impermeabilizada se deu pela implantação da Rodovia Washington Luís no ano de 1954.

No ano de 1957 surgiu o primeiro loteamento, denominado de Jardim Paulistano, iniciando o processo de urbanização da bacia. Até o final daquela década, ainda foram implantados outros quatro empreendimentos.

A década de 60 contou com a implantação de apenas um empreendimento, o Jardim Santa Paula.

A intensificação do processo de urbanização da bacia se deu nas décadas seguintes, quando na década de 70, implantaram-se quatro empreendimentos, na de 80, mais cinco empreendimento e na década de 90, outros quatro empreendimentos.

Impulsionado pela boa fase do setor imobiliário no país, a década de seguinte, representada pelos anos entre 2000 e 2010, foi à década de maior urbanização, quando nove empreendimentos se instalaram na bacia.

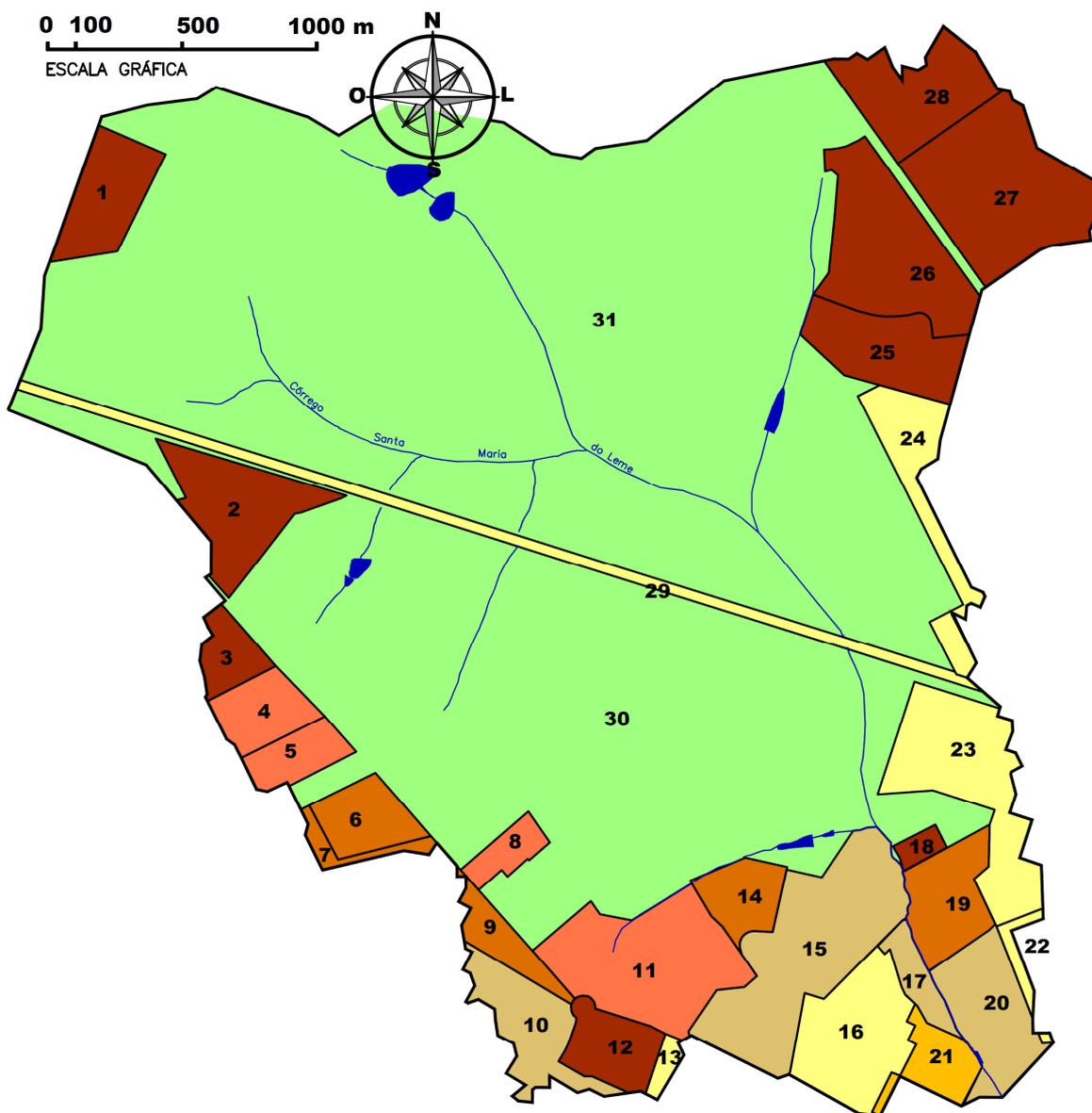
A Figura 111 foi elaborada a partir da organização cronológica dos dados obtidos na prefeitura municipal, sobre a implantação dos loteamentos e condomínios na bacia.

Cada empreendimento implantado na bacia recebeu sua respectiva cor de acordo com a data de implantação. As áreas relativas às APPs e áreas não urbanizadas, foram representadas no mapa pela cor verde claro, enquanto que os empreendimentos foram representados pelas cores na escala amarela, da seguinte forma:

- Década de 50 – amarelo claro
- Década de 60 – amarelo escuro
- Década de 70 – ocre
- Década de 80 – marrom claro
- Década de 90 – laranja escuro
- Década do ano 2000 a 2010 – marrom escuro

A Tabela 7, contendo as informações relativas às datas de implantação e as áreas de cada empreendimento, conforme numeração adotada.

Figura 111 - Mapa cronológico da ocupação urbana.



LEGENDA

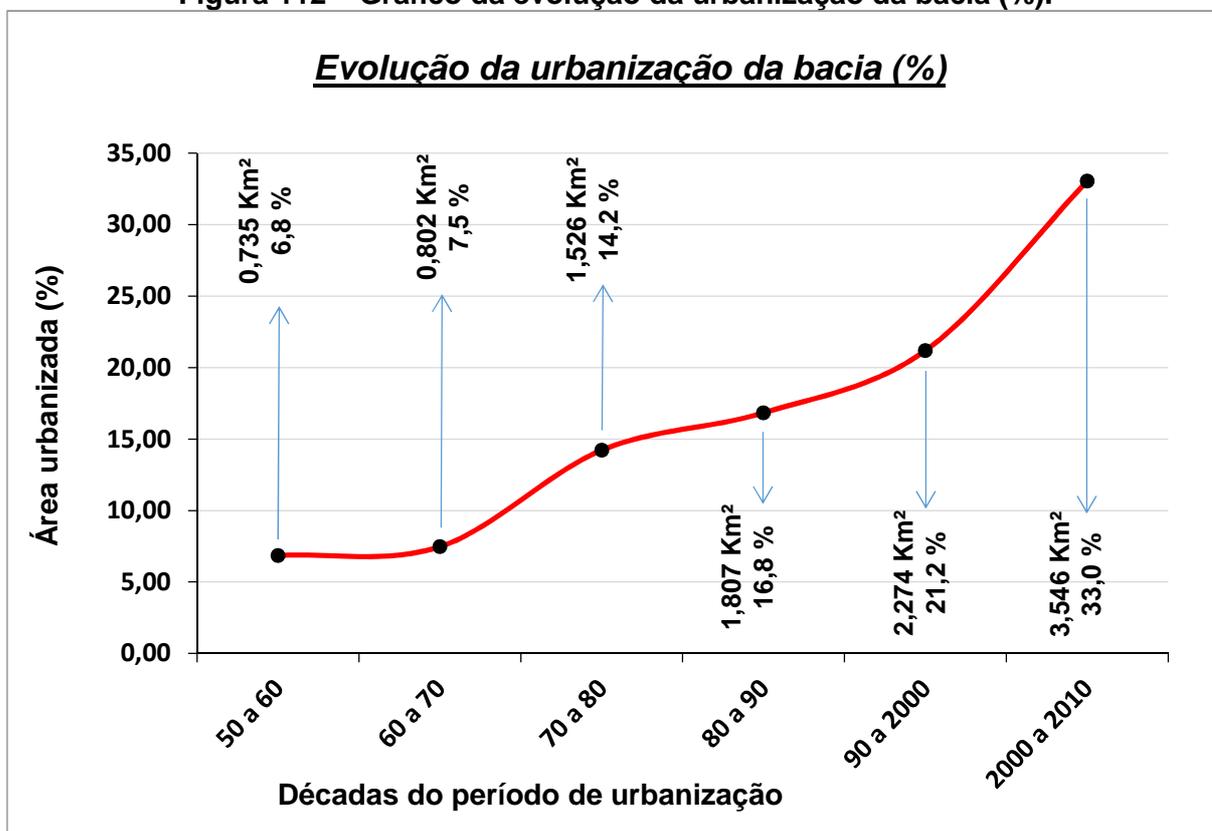
	1950 a 1960		1980 a 1990
	1960 a 1970		1990 a 2000
	1970 a 1980		2000 a 2010
	Desurbanizada		

**Tabela 7 - Numeração, ano de implantação e área dos empreendimentos.**

<b>N.º (mapa)</b>	<b>Nome do empreendimento</b>	<b>Ano de implantação</b>	<b>Área (Km²)</b>
1	Jardim Embaré	2001	0,116
2	Condomínio Eldorado	2006	0,162
3	Residencial Montreal	2003	0,055
4	Jardim Ipanema	1999	0,080
5	São Carlos IV	1993	0,063
6	São Carlos II	1989	0,082
7	São Carlos III	1986	0,015
8	Residencial Parati	1999	0,040
9	São Carlos I	1988	0,069
10	Parque Santa Felícia	1975	0,128
11	Jardim Acapulco	1995	0,267
12	Morada dos Deuses	2001	0,087
13	Jardim Bandeirantes	1958	0,017
14	Parque Santa Elisa	1980	0,073
15	Parque Santa Marta	1979	0,330
16	Jardim Centenário	1959	0,186
17	Prolong. do Jd. Sta. Paula	1976	0,045
18	Residencial Ize Koizumi	2000	0,017
19	Jardim Hikari	1982	0,115
20	Jd. Nova Sta. Paula	1976	0,148
21	Jd. Santa Paula	1961	0,067
22	Jardim Paulistano	1957	0,021
23	Parque Industrial	1958	0,240
24	Jardim Jockey Club	1958	0,127
25	Cond. Village São Carlos I	2006	0,146
26	Cond. Village São Carlos II	2006	0,250
27	Cond. Pq. Res. Damha I	2002	0,297
28	Cond. Pq. Res. Damha II	2002	0,159
29	Rod. Washington Luís	1954	0,144
30	Área livre a direita da Rodovia W.L. (sentido captal)	---	2,620
31	Área livre a esquerda da Rodovia W.L. (sentido captal)	---	4,565
<b>Área total</b>			<b>10,731</b>

Para demonstrar a evolução da urbanização da bacia, apresenta-se a Figura 112, que no eixo das abcissas apresenta as décadas do período de urbanização da bacia e no eixo das ordenadas, apresenta o percentual de área urbanizada.

Figura 112 – Gráfico da evolução da urbanização da bacia (%).



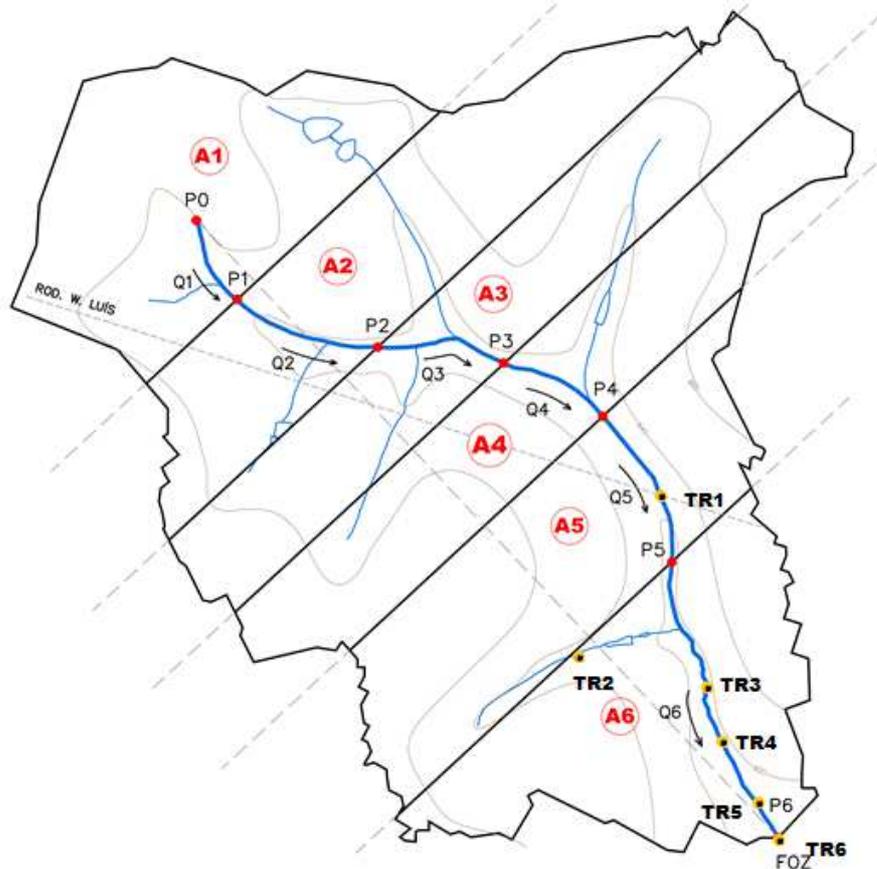
### **5.3. Evolução do coeficiente de escoamento superficial e da vazão de projeto através do Método Racional**

Esta etapa da pesquisa apresenta a análise sucinta da evolução dos parâmetros hidrológicos responsáveis pelo acréscimo de vazão nas bacias urbanizadas. Para tanto, utilizou-se do Método Racional e dos dados físicos da bacia obtidos no levantamento cadastral.

#### **5.3.1. Evolução do coeficiente de escoamento superficial**

Inicialmente, realizou-se a divisão da bacia em seis frações de áreas iguais, com 1,788 Km<sup>2</sup>. O resultado da divisão é apresentado na Figura 113.

**Figura 113 - Divisão das áreas da bacia.**



Observa-se na Figura 113 que a divisão foi realizada traçando eixos perpendiculares ao eixo principal do córrego (talvegue principal), representado pela linha tracejada.

Demarcou-se na Figura 113 os Pontos P1 a P6, bem como suas respectivas cotas altimétricas. Os pontos representam os locais onde as vazões de projeto foram determinadas.

A Tabela 8 apresenta o resumo das informações utilizadas nos cálculos das vazões de projeto.

**Tabela 8 - Características físicas das áreas A1 a A6.**

	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>	<b>A5</b>	<b>A6</b>
<b>Área (Km<sup>2</sup>)</b>	1,788	1,788	1,788	1,788	1,788	1,788
<b>Comprimento talvegue (m)</b>	449,00	737,00	647,00	556,00	810,00	1.499,00
<b>Cota montante (m)</b>	(P0) 856	(P1) 843	(P2) 836	(P3) 829	(P4) 825	(P5) 818
<b>Cota jusante (m)</b>	(P1) 843	(P2) 836	(P3) 829	(P4) 825	(P5) 818	(P6) 806
<b>Diferença de cotas (m)</b>	13,00	7,00	7,00	4,00	7,00	12,00
<b>Declividade (m/m)</b>	0,028	0,009	0,010	0,007	0,008	0,008

Ressalta-se que os parâmetros demonstrados na Tabela 8 serviram para a determinação das vazões de projeto nos pontos P1 a P6. Estes cálculos fazem parte da próxima análise desta pesquisa.

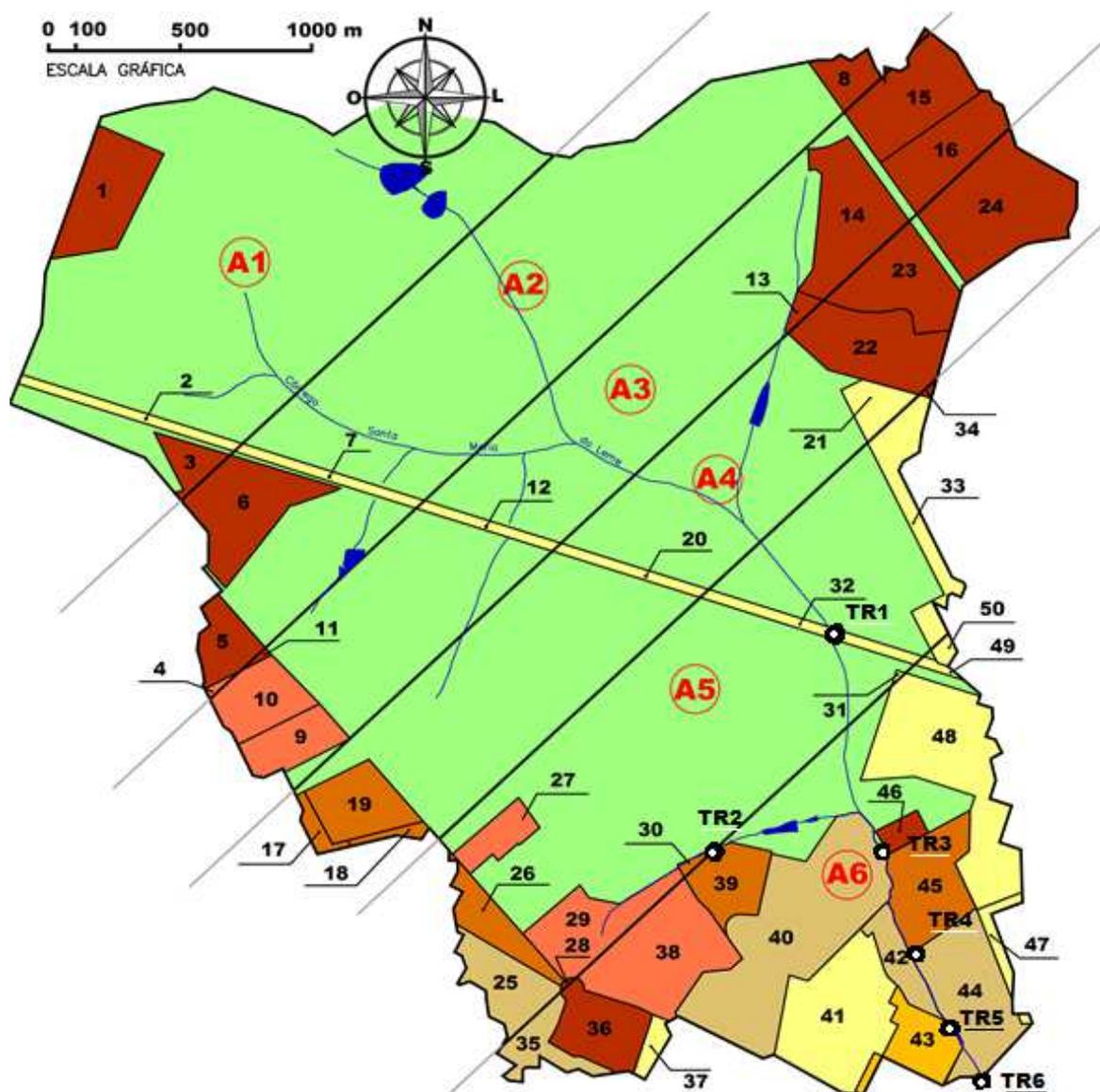
A presente análise refere-se à evolução dos coeficientes de escoamento superficial, para determiná-la utilizamos as informações de cada empreendimento implantado nas áreas A1 à A6, conforme divisão do Método Racional.

Considerando o Mapa da evolução cronológica da urbanização apresentado nos resultados do item anterior, determinaram-se os empreendimentos pertencentes a cada de fração de área.

Nesta análise, notou-se que alguns empreendimentos se dividiam entre duas áreas, motivando a realização do novo fracionamento da área do empreendimento.

A Figura 114 representa o novo mapa cronológico da ocupação urbana, considerando o fracionamento dos empreendimentos realizado para a adaptação da bacia ao Método Racional.

Figura 114 - Mapa cronológico – divisão do Método Racional.



LEGENDA	
	1950 a 1960
	1960 a 1970
	1970 a 1980
	1980 a 1990
	1990 a 2000
	2000 a 2010
	Desurbanizada

As Tabelas 9 a 14 apresentam respectivamente o resumo de cada uma das seis áreas (A1 a A6), conforme divisão realizada para os cálculos através do Método Racional.

**Tabela 9 - Dados dos empreendimentos compreendidos dentro da Área 1.**

<b>N.º (mapa)</b>	<b>Nome do empreendimento</b>	<b>Ano de implantação</b>	<b>Área (Km²)</b>
1	Jardim Embaré	2001	0,116
2	Rod. Washington Luís	1954	0,033
4	Condomínio Res. Eldorado	2006	0,031

**Tabela 10 - Dados dos empreendimentos compreendidos dentro da Área 2.**

<b>N.º (mapa)</b>	<b>Nome do empreendimento</b>	<b>Ano de implantação</b>	<b>Área (Km²)</b>
4	Jardim Ipanema	1999	0,003
5	Condomínio Res. Montreal	2003	0,053
6	Condomínio Res. Eldorado	2006	0,131
7	Rod. Washington Luís	1954	0,028
8	Cond. Pq. Res.Damha I	2002	0,036

**Tabela 11 - Dados dos empreendimentos compreendidos dentro da Área 3.**

<b>N.º (mapa)</b>	<b>Nome do empreendimento</b>	<b>Ano de implantação</b>	<b>Área (Km²)</b>
9	São Carlos IV	1993	0,063
10	Jardim Ipanema	1999	0,077
11	Condomínio Res. Montreal	2003	0,002
12	Rod. Washington Luís	1954	0,021
13	Cond. Village São Carlos I	2006	0,010
14	Cond. Village São Carlos II	2006	0,137
15	Cond. Pq. Res.Damha I	2002	0,123
16	Cond. Pq. Res.Damha II	2002	0,102

**Tabela 12 - Dados dos empreendimentos compreendidos dentro da Área 4.**

<b>N.º (mapa)</b>	<b>Nome do empreendimento</b>	<b>Ano de implantação</b>	<b>Área (Km²)</b>
17	São Carlos III	1986	0,015
18	São Carlos I	1988	0,010
19	São Carlos II	1989	0,082
20	Rod. Washington Luís	1954	0,023
21	Jardim Jockey Club	1958	0,036
22	Cond. Village São Carlos I	2006	0,134
23	Cond. Village São Carlos II	2006	0,113
24	Cond. Pq. Res.Damha II	2002	0,195

**Tabela 13 - Dados dos empreendimentos compreendidos dentro da Área 5.**

<b>N.º (mapa)</b>	<b>Nome do empreendimento</b>	<b>Ano de implantação</b>	<b>Área (Km²)</b>
25	Parque Santa Felícia	1975	0,078
26	São Carlos I	1988	0,069
27	Residencial Parati	1999	0,040
28	Morada dos Deuses	2001	0,001
29	Jardim Acapulco	1995	0,099
30	Parque Santa Elisa	1980	0,004
31	Parque Industrial	1958	0,001
32	Rod. Washington Luís	1954	0,034
33	Jardim Jockey Club	1958	0,084
34	Cond. Village São Carlos I	2006	0,002

**Tabela 14 - Dados dos empreendimentos compreendidos dentro da Área 6.**

<b>N.º (mapa)</b>	<b>Nome do empreendimento</b>	<b>Ano de implantação</b>	<b>Área (Km²)</b>
35	Parque Santa Felícia	1975	0,050
36	Jardim Bandeirantes	1958	0,017
37	Morada dos Deuses	2001	0,086
38	Jardim Acapulco	1995	0,168
39	Parque Santa Elisa	1980	0,069
40	Parque Santa Marta	1979	0,330
41	Jardim Centenário	1959	0,186
42	Prol. do Jardim Santa Paula	1976	0,045
43	Jardim Santa Paula	1961	0,067
44	Jardim Nova Santa Paula	1976	0,148
45	Jardim Hikari	1982	0,115
46	Residencial Ize Koizumi	2000	0,017
47	Jardim Paulistano	1957	0,021
48	Parque Industrial	1958	0,239
49	Rod. Washington Luís	1954	0,005
50	Jardim Jockey Club	1954	0,007

Através do manual do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo – DAEE (2005) adotou-se o valor de 0,20 para o coeficiente de escoamento superficial na condição inicial (sem ocupação urbana), pois entendeu-se

que este é o valor que melhor representou as áreas de pastagens, considerada como a vegetação existe antes da urbanização.

Para definição dos valores dos coeficientes de escoamento superficial dos loteamentos e condomínios, realizou-se a análise nos dados cadastrais obtidos junto à Prefeitura Municipal.

A Tabela 15 apresenta o resumo dos principais dados observados.

**Tabela 15 – Dados cadastrais dos empreendimentos**

<b>Nome do empreendimento</b>	<b>Processo PMSC.</b>	<b>Área loteam. na bacia (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Coef. de ocup. (%)</b>	<b>Coef. permeab. (%)</b>	<b>Coef. de aproveit.</b>
Jardim Embaré	14017/98	0,116	70,0	15,0	1,4
Condomínio Eldorado	9072/06	0,162	70,0	15,0	1,4
Residencial Montreal	6464/03	0,055	60,0		1,4
Jardim Ipanema	930/99	0,080	70,0	15,0	1,4
São Carlos IV	13218/90	0,063	70,0	15,0	1,4
São Carlos II	12802/87	0,082	70,0	15,0	1,4
São Carlos III	14476/86	0,015	70,0	15,0	1,4
Residencial Parati	10925/98	0,040	70,0	15,0	1,4
São Carlos I	12802/87	0,069	70,0	15,0	1,4
Parque Santa Felícia	4289/68	0,128	70,0	15,0	1,4
Jardim Acapulco	16758/94	0,267	70,0	15,0	1,4
Morada dos Deuses	13122/98	0,087	70,0	15,0	1,4
Jardim Bandeirantes	1886/58	0,017	70,0	15,0	1,4
Parque Santa Elísa	17420/80	0,073	60,0		1,0
Parque Santa Marta	14674/79	0,330	70,0	15,0	1,4
Jardim Centenário	5991/59	0,186	70,0	15,0	1,4
Prolongamento do Jardim Santa Paula	5095/76	0,045	70,0	15,0	1,4
Resid. Ize Koizumi	80835/99	0,017	70,0	15,0	1,4
Jardim Hikari	5310/82	0,115	70,0	15,0	1,4
Jardim Nova Santa Paula	14754/76	0,148	70,0	15,0	1,4
Jardim Santa Paula	9561/61	0,067	70,0	15,0	1,4
Jardim Paulistano	4443/57	0,021	70,0	15,0	1,4
Parque Industrial	1698/58	0,240	70,0	15,0	1,4
Jardim Jockey Club	3713/55	0,127	70,0	15,0	1,4

Cond. Resid. Village São Carlos I	80341/04	0,146	70,0	15,0	
Cond. Village São Carlos II	16273/06	0,250	60,0	15,0	
Cond. Parque Resid. Damha I	15289/00	0,159	55,0		
Cond. Parque Resid. Damha II	16292/02	0,297	55,0		
Rodovia W. Luís		0,144			
Área livre - direita da Rodovia (sent. capital)		2,620			
Área livre - esquerda da Rodovia (sent. capital)		4,565			
<b>TOTAL</b>		<b>10,73</b>			

De modo geral, pode-se notar a singularidade nos valores dos coeficientes urbanos de ocupação, permeabilidade e de aproveitamento, justificando a adoção de um valor único para o coeficiente de escoamento superficial nos cálculos a seguir.

Novamente admitindo o manual do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo – DAEE (2005) adotou-se o valor de 0,75 para o coeficiente de escoamento superficial na condição urbanizada.

Posteriormente, iniciaram-se os cálculos onde a evolução do coeficiente de cada área se deu a partir da ponderação entre os valores dos coeficientes da área não urbanizada com os valores dos coeficientes das áreas dos loteamentos.

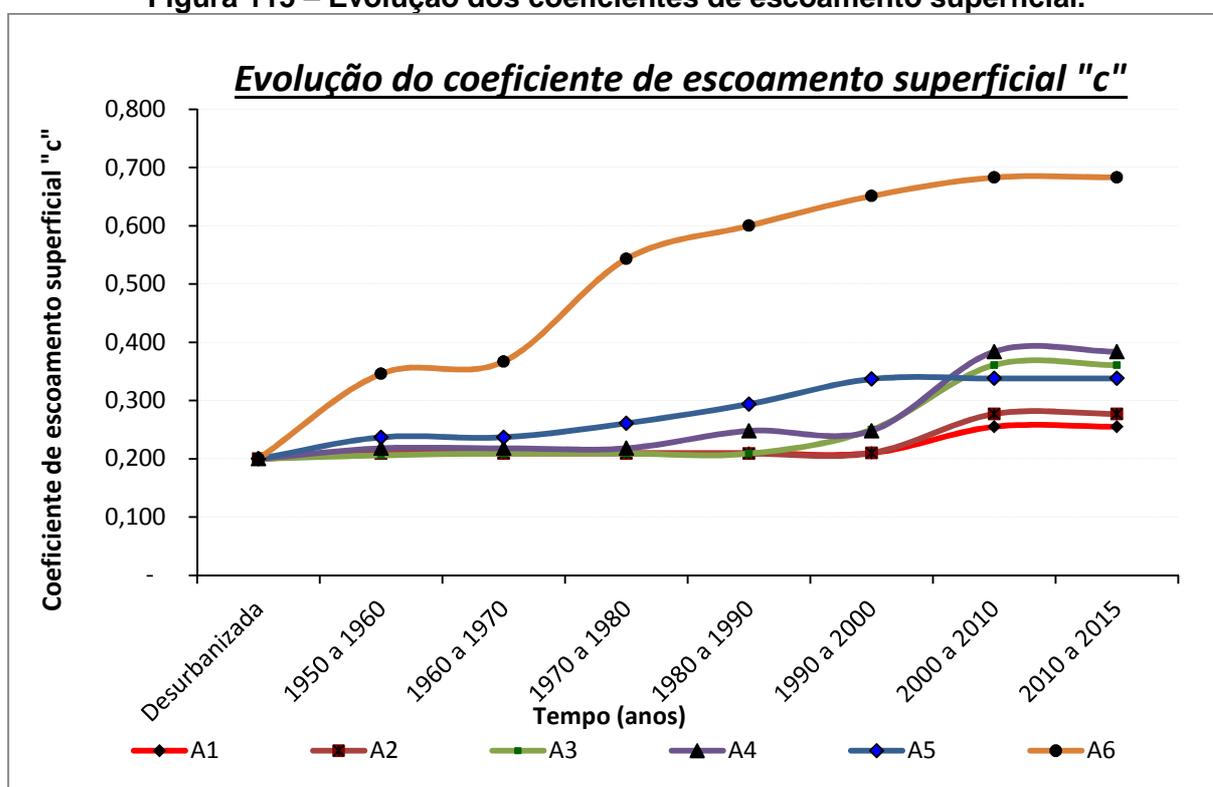
Considerando as seis áreas A1 a A6 com 1,79 Km<sup>2</sup>, bem como os cálculos correspondentes ao final de cada década do período de urbanização, apresenta-se a Tabela 16 e a Figura 115 que retratam os resultados dos cálculos da evolução do coeficiente de escoamento superficial da bacia, durante o período de urbanização.

**Tabela 16 – Coeficientes de escoamento superficial resultantes.**

Período	A1		A2		A3	
	Somatório área urbanizadas. (km <sup>2</sup> )	Coefficientes Ponderados "c"	Somatório área urbanizadas. (km <sup>2</sup> )	Coefficientes Ponderados "c"	Somatório área urbanizadas. (km <sup>2</sup> )	Coefficientes Ponderados "c"
Antes de 1950	0,000	0,200	0,000	0,200	0,000	0,200
1950 a 1960	0,033	0,210	0,028	0,209	0,021	0,206
1960 a 1970	0,033	0,210	0,028	0,209	0,028	0,209
1970 a 1980	0,033	0,210	0,028	0,209	0,028	0,209
1980 a 1990	0,033	0,210	0,028	0,209	0,028	0,209
1990 a 2000	0,033	0,210	0,031	0,210	0,161	0,250
2000 a 2010	0,180	0,255	0,251	0,277	0,525	0,361
2010 a 2015	0,180	0,255	0,251	0,277	0,525	0,361

Período	A4		A5		A6	
	Somatório área urbanizadas. (km <sup>2</sup> )	Coefficientes Ponderados "c"	Somatório área urbanizadas. (km <sup>2</sup> )	Coefficientes Ponderados "c"	Somatório área urbanizadas. (km <sup>2</sup> )	Coefficientes Ponderados "c"
Antes de 1950	0,000	0,200	0,000	0,200	0,000	0,200
1950 a 1960	0,059	0,218	0,119	0,237	0,475	0,346
1960 a 1970	0,059	0,218	0,119	0,237	0,542	0,367
1970 a 1980	0,059	0,218	0,197	0,261	1,115	0,543
1980 a 1990	0,156	0,248	0,306	0,294	1,299	0,600
1990 a 2000	0,156	0,248	0,445	0,337	1,467	0,651
2000 a 2010	0,598	0,384	0,448	0,338	1,570	0,683
2010 a 2015	0,598	0,384	0,448	0,338	1,570	0,683

Figura 115 – Evolução dos coeficientes de escoamento superficial.



Analisando o gráfico da Figura 115, verifica-se que todas as curvas iniciam-se no ponto representado pela condição não urbanizada e coeficiente igual a 0,20. A partir deste ponto, as curvas seguem no sentido crescente.

Os coeficientes de escoamento superficial das áreas A1 e A2, representados no gráfico pelas cores laranja e vermelha, sofreram acréscimo de 27,5% e 38,5% respectivamente, enquanto que os das áreas A3, A4 e A5, representados pelas cores verde, roxo e azul, sofreram um acréscimo de 80,5%, 92,0% e 69,0% respectivamente.

A área A6, representada pela curva amarela, foi a que apresentou maior evolução do coeficiente, partindo de 0,20 para 0,68, acréscimo de 241,5%.

### **5.3.2. Evolução da vazão de projeto estimada**

Seguindo os cálculos definidos pelo Método Racional, para a determinação das vazões de projeto estimada no eixo principal do córrego (pontos P1 a P6 da Figura 113) faz-se necessário primeiramente calcular o tempo de concentração e a intensidade pluviométrica de cada uma das áreas definidas na divisão.

Novamente, esclarece-se que para a determinação do tempo de concentração das áreas utilizou-se a Equação 3 (Página 25) que representa o método indireto de Califórnia Culverts Practice, apresentada no Manual de cálculos hidrológicos do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE, 1994), conforme apresentado na revisão bibliográfica deste trabalho.

$$t_c = 85,2 \cdot (L^3 / \Delta H)^{0,385}$$

Onde:

$t_c$  = Tempo de concentração (min);

$L$  = Comprimento do talvegue (Km);

$\Delta H$  = Desnível máximo da bacia (m).

Os dados relativos ao comprimento do talvegue e à diferença de nível entre os pontos de cada área encontram-se na Tabela 8.

Os valores obtidos nos cálculos do tempo de concentração da A1 a A6 foram respectivamente: 12,59 minutos; 28,31 minutos; 24,36 minutos; 25,36 minutos; 31,58 minutos e 52,24 minutos.

Posteriormente, com os respectivos valores dos tempos de concentração das áreas, foram calculadas as intensidades pluviométricas através da Equação 2, desenvolvida pelo professor Ademir Barbassa da Universidade Federal de São Carlos (BARBASSA, 1991), conforme apresentado na revisão bibliográfica deste trabalho.

$$I_{t,T} = (t + 16)^{-0,935} \cdot 25,33 T^{0,236}$$

Onde:

i = Intensidade pluviométrica (mm/min);

t = Duração da chuva (min);

T = Período de retorno (anos).

O período de retorno adotado nos cálculos foi de 100 anos, em conformidade com o Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo - DAEE (1994), que indica o valor para córregos que dispõem de travessias.

Os valores obtidos nos cálculos das intensidades pluviométricas das áreas A1 à A6 foram respectivamente: 195,43 mm/h; 129,61 mm/h; 141,46 mm/h; 138,24 mm/h; 121,27 mm/h; 86,52 mm/h.

Com a definição dos coeficientes de escoamento superficial de cada uma das seis áreas e com a determinação dos valores das intensidades pluviométricas, utilizando a equação direta do Método Racional, determinaram-se as vazões de projeto pela Equação 5, do Método Racional (DAEE, 2005), expressa por:

$$Q = 0,2778 \cdot c \cdot i \cdot AD$$

Onde:

Q = Vazão (m<sup>3</sup>/s);

c = Coeficiente de escoamento superficial – runoff (adimensional);

i = Intensidade da precipitação (mm/h);

AD = Área de drenagem (Km<sup>2</sup>).

Assim como se definiram os valores dos coeficientes de escoamento superficial relativos ao final de cada década do período de urbanização, os valores das vazões de projeto também seguiram o mesmo fundamento, conforme apresentado na Tabela 17.

**Tabela 17 –Vazões de projeto resultantes.**

Período	A1		A2		A3	
	Coeficiente ponderado "c"	Vazão de projeto (m³/s)	Coeficiente ponderado "c"	Vazão de projeto (m³/s)	Coeficiente ponderado "c"	Vazão de projeto (m³/s)
Antes de 1950	0,200	19,406	0,200	12,875	0,200	14,052
1950 a 1960	0,210	20,377	0,209	13,455	0,206	14,474
1960 a 1970	0,210	20,377	0,209	13,455	0,209	14,685
1970 a 1980	0,210	20,377	0,209	13,455	0,209	14,685
1980 a 1990	0,210	20,377	0,209	13,455	0,209	14,685
1990 a 2000	0,210	20,377	0,210	13,519	0,250	17,565
2000 a 2010	0,255	24,743	0,277	17,832	0,361	25,365
2010 a 2015	0,255	24,743	0,277	17,832	0,361	25,365

Período	A4		A5		A6	
	Coeficiente ponderado "c"	Vazão de projeto (m³/s)	Coeficiente ponderado "c"	Vazão de projeto (m³/s)	Coeficiente ponderado "c"	Vazão de projeto (m³/s)
Antes de 1950	0,200	13,733	0,200	12,047	0,200	8,595
1950 a 1960	0,218	14,969	0,237	14,275	0,346	14,870
1960 a 1970	0,218	14,969	0,237	14,275	0,367	15,772
1970 a 1980	0,218	14,969	0,261	15,721	0,543	23,336
1980 a 1990	0,248	17,029	0,294	17,709	0,600	25,785
1990 a 2000	0,248	17,029	0,337	20,299	0,651	27,977
2000 a 2010	0,384	26,367	0,338	20,359	0,683	29,352
2010 a 2015	0,384	26,367	0,338	20,359	0,683	29,352

**OBS:** Considerou-se a área de cada fração da bacia (A1 a A6) correspondente a 1,788 km²

Considerando a divisão realizada para o cálculo pelo Método Racional e considerando que as vazões de projeto das áreas localizadas à montante devem ser adicionadas as vazões de projeto das áreas localizadas a jusante, realizaram-se os cálculos conforme as equações das vazões de projeto nos pontos P1 a P6 (Equação 6 a Equação 11).

A representação gráfica das vazões de projeto Q1 a Q6 na bacia, bem como a localização dos pontos P1 a P6 estão dispostos na Figura 113.

- |                           |                   |
|---------------------------|-------------------|
| <b>Q em P1 = Q1</b>       | <b>Equação 6</b>  |
| <b>Q em P2 = QP1 + Q2</b> | <b>Equação 7</b>  |
| <b>Q em P3 = QP2 + Q3</b> | <b>Equação 8</b>  |
| <b>Q em P4 = QP3 + Q4</b> | <b>Equação 9</b>  |
| <b>Q em P5 = QP4 + Q5</b> | <b>Equação 10</b> |
| <b>Q em P6 = QP5 + Q6</b> | <b>Equação 11</b> |

Onde:

Q1 a Q6 = Vazões de projeto produzidas nas áreas – equação direta do Método Racional ( $m^3/s$ );

QP1 a QP6 = Vazões de projetos reais nos pontos, considerando as vazões de projeto das áreas localizadas a montante ( $m^3/s$ );

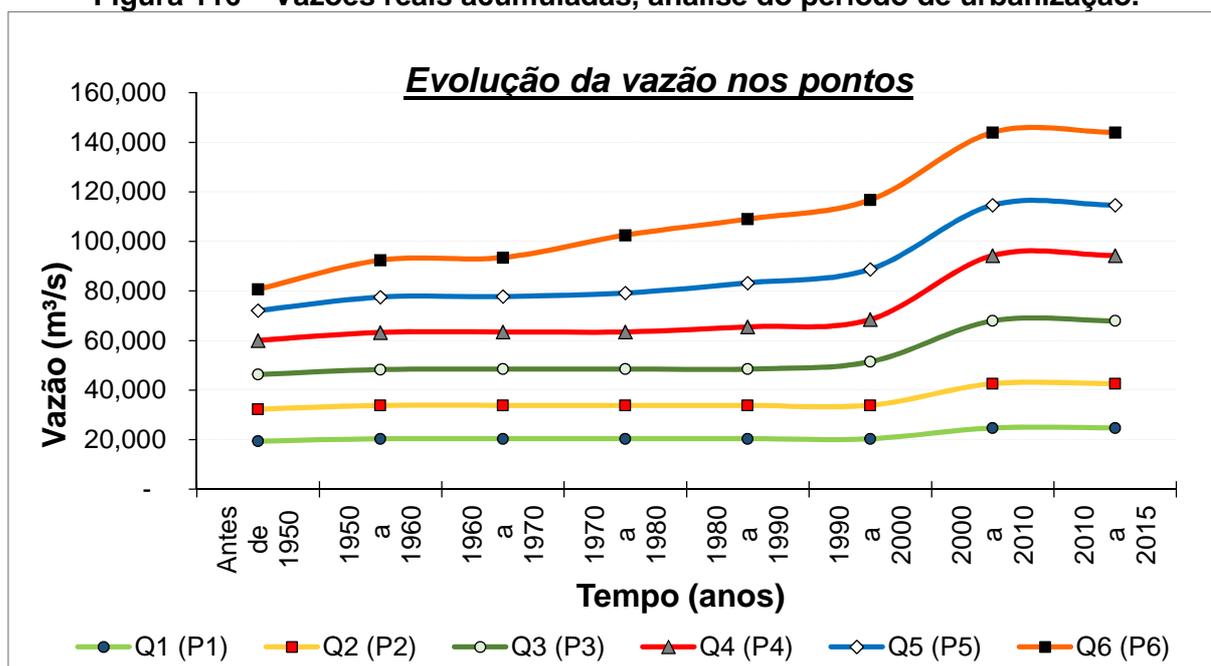
Os valores obtidos com a aplicação das equações apresentam-se na Tabela 18. A Tabela 18 retrata o resultado da evolução da vazão de projeto na bacia em cada década do período de urbanização.

**Tabela 18 – Vazões de projeto acumuladas - urbanização da bacia.**

Períodos	Vazões acumuladas ( $m^3/s$ )					
	Q em P1	Q em P2	Q em P3	Q em P4	Q em P5	Q em P6
Antes de 1950	19,406	32,281	46,333	60,066	72,113	80,708
1950 a 1960	20,377	33,832	48,306	63,275	77,550	92,420
1960 a 1970	20,377	33,832	48,517	63,486	77,761	93,533
1970 a 1980	20,377	33,832	48,517	63,486	79,207	102,543
1980 a 1990	20,377	33,832	48,517	65,546	83,255	109,040
1990 a 2000	20,377	33,896	51,461	68,490	88,789	116,766
2000 a 2010	24,743	42,575	67,940	94,307	114,666	144,018
2010 a 2015	24,743	42,575	67,940	94,307	114,666	144,018

Para visualização da evolução da vazão de projeto nos pontos P1 a P6, foi elaborado o gráfico apresentado na Figura 116.

**Figura 116 – Vazões reais acumuladas, análise do período de urbanização.**



Analisando os resultados, verifica-se que em todos os pontos analisados ocorreu o acréscimo de vazão gerado pela urbanização da bacia.

Vale lembrar que o cálculo da vazão de projeto pelo Método Racional considera a ocorrência da precipitação de modo uniforme, ou seja, em toda a bacia, caracterizando a situação extrema de criticidade.

A vazão do ponto P1, representada pela curva de cor verde clara, foi a que teve o menor acréscimo durante o período de urbanização, iniciando com 19,40 m<sup>3</sup>/s e finalizando com 24,74 m<sup>3</sup>/s, aumento de aproximadamente 27%.

Nota-se que vazão em P1 representa a área com a menor urbanização da bacia.

A vazão de projeto no ponto P2, representada pela curva amarela, também obteve acréscimo de aproximadamente 31%.

A vazão de projeto no ponto P3, representada pela curva verde escuro, sofreu acréscimo de aproximadamente 45%.

As vazões de projeto dos pontos P4 e P5, representadas pelas curvas de cores vermelha e azul, permaneceram com crescimentos baixos e constantes até a antepenúltima década da urbanização crescendo aproximadamente 13%, no entanto, a partir deste ponto, sofreram acréscimos de aproximadamente 47%.

Analisando a vazão de projeto no ponto P6, representada pela curva de cor alaranjada, verificou-se que este foi o ponto que obteve o maior acréscimo de vazão pela urbanização, passando de 80,78 m<sup>3</sup>/s para 144,02 m<sup>3</sup>/s, uma variação de aproximadamente 84 %.

A vazão do ponto P6 representa a vazão na foz da bacia, justamente na região dos alagamentos.

O elevado percentual de acréscimo de vazão no ponto P6 ocorreu em consequência da implantação dos loteamentos e condomínios.

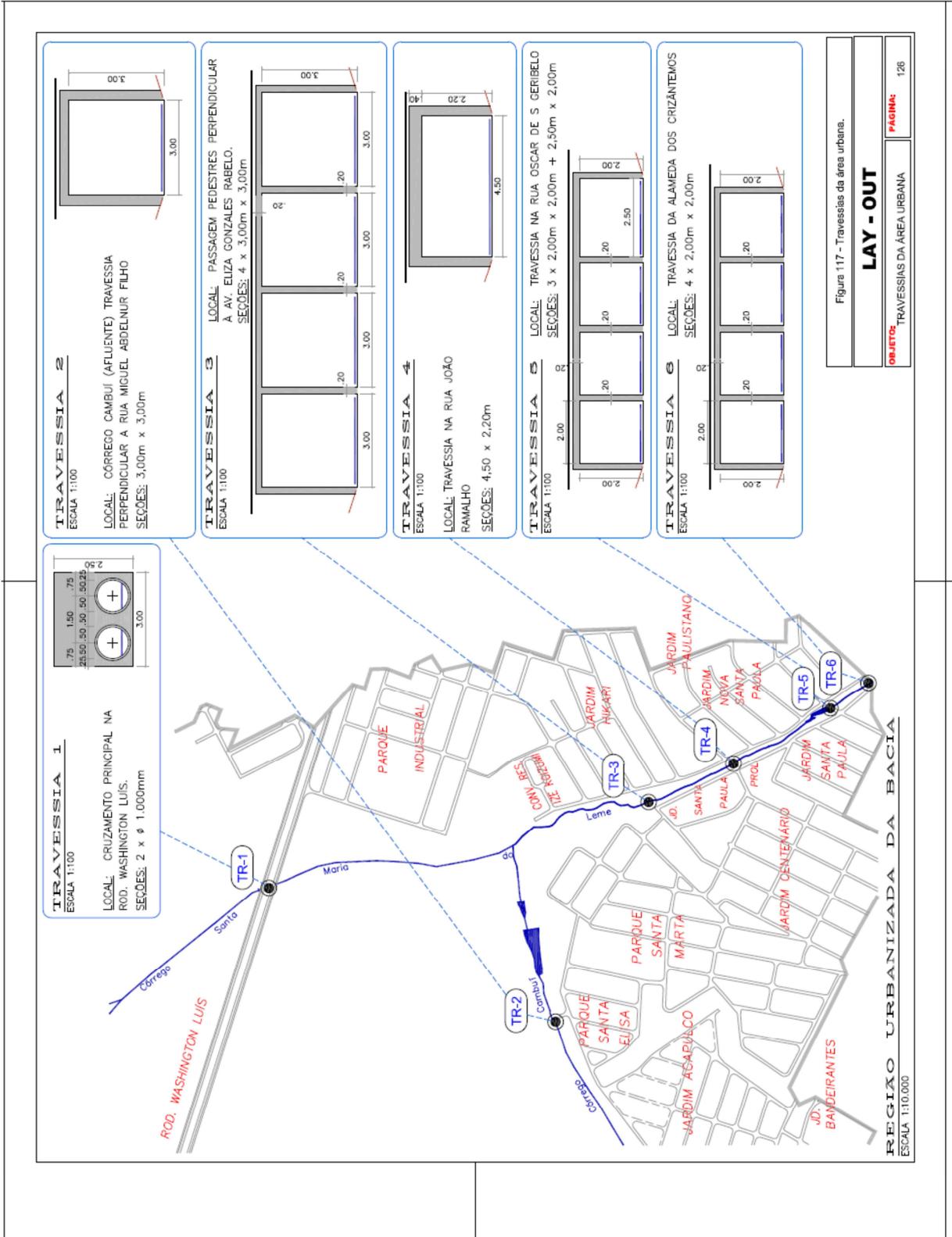
#### **5.4. Análise hidráulica das travessias implantadas da região urbanizada da bacia**

A análise que se apresenta a seguir contempla a avaliação de parâmetros hidráulicos de seis travessias implantadas na região urbana da bacia do córrego Santa Maria do Leme, localizadas nos seguintes pontos:

- TR-1 → Galerias de passagem sob a Rodovia Washington Luís;
- TR-2 → Travessia perpendicular a Rua Miguel Abdelnur Filho;
- TR-3 → Passarela localizada no alinhamento da Rua Brás Cubas;
- TR-4 → Travessia de veículos da Rua João Ramalho;
- TR-5 → Travessia de veículos da Rua Oscar de Souza Geribelo;
- TR-6 → Travessia de veículos da Alameda dos Crisântemos.

Para demonstrar a localização das travessias no mapa bem como as características e dimensões de cada uma delas, elaborou-se o Layout apresentado na Figura 117.

Figura 117 – Travessias da área urbana.



Através da equação de Manning, e da equação da Continuidade, pode-se verificar os seguintes parâmetros hidráulicos:

- Capacidade de escoamento das travessias;
- Velocidade de escoamento nas travessias;
- Velocidade de escoamento do córrego nos pontos localizados a aproximadamente 5,00 metros a montante das travessias;
- Formação de remansos hidráulicos a montante das travessias.

As equações utilizadas nos cálculos foram as seguintes:

a) Equação de Manning (DAEE, 1994).

$$Q = \frac{A \cdot R_h^{2/3} \cdot \sqrt{I}}{\eta_{\text{concreto}}} \quad \text{Equação 12}$$

Onde:

Q = Vazão (m<sup>3</sup>/s);

A = Área disponível na seção (m<sup>2</sup>)

Rh = Raio hidráulico = Área molhada dividida pelo Perímetro molhado (m)

I = Declividade longitudinal (m/m);

η = Coeficiente de rugosidade do concreto (0,018 – DAEE, 1994).

b) Equação da Continuidade (DAEE, 1994).

$$Q = V \cdot A \quad \text{Equação 13}$$

Onde:

Q = Vazão (m<sup>3</sup>/s);

A = Área (m<sup>2</sup>);

V = Velocidade (m/s).

Para a determinação da declividade real do córrego, utilizou-se o levantamento topográfico fornecido pela Prefeitura Municipal, representando a região onde

ocorrem os alagamentos. Na sequência, apresenta-se o Layout da topografia (Figura 118) contendo a planta topográfica, os perfis longitudinais e transversais do córrego, elaborados a partir do material obtido.

Não foi possível traçar os perfis longitudinais e transversais do córrego na região de montante das travessias TR-1 e TR-2, pois o levantamento topográfico da Prefeitura Municipal não abrangia aquelas regiões.

A análise da comparação entre a capacidade de escoamento das travessias e as vazões de projeto (calculadas no item anterior) independente do levantamento topográfico.

Embora as seis travessias estejam localizadas na região urbanizada, somente cinco delas (TR-1, TR-3, TR-4, TR-5 e TR-6) são implantadas no talvegue principal do córrego, pois, a travessia TR-2 localiza-se no córrego Cambuí, afluente do córrego Santa Maria do Leme.

A comparação entre a velocidade do escoamento nas travessias e a velocidade de escoamento no córrego (seção localizada cinco metros a montante de cada travessia) para a verificação da possível formação de remansos hidráulicos, somente realizaram-se nas travessias TR-3, TR-4, TR-5 e TR-6, pois estas estavam contidas no levantamento topográfico da Prefeitura Municipal.

Figura 118 – Topografia da região dos alagamentos.

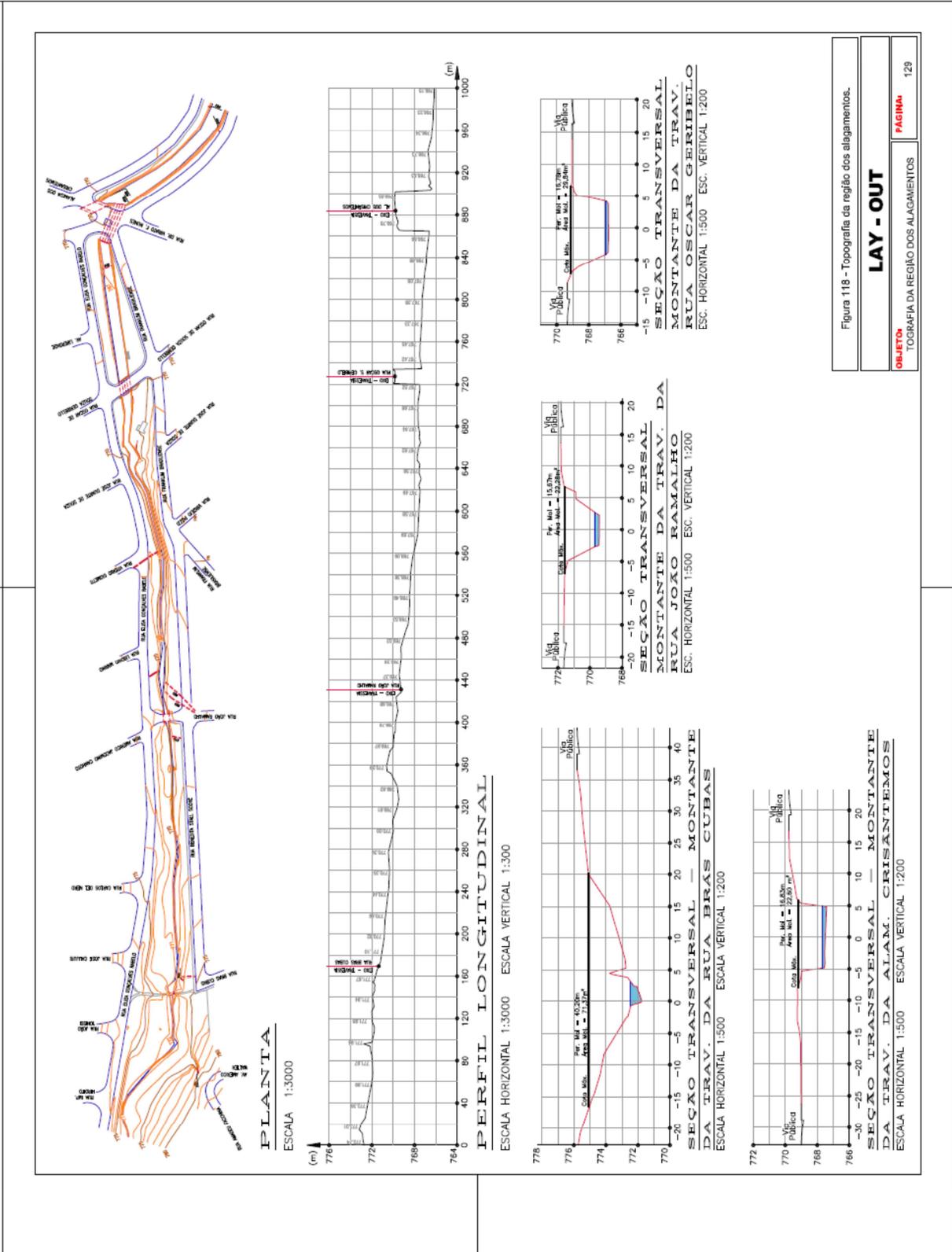


Figura 118 – Topografia da região dos alagamentos.

**LAY - OUT**

PLANILHA TOPOGRAFIA DA REGIÃO DOS ALAGAMENTOS

A Tabela 19 apresenta o resumo das características geométricas de cada travessia da área urbana, informações utilizadas nos cálculos seguintes.

**Tabela 19 – Dados característicos das travessias (seção plena).**

TRAVESSIAS	Área molhada (m <sup>2</sup> )	Perímetro molhado (m)	Raio hidráulico (m)	Declividade (m/m)	Coef. de rugosidade (η)
TR-1	1,57	6,28	0,250	0,01	0,018
TR-2	9,00	12,00	0,750	0,01	0,018
TR-3	36,00	48,00	0,750	0,01	0,018
TR-4	9,90	13,40	0,738	0,01	0,018
TR-5	17,00	33,00	0,515	0,01	0,018
TR-6	16,00	32,00	0,500	0,01	0,018
<b>OBS:</b>	Todas as travessias possuem fundo revestido em concreto e declividade estimada de 1 cm por metro.				

#### **5.4.1. Capacidade de escoamento das travessias na seção plena**

Para demonstrar os cálculos e os resultados obtidos pela aplicação da equação de Manning, apresenta-se a Tabela 20.

**Tabela 20 – Cálculo da capacidade de escoamento das travessias na seção plena.**

TRAVESSIAS	Equação: $Q = \frac{A \cdot Rh^{2/3} \cdot \sqrt{I}}{\eta}$ η concreto	Vazão (m <sup>3</sup> /s) Seção plena	Vazão (m <sup>3</sup> /s) y/d = 0,9 e percentual de variação
TR-1	$Q = \frac{1,57 \cdot 0,25^{2/3} \cdot \sqrt{0,01}}{0,018}$	3,461	3,683 (6,4%)
TR-2	$Q = \frac{9,00 \cdot 0,75^{2/3} \cdot \sqrt{0,01}}{0,018}$	41,274	43,770 (6,0%)
TR-3	$Q = \frac{36,00 \cdot 0,75^{2/3} \cdot \sqrt{0,01}}{0,018}$	165,090	175,160 (6,1%)
TR-4	$Q = \frac{9,90 \cdot 0,738^{2/3} \cdot \sqrt{0,01}}{0,018}$	44,915	51,130 (13,8%)
TR-5	$Q = \frac{17,00 \cdot 0,515^{2/3} \cdot \sqrt{0,01}}{0,018}$	60,680	65,080 (7,2%)
TR-6	$Q = \frac{16,00 \cdot 0,50^{2/3} \cdot \sqrt{0,01}}{0,018}$	55,996	59,410 (6,1%)

A Tabela 20 apresenta na quarta coluna o cálculo da capacidade estimada de escoamento das travessias com  $y/d$  de 0,9, além do percentual de variação em relação à vazão na seção plena. Conforme mencionado na metodologia do trabalho (página 85) optou-se pela adoção das capacidades na seção plena, pois esta condição é a condição mais desfavorável quando consideramos, além da capacidade de escoamento, a velocidade e o escoamento do sistema em função do atrito com as paredes das travessias.

Para estabelecer a relação entre as áreas da divisão proposta pelo Método Racional (A1 a A6) no cálculo das vazões de projeto com a capacidade de escoamento de cada travessia, realizou-se a análise gráfica observando o eixo do talvegue principal do córrego e determinando quais áreas, ou as frações delas, que contribuem em cada travessia.

As relações resultantes foram as seguintes:

- TR-1, recebe a vazão das áreas A1, A2, A3, e A4;
- TR-2, recebe 50,0% da vazão de A5 e 50,0% da vazão de A6;
- TR-3, recebe a vazão das áreas A1, A2, A3, A4, A5 e 25,0% da vazão de A6;
- TR-4, recebe a vazão das áreas A1, A2, A3, A4, A5 e 50,0% da vazão de A6;
- TR-5, recebe a vazão das áreas A1, A2, A3, A4, A5 e 75,0% da vazão de A6;
- TR-6, recebe a vazão das áreas A1, A2, A3, A4, A5 e A6;

Para melhor visualização das relações, sugere-se a visualização da Figura 113 e da Figura 117.

As vazões de projeto atuais originadas nas áreas A1 a A6 são respectivamente: 24,743 m<sup>3</sup>/s; 17,832 m<sup>3</sup>/s; 25,365 m<sup>3</sup>/s; 26,367 m<sup>3</sup>/s; 20,359 m<sup>3</sup>/s; 29,352 m<sup>3</sup>/s.

A aplicação das relações encontra-se na Tabela 21.

**Tabela 21 – Cálculo das vazões de projeto estimada nas travessias.**

TRAVESSIAS	Relação das áreas	Vazão resultante (m³/s)
TR-1	$Q = 24,743 + 17,832 + 25,365 + 26,367$	94,307
TR-2	$Q = (0,50 \times 20,359) + (0,50 \times 29,352)$	24,855
TR-3	$Q = 24,743 + 17,832 + 25,365 + 26,367 + 20,359 + (0,25 \times 29,352)$	122,004
TR-4	$Q = 24,743 + 17,832 + 25,365 + 26,367 + 20,359 + (0,50 \times 29,352)$	129,342
TR-5	$Q = 24,743 + 17,832 + 25,365 + 26,367 + 20,359 + (0,75 \times 29,352)$	136,680
TR-6	$Q = 21,080 + 15,199 + 21,617 + 22,472 + 17,354 + 29,352$	144,018

Para a comparação dos resultados obtidos nos cálculos das vazões de projeto nas travessias (Tabela 21), com a capacidade de escoamento das travessias (Tabela 20), apresenta-se a Tabela 22.

**Tabela 22 – Comparação da vazão de projeto estimada nas travessias com capacidade de escoamento das travessias na seção plena.**

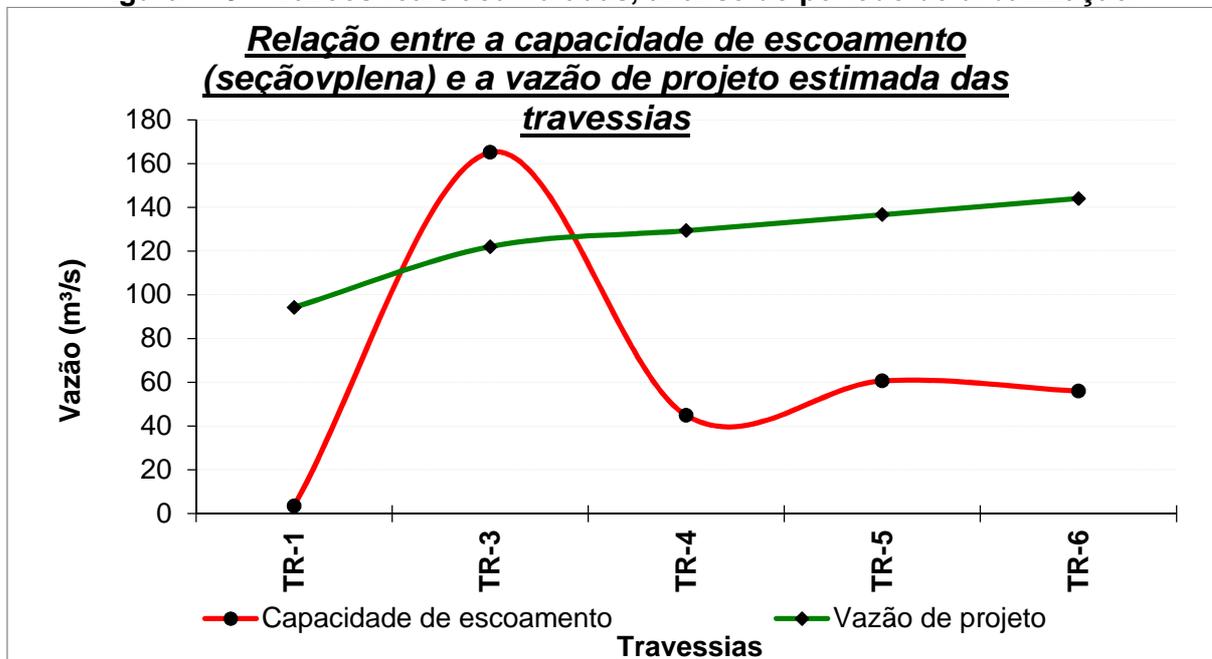
TRAVESSIAS	Vazão de projeto estimada na travessia (m³/s)	Capacidade de escoamento da travessia (m³/s)
TR-1	94,307	3,461
TR-2	24,855	41,274
TR-3	122,004	165,090
TR-4	129,342	44,915
TR-5	136,680	60,680
TR-6	144,018	55,996

Analisando a Tabela 22, observa-se que apenas as travessias TR-2 e TR-3, apresentaram capacidades de escoamento superiores às vazões de projeto;

Considerando os valores obtidos na análise, elaborou-se o gráfico da Figura 119 que relaciona a capacidade de escoamento das travessias com as vazões de projeto. No entanto, excluíram-se da comparação os resultados da travessia TR-2, pois a mesma não se encontra implantada no talvegue principal do córrego Santa

Maria do Leme. Desta forma, a curva das vazões de projeto (cor verde) permaneceu na lógica crescente, conforme o fluxo do córrego.

Figura 119 – Vazões reais acumuladas, análise do período de urbanização.



Observando o gráfico, verificamos que a curva da capacidade de escoamento das travessias, representada pela cor vermelha, possui um pico na travessia TR-3, cruzando a curva verde que representa as vazões de projeto. Este evento indica que a referida travessia está superdimensionada, ou seja, possui seção de escoamento superior à necessária para o evento extremo.

Os pontos das travessias TR-1, TR-4, TR-5 e TR-6 na curva de capacidade de escoamento (vermelha) estão localizados abaixo da curva que representa a vazão de projeto, indicando que as mesmas encontram-se subdimensionadas, ou seja, não possuem seções suficientes para permitir a passagem da vazão de projeto de um evento extremo.

O gráfico também mostra que existe descontinuidade na lógica crescente da capacidade de escoamento das travessias, de acordo com o eixo do córrego. Observa-se que a capacidade de escoamento da travessia TR-3 é superior à capacidade de escoamento das travessias implantadas a jusante deste ponto.

### 5.4.2. Velocidade do escoamento nas travessias

Para verificação da velocidade do escoamento nas travessias, utiliza-se a equação da continuidade (Equação 25). A Tabela 23 apresenta a aplicação da referida equação bem como os resultados obtidos.

Tabela 23 – Velocidade do escoamento nas travessias.

TRAVESSIAS	Vazão máxima da travessia na seção plena (m <sup>3</sup> /s)	Seção disponível (m <sup>2</sup> )	Equação da continuidade V=Q/A	Velocidade resultante (m/s)
TR-1	3,461	1,57	$V = 3,461 / 1,57$	2,204
TR-2	41,274	9,00	$V = 41,274 / 9,00$	4,586
TR-3	165,090	36,00	$V = 165,090 / 36,00$	4,58
TR-4	44,915	9,90	$V = 44,915 / 9,90$	4,537
TR-5	60,680	17,00	$V = 60,680 / 17,00$	3,569
TR-6	55,996	16,00	$V = 55,996 / 16,00$	3,499

Observa-se que, para a realização dos cálculos admitiu-se a vazão de acordo com os valores da capacidade de escoamento das travessias, pois estes são os limites inferiores.

### 5.4.3. Velocidade de escoamento no córrego à montante das travessias

Como já mencionado, a análise da velocidade de escoamento no córrego se deu somente nas travessias TR-3, TR-4, TR-5, e TR-6, pois o levantamento topográfico fornecido pela prefeitura não abrangia as áreas das travessias TR-1 e TR-2. No entanto, a verificação da velocidade na área do levantamento se torna relevante, pois trata da mesma região onde ocorrem os alagamentos.

Através do levantamento realizado nas vistorias, determinaram-se as seções das travessias apresentadas na Figura 117. Através das seções, definiram-se as cotas altimétricas, a área molhada e o perímetro molhado de cada travessia.

A declividade longitudinal de cada trecho também foi obtida com o auxílio do Layout do levantamento topográfico (Figura 118).

A Tabela 24 apresenta o resumo das seções do córrego nos pontos analisados.

**Tabela 24 – Características do córrego nas seções a montante das travessias.**

TRAVESSIAS	Área molhada (m <sup>2</sup> )	Perímetro molhado (m)	Raio hidráulico (m)	Decliv. do córrego (m/m)	Coefic. de rugosidade (η)
Seção a mont. da TR-3	71,37	40,20	1,775	0,0037	0,035
Seção a mont. da TR-4	22,28	15,67	1,422	0,0151	0,035
Seção a mont. da TR-5	29,84	16,78	1,782	0,0005	0,035
Seção a mont. da TR-6	22,60	16,83	1,343	0,0103	0,035
<b>OBS:</b>	As declividades apresentadas nesta tabela foram obtidas de acordo com o perfil longitudinal do córrego, observando o trecho de 150,00m a montante do ponto. O coeficiente de rugosidade adotado refere-se ao revestimento em terra (DAEE, 2005).				

Para determinação da velocidade do escoamento nas seções, utilizou-se a equação de Manning (Equação 12) modificada, onde os termos referentes à vazão e a área são substituídos pelo termo da velocidade.

A Tabela 25 apresenta a aplicação da equação e os resultados obtidos.

**Tabela 25 – Cálculo da velocidade de escoamento nas seções do córrego, a montante das travessias.**

TRAVESSIAS	Equação: $V = \frac{Rh^{2/3} \cdot \sqrt{I}}{\eta \text{ canal}}$	Velocidade (m/s)
TR-3	$V = \frac{1,775^{2/3} \cdot \sqrt{0,0037}}{0,035}$	2,547
TR-4	$V = \frac{1,422^{2/3} \cdot \sqrt{0,0151}}{0,035}$	4,439
TR-5	$V = \frac{1,782^{2/3} \cdot \sqrt{0,0005}}{0,035}$	0,939
TR-6	$V = \frac{1,343^{2/3} \cdot \sqrt{0,0103}}{0,035}$	3,529

#### **5.4.4. Verificação dos pontos críticos no escoamento do córrego - Possíveis formações de remansos hidráulicos**

A análise que se apresenta a seguir objetiva a realizar a comparação entre a velocidade do escoamento na travessia e a velocidade do escoamento no córrego, à montante das travessias. Através desta comparação, é possível determinar os pontos críticos no escoamento do córrego e a verificação preliminar de possíveis formações de remansos hidráulicos.

A formação dos remansos hidráulicos é um fenômeno ocasionado pela variação da velocidade do escoamento, que por sua vez, provoca a existência de uma espécie de barramento caracterizado pela superelevação do nível d'água.

A comprovação da existência dos remansos hidráulicos demanda o desenvolvimento de uma série de cálculos que envolvem a determinação do regime do escoamento, das energias, a análise dos níveis d'água, a determinação do número de Froude (influência da força gravitacional), entre outros cálculos, deixando o foco principal deste trabalho que é a determinação dos pontos críticos.

Considerando a inexistência das seções transversais localizadas a montante das travessias TR-1 e TR-2, as mesmas foram excluídas da análise.

A Tabela 26 apresenta os valores das velocidades do escoamento, conforme cálculos apresentados anteriormente.

**Tabela 26 – Comparação entre as velocidades de escoamento.**

<b>TRAVESSIAS</b>	<b>Velocidade de escoamento à montante da travessia (m/s).</b>	<b>Velocidade de escoamento na travessia (m/s).</b>
<b>TR-3</b>	2,547	4,58
<b>TR-4</b>	4,439	4,537
<b>TR-5</b>	0,939	3,569
<b>TR-6</b>	3,529	3,499

Analisando os valores apresentados na Tabela 26, verificamos os seguintes resultados:

- A velocidade do escoamento das travessias TR-3, TR-4 e TR-5 são superiores à velocidade do escoamento do córrego à montante das mesmas, portanto, não se caracterizam como pontos críticos.

- A velocidade do escoamento da travessia TR-6 é inferior à velocidade do escoamento do córrego à montante da mesma, caracterizando a existência de um ponto crítico no escoamento do córrego.

- A evidência do ponto crítico na travessia TR-6 pode caracterizar a formação do remanso hidráulico, no entanto, para a afirmação deste cenário, faz-se necessário o aprofundamento dos cálculos.

- A ocorrência do remanso hidráulico na última travessia do córrego (TR-6) pode provocar o alagamento da região do Kartódromo, pois a elevação do nível da água pode se estender às travessias anteriores, comprometendo o sistema de escoamento do córrego como um todo.

### ***5.5. Análise dos instrumentos legais e das ações públicas municipais na gestão da drenagem urbana do município***

Os resultados apresentados a seguir, retratam a interpretação de duas atividades de responsabilidade do município: a elaboração / aplicação dos instrumentos legais relacionados ao manejo das águas pluviais; e os serviços executivos (obras) realizados para manutenção e para o controle dos alagamentos no córrego Santa Maria do Leme.

#### ***5.5.1. Instrumentos Legais***

A promulgação da Lei Municipal nº 13.691 de 25 de novembro de 2005, denominada de Plano Diretor, representou um significativo avanço no que diz respeito à manutenção da vazão no sistema de macrodrenagem do município, pois, no Artigo 103, estabeleceu ao loteador, o dever de amortecer o acréscimo de vazão gerado pela urbanização da sua área através de um dispositivo no próprio empreendimento.

A partir do ano de 2005, todos os loteamentos e condomínios implantados no território municipal executaram obras que proporcionaram o atendimento a referida lei.

Na bacia do córrego Santa Maria do Leme, verificamos que os quatro condomínios residenciais do grupo Encalso (Damha) e o condomínio residencial Eldorado dispunham de reservatórios de amortecimento da cheias.

Entretanto, para regulamentação do Artigo 103 do Plano diretor, foi necessário elaborar o documento complementar denominado de Diretrizes Municipais para projetos de drenagem urbana, que tinha por objetivo principal o balizamento e padronização dos projetos aprovados.

As diretrizes para projetos de drenagem urbana foram elaboradas progressivamente pela Secretaria Municipal de Obras Públicas e implantadas em sua versão final no ano de 2010, onde permanece até os dias de hoje sem alterações.

Nas diretrizes, além da regulamentação das questões relativas ao dimensionamento dos sistemas de captação, direcionamento e amortecimento da vazão acrescida, também se apresenta ao loteador a listagem de documentos necessários para aprovação do projeto de drenagem, tais como: Plantas, memoriais, licenciamentos ambientais, etc.

A Lei n.º 15.958 de 29 de dezembro de 2011, denominada como Código de Obras, trata exclusivamente de assuntos relacionados aos lotes individuais, ou seja, não se aplica na aprovação dos loteamentos e condomínios.

Contudo, mesmo nestas condições, a lei do Código de Obras possui relação direta com o manejo das águas pluviais do município, pois a partir da promulgação da mesma, de acordo com o Artigo 88, instituiu-se ao proprietário do lote o dever de executar um dispositivo de amortecimento de cheias, denominado na lei como poços de infiltração de águas pluviais.

O somatório dos volumes dos poços de infiltração individuais proporciona um considerável volume de retenção na bacia, de modo que, do mesmo modo como acontece nos reservatórios dos loteamentos, estes provocam a retenção parcial e a infiltração da vazão gerada pela urbanização, aumentando o tempo decorrido até o despejo no córrego, amenizando o impacto no sistema de macrodrenagem.

Outro considerável avanço provocado pela lei do Código de Obras é que a mesma não se aplica somente às novas edificações, pois no momento que o proprietário de uma edificação existente busca a aprovação do projeto junto à prefeitura para a reforma de sua edificação, exige-se dele a implantação do poço de infiltração individual no lote.

O Plano Diretor de Drenagem Ambientalmente Sustentável de São Carlos, quando elaborado, teve por objetivo propor medidas de prevenção e controle dos problemas de drenagem das bacias urbanas, constatados nas etapas preliminares de estudos e diagnósticos.

As medidas propostas neste plano foram aprovadas com a implementação da Lei nº 444 de 19 de novembro de 2013, denominada de Plano Municipal de Saneamento Básico.

Para atingir o objetivo do plano, além das medidas não estruturais como: implantação de programas de educação ambiental, programas de cadastro e monitoramento, criação de parques lineares, entre outras, também foi proposta a realização de uma série de obras denominadas medidas estruturais, que visavam realizar o amortecimento dos picos de cheias.

Segundo informações coletadas em reuniões realizadas com os técnicos da Prefeitura Municipal de São Carlos, até o presente momento nenhuma medida estrutural proposta no plano foi implantada, pois, questões essenciais, como: obtenção de recursos, desapropriações de áreas particulares, elaboração de projetos executivos, entre outras, não foram consideradas na elaboração das propostas, inviabilizando as implantações.

### **5.5.2. Ações executivas**

Visando resolver o problema dos alagamentos na foz do córrego Santa Maria do Leme, realizou-se pela Prefeitura Municipal no ano de 2011, um grande reservatório de amortecimento de cheias com capacidade aproximada de 16mil metros cúbicos de retenção.

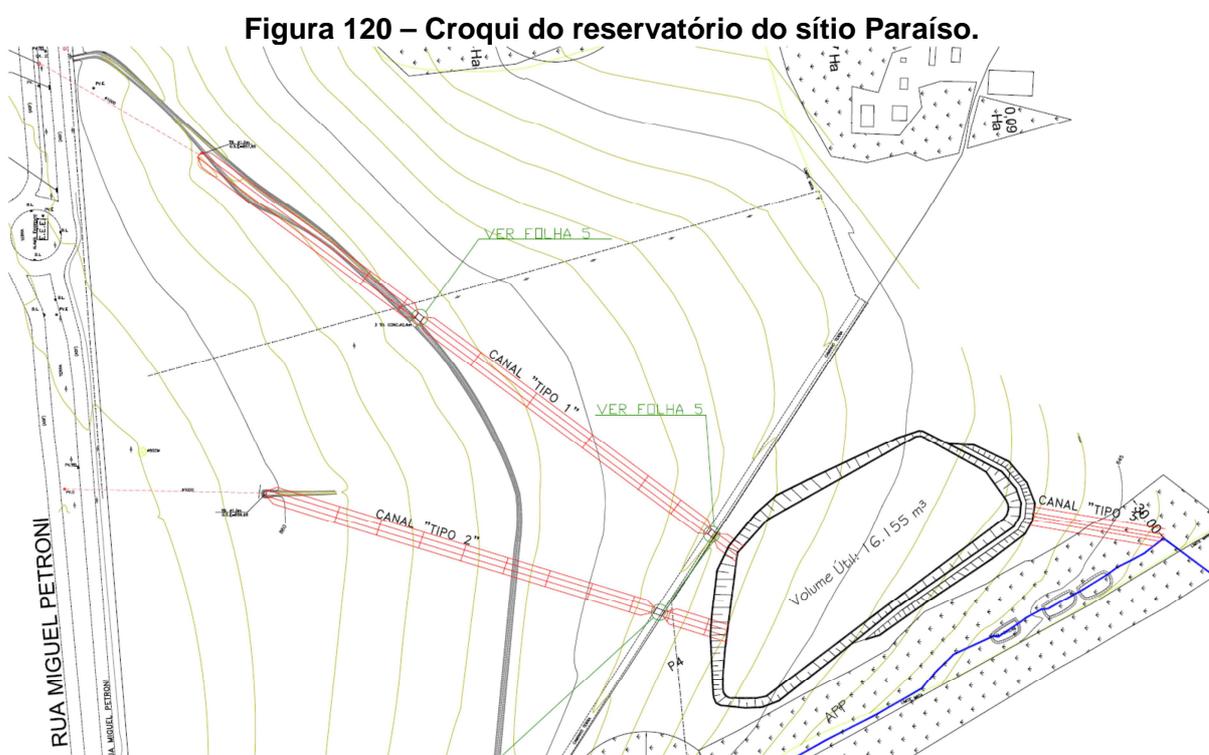
O reservatório foi executado em uma propriedade particular denominada como sítio Paraíso (as margens da Rua Miguel Petroni) e recebe as águas dos loteamentos da região do Parque Santa Felícia.

A execução deste dispositivo se deu a partir de uma demanda do Ministério Público Estadual que após receber constantes manifestações da sociedade civil sobre os alagamentos e processos erosivos, determinou que a municipalidade apresentasse uma proposta para resolução dos problemas.

As obras executadas resumiram-se a grandes trechos canalizados por galerias e à movimentação do volume de terra do reservatório.

A Figura 120, apresenta o desenho da implantação do reservatório na propriedade particular.

A esquerda do desenho nota-se as linhas verticais escuras representando a Rua Miguel Petroni. No centro, observa-se as linhas diagonais vermelhas que representam as canalizações (redes de drenagem) provenientes dos loteamentos localizados a montante da obra. Por fim, no canto inferior direito, observa-se a projeção do reservatório (linhas pretas), a canalização do dispositivo extravasor (linhas vermelhas) e o córrego ao fundo (linha azul).



As condições do reservatório foram retratadas no relatório fotográfico apresentado anteriormente (página 95).

Em consulta à Defesa Civil municipal, nota-se que, mesmo após a implantação do reservatório, os alagamentos na foz do córrego Santa Maria do Leme ainda ocorrem, no entanto, com frequência reduzida.

Em consulta à Secretaria Municipal de Obras Públicas, responsável pela execução das obras do reservatório no ano de 2011, verificou-se que o funcionamento adequado do mesmo somente se dará após a execução da rede

extravasora, pois, de acordo com informações, este item foi retirado da licitação em 2011 por culpa da escassez dos recursos.

Outra ação executiva direta considerada nesta avaliação foi o sistema público de manutenção que se realiza pela equipe de funcionários da Secretaria Municipal de Serviços Públicos.

Em consulta à referida secretaria, notou-se a inexistência do sistema de controle de frequência dos serviços, pois estes, somente se realizam a partir das solicitações dos munícipes ou da constatação nas vistorias técnicas realizadas pelas equipes próprias da secretaria.

Diante desta condição, a avaliação da eficiência da manutenção se deu exclusivamente a partir da visualização da condição notada durante as visitas em campo.

Considerou-se na avaliação a condição da limpeza do leito e da margem do córrego, bem como a condição da vegetação lindeira ao mesmo.

Conforme demonstrado nos resultados anteriores, no item relativo ao relatório fotográfico (páginas 89 a 107), verificamos que o sistema público de manutenção é ineficiente ou inexistente, pois além dos diversos pontos de acúmulo de sedimentos e de vegetação deteriorada no leito do córrego, nota-se a existência de grandes bancos de areia na região alagável, formados a partir do carreamento de solo ao longo do tempo, comprometendo a capacidade de escoamento do córrego e das travessias.

Em consulta a Secretaria Municipal de Serviços Públicos, informou-se que os serviços relativos à remoção dos bancos de areia são classificados como serviços de grande porte e que a equipe daquela secretaria não possui corpo técnico suficiente para absorver tal função, no entanto, serviços desta magnitude podem executados pela Secretaria Municipal de Obras Públicas, através da contratação de empresas especializadas e da disponibilidade de recursos.

Em consulta a Secretaria de Obras Públicas, informou-se que não existe recurso específico para realização deste serviço até aquele momento.

### 5.5.3. Quadro resumo das análises e propostas

No Quadro 2 apresenta-se o resumo dos resultados da avaliação, destacando as condições atuais e propostas dos instrumentos legais e das ações públicas consideradas na análise.

**Quadro 2 - Resumo da análise dos instrumentos legais e das ações diretas da municipalidade.**

INSTRUMENTO / AÇÃO	CONDIÇÃO ATUAL	PROPOSTAS
<b>Plano Diretor Municipal</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inexistência de regulamentação do artigo 103, prejudicando a análise técnica da municipalidade;</li> <li>• Trata a área livre da bacia do córrego Santa Maria do Leme como área com potencial expansão urbana em função da disponibilidade de infraestrutura.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fixar as normas de dimensionamento das medidas de controle sugeridas no artigo 103, ou delegar esta função a outro instrumento legal;</li> <li>• Estabelecer a necessidade de estudos de macrodrenagem completos a cargo do empreendedor para a ocupação da área livre da bacia;</li> <li>• Promover o planejamento da desocupação das áreas lindeiras ao córrego que ocupem a atual faixa de APP.</li> </ul>
<b>Diretrizes Municipais para projetos de drenagem urbana</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apresenta um único e desatualizado método de dimensionamento das medidas estruturais.</li> <li>• Trata o território municipal de forma uniforme, sem considerar a criticidade no sistema de drenagem de cada região.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Atualizar o sistema de dimensionamento proposto para as medidas estruturais;</li> <li>• Propor a adoção de outras medidas estruturais que possam ser implantadas nos empreendimentos, não somente os reservatórios de amortecimento;</li> <li>• Considerar a peculiaridade da drenagem de cada região e aumentar as exigências de empreendimentos cuja vazão contribui nas regiões críticas, como é o caso da bacia estudada.</li> <li>• Transformar o documento em Lei Municipal.</li> </ul>

<p><b>Código de Obras</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não apresenta exigibilidade de poços de infiltração nos empreendimentos comerciais / industriais de grande porte, como supermercados e fabricas.</li> <li>• Não considera a execução dos poços de infiltração nas unidades habitacionais isoladas (casas) dos condomínios de interesse social.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Criar um artigo específico para tratar da exigência dos poços de infiltração as grandes edificações comerciais e industriais;</li> <li>• Considerar as características de infiltração do solo bem como a profundidade do lençol freático no dimensionamento dos poços de infiltração.</li> <li>• Considerar a execução dos poços de infiltração nas unidades habitacionais isoladas (casas) dos condomínios de interesse social.</li> </ul>
<p><b>Plano Diretor de Drenagem Ambientalmente Sustentável de São Carlos</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apresenta discrepância nos levantamentos topográficos e nas dimensões das travessias existentes;</li> <li>• Apresentam somente projetos básicos das medidas estruturais propostas;</li> <li>• Não prioriza o uso das áreas públicas para implantação das medidas estruturais;</li> <li>• Não apresenta licenciamento ambiental das obras propostas;</li> <li>• Não apresenta planejamento e mecanismos para captação de recurso e realização das obras.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Atualizar levantamentos topográficos e cadastro das travessias conforme se apresentam in loco e propor o realinhamento das medidas;</li> <li>• Priorizar o uso das áreas públicas para implantação das medidas estruturais;</li> <li>• Elaborar projetos executivos das medidas estruturais propostas;</li> <li>• Utilizar tabelas públicas de custos unitários de modo a permitir a atualização dos valores;</li> <li>• Efetuar licenciamento ambiental das medidas propostas, independente do início das obras;</li> <li>• Apresentar o detalhamento das áreas particulares utilizadas para implantação das medidas;</li> <li>• Avaliar as áreas particulares utilizadas e propor um mecanismo de captação de</li> </ul>

<p align="center"><b>Plano Diretor de Drenagem Ambientalmente Sustentável de São Carlos</b></p>		<p>recursos para as desapropriações;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Criar fundo municipal subsidiado pelo empreendedor (na aprovação dos empreendimentos) para uso exclusivo nas obras propostas no plano;</li> <li>• Cadastrar as medidas estruturais propostas no plano em ações de financiamento de esferas Estaduais e Federais.</li> </ul>
<p align="center"><b>Reservatório de amortecimento de cheias do sítio Paraíso</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não apresenta funcionamento adequado, pois atualmente o volume amortecido nas grandes chuvas é inferior ao volume suportado pelo equipamento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Executar as obras complementares no sistema de extravasamento;</li> <li>• Prever a manutenção contínua do equipamento de modo a evitar o acúmulo de sedimentos.</li> </ul>
<p align="center"><b>Manutenção pública</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quadro técnico e equipamentos (máquinas e insumos) inferiores às necessidades do município;</li> <li>• Frequência dos serviços inferiores às necessidades do município;</li> <li>• Recursos financeiros e estruturais inferiores às necessidades do município;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar a equipe de funcionários bem como os equipamentos para execução dos serviços;</li> <li>• Implantar sistema de monitoramento e controle da frequência dos serviços;</li> <li>• Criar fundo municipal subsidiado pelo empreendedor (na aprovação dos empreendimentos) para uso exclusivo da manutenção pública dos loteamentos.</li> </ul>

## 6. CONCLUSÕES

### 6.1. *Manejo das águas pluviais*

O presente estudo permite indicar a necessidade de prudência na urbanização das áreas livres da bacia do córrego Santa Maria do Leme, pois, conforme apresentado nos resultados do trabalho, a bacia apresenta graves problemas relacionados ao manejo das águas pluviais, dentre eles se destacam:

- Travessias com capacidade de escoamento (seção plena) inferior às exigências atuais do órgão regulador (Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE).
- Existência de ponto crítico no escoamento do córrego, indicando a possível formação de remanso hidráulico, à montante da travessia da Alameda dos Crisântemos, onde o córrego Santa Maria do Leme desagua no córrego Monjolinho.
- Execução parcial das obras de combate às enchentes (reservatório de amortecimento de cheias) realizado em propriedade particular, as margens da Avenida Miguel Petroni.
- Ineficiência na manutenção e na limpeza pública do córrego.

Com relação à legislação municipal que subsidia a gestão da drenagem urbana no município de São Carlos, em especial, o Plano Diretor municipal, nota-se que as exigências contidas no mesmo não são suficientes para solucionar os problemas de alagamentos na região da foz do córrego Santa Maria do Leme, pois, dos vinte e oito empreendimentos considerados nas análises deste trabalho, apenas três deles foram obrigados a atender ao Artigo 103, portanto, a maior parte dos empreendimentos não dispõem de medidas de controle de vazão pós-urbanização.

Esta condição evidencia a necessidade de revisão da lei do Plano Diretor sobre a ótica da drenagem urbana ou a transferência deste papel a planos e leis complementares efetivas, com potencial de aplicação, diferentes do Plano Diretor de Drenagem Ambientalmente Sustentável, que até o momento da conclusão desta pesquisa, não havia sido considerado pelo município.

Além disso, entende-se que a indicação da área livre da bacia do córrego Santa Maria do Leme como área de potencial expansão no Plano Diretor municipal, deva ser reconsiderada, pois, antes da ocupação dessas áreas, faz-se necessário corrigir e implantar a infraestrutura e os sistemas de combate aos alagamentos, do contrário, na medida em que se ocupa a área livre da bacia pela urbanização, poderá aumentar a frequência dos alagamentos.

## **6.2. Sugestões para trabalhos futuros**

Para aprofundar os resultados do diagnóstico realizado neste trabalho, sugerem-se as seguintes considerações:

- Atualização e complementação dos dados característicos da bacia, considerando a utilização de sistemas de georeferenciamento;
- Alteração / adequação do método de determinação da vazão de projeto da bacia, considerando a utilização de softwares de georeferenciamento para diferenciação dos tipos de uso do solo e conseqüentemente dos coeficientes de escoamento superficial;
- Aprofundamento dos cálculos relativos ao ponto crítico detectado no escoamento do córrego Santa Maria do Leme (travessia da Alameda dos Crisântemos) para a confirmação da formação do remanso hidráulico;
- Avaliar a vazão de saída dos empreendimentos que contemplam as medidas de controle do Artigo 103 do Plano Diretor Municipal.
- Avaliar as variações da tipologia da ocupação do solo da área livre da bacia do córrego Santa Maria do Leme, verificando os impactos resultantes.
- Realização de levantamento histórico complementar das precipitações e dos alagamentos ocorridos na bacia do córrego Santa Maria do Leme para comparação com os dados obtidos nesta pesquisa.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, L. M. **Ocupação de fundos de vale em áreas urbanas. Estudo de caso: córrego do mineirinho, São Carlos, SP.** Dissertação de mestrado - Universidade Federal de São Carlos – Programa de Pós Graduação em Engenharia Urbana – São Carlos, 2004.

ÁRTICO, B. C. **O estudo de áreas vulneráveis a enchentes: Uma ferramenta na mitigação de impactos.O caso de São José do Rio Preto – SP.** Dissertação de mestrado - Universidade Federal de São Carlos – Programa de Pós Graduação em Engenharia Urbana – São Carlos, 2013.

BARBASSA, A. **Simulação do Efeito da Urbanização sobre a Drenagem Pluvial da Cidade de São Carlos.** Tese de doutorado – Escola de Engenharia de São Carlos – Departamento de Hidráulica e Saneamento – EESC/USP, São Carlos, 1991.

BASTOS, P. C. **Efeitos da urbanização sobre vazões de pico de enchente.** Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Espírito Santo – Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, Vitória, 2009.

BATISTA, M.; Nascimento, N.; Barraud, S. **Técnicas compensatórias em Drenagem Urbana.** Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH – 2.a Edição, Porto Alegre, 2005. p.318.

BRASIL, **Lei Federal n.º 6.766 de 19 de dezembro de 1979.** Dispõe sobre o Parcelamento do solo urbano e dá outras providências, Diário Oficial da União, Brasília, 1979.

BRASIL, **Constituição da República Federativa do Brasil de 05 de outubro de 1988.** Diário Oficial da União, Brasília, 1988.

BRASIL, **Lei Federal n.º 10.257 de 10 de julho de 2001 - Estatuto Da Cidade.** estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências, Diário Oficial da União, Brasília, 2001.

BRASIL. **Plano Diretor Participativo.** Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Programas Urbanos, Brasília, 2004. p. 92.

BRASIL. **Programa de Drenagem Sustentável: Apoio ao desenvolvimento do manejo das águas pluviais.** Ministério das cidades, Secretaria Nacional de Meio Ambiente, Brasília, 2005.

BRASIL. **Lei Federal n.º 11.445 de 05 de janeiro de 2007.** Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico, Diário Oficial da União, Brasília, 2007.

BRASIL. **Mapeamento de Riscos em Encostas de Margem de Rios.** Ministério das Cidades / Instituto Pesquisas Tecnológicas – IPT, Brasília, 2007. p.176.

BRASIL. **Decreto Federal n.º 7.217/10.** Regulamenta as diretrizes nacionais para o saneamento básico e da outras providências, Diário Oficial da União, Brasília, 2010.

CAICHE, D.; PELISSARI, M. **Plano Diretor do Município de São carlos - Amortecimento cheias.** IV Simpósio de Pós Graduação em Engenharia Urbana, I Encontro Nacional em Engenharia Urbana, Rio de Janeiro, 2013.

CARVALHO, S. N. **Estatuto da cidade: aspectos políticos e técnicos do plano diretor.** São Paulo em Perspectiva, São Paulo, 2001, p.135.

CDCC-USP. **Bacia hidrográfica Santa Maria do Leme.** Centro de Divulgação Científico e Cultural – Universidade de São Paulo. Disponível em: [http://www.cdcc.usp.br/bio/mapas\\_madalena.htm](http://www.cdcc.usp.br/bio/mapas_madalena.htm), Acesso em: 09 de fev. 2016.

CETESB. **Drenagem Urbana - Manual de projeto - Secretaria de Obras e do Meio Ambiente em colaboração com o Departamento de Água e Energia Elétrica,** São Paulo, 1979.

CHAFFUN, N. **Dinâmica global e desafio urbano**. In: **BONDUKI, N. (Org.) Habitat: As práticas bem-sucedidas em habitação, meio ambiente e gestão urbana nas cidades brasileiras**. Editora: Studio Nobel, São Paulo, 1996. p. 18–37.

DAEE. **Cálculo hidrológico das vazões máximas, médias e mínimas** - Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo, São Paulo, 1994, p. 80.

DAEE. **Guia prático para o projetos de pequenas obras hidráulicas** - Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo, São Paulo, 2005, p. 128.

DAEE. **Precipitações Intensas no Estado de São Paulo** - Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo – Centro Tecnológico de Hidráulica e Recursos Hídricos, São Paulo, 2014. p. 283.

DNIT. **Manual de drenagem de rodovias** – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – Ministério dos Transportes – Rio de Janeiro, 2006. P. 304.

EM–DAT. **Emergency Database. OFDA/CRED - The Office of US Foreign Disaster Assistance/Centre for Research on the Epidemiology of Disasters – Université Catholique de Louvain**, Brussels, 2009. Disponível em: <http://www.emdat.be/Database>, acesso em: fev. 2016.

IBGE. **Censo demográfico brasileiro** - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010, Disponível em : <http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse>. Acesso em: fev. 2016.

IBGE. **Dados do Município de São Carlos** – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2014, Disponível em : <http://www.cidades.ibge.gov.br>. Acesso em: fev. 2016.

FARIAS JÚNIOR, J. E. F. **Análise comparativa do tempo de concentração: Um estudo de caso na bacia do Rio Cônego, Município de Nova Friburgo.** XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Rio de Janeiro, 2011.

LANDERS, J. **Bypass Tunnel Will Shrink Floodplain** - American Society of Civil Engineers- Civil Engineering News. Austin, 2011. Disponível em: <http://www.austintexas.gov/department/waller-creek-tunnel>, Acesso em: fev. 2016.

LEOPOLD, L. **Hydrology for Urban Land Planning- A Guidebook on the Hydrologic Effects of Urban Land Use** - Geological Survey Circular 554, Washington, 1968, p. 26.

MONTIBELLER FILHO, G. **Ecodesenvolvimento e Desenvolvimento Sustentável Conceitos e Princípios.** Textos de Economia, v. 4, p. 131–141, Florianópolis, 1993.

MORUZZI, R. B.; Braga, R; Cunha, C. M. L. **Proposta de roteiro para coleta de dados visando diagnóstico da drenagem urbana em planos diretores municipais.** Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais , Guarapuava, 2009.

MOTA, S. **Urbanização e Meio Ambiente.** 3.<sup>a</sup> Edição, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária, Rio de Janeiro: 1999.

NASCIMENTO, D. T. et. al. **Estatuto da Cidade: um instrumento para a participação social na gestão urbana.** Katálysis, V. 6, Florianópolis, 2003.

OLIVEIRA VIANNA, F. J. **Evolução do povo brasileiro.** Editora José Olímpio, 1.<sup>a</sup> Edição, Rio de Janeiro, 1966.

PAVEZZI NETTO. M.; Silva, R. S. **Método Exedito para Análise da Qualidade Ambiental em Zonas Ripárias Urbanas.** 5<sup>o</sup> Seminário Internacional de Planejamento e Gestão Ambiental – URBENVIRON, Brasília, 2012.

PINHO, P. M. **Aspectos ambientais de vias marginais em áreas urbanas de fundo de vale.** Universidade Federal de São Carlos – Programa de Pós Graduação em Engenharia Urbana, 1999.

POLIS. **Diagnóstico para elaboração de Plano Diretor Municipal de São Carlos -** Instituto Polis – Prefeitura Municipal de São Carlos, São Paulo, 2002.

RAYNAULT. C.; Zanoni, M.; Lana, P. C. **La Construction del Interdisciplinarite en Formation Integree del Environnement du Development. Conference sur Les Chaires Unesco Du Developpement Durable** – Organização das Nações Unidas, Curitiba, 1993.

REIS, R. P. A.; Ilha M. S. O. **Comparação de desempenho hidrológico de sistemas de infiltração de água de chuva: poço de infiltração e jardim de chuva.** Ambiente Construído, Porto Alegre, 2014.

ROGERS, R. **Cidades para um pequeno planeta.** Editora Fabers and Fabers, Londres, 1997.

SACHS, I. **Espaços, tempos e estratégias do desenvolvimento.** Editora Vértice, São Paulo, 1986.

SANTOS, M. **A urbanização brasileira.** 2. ed. Editora HUCITEC, São Paulo, 1994.

SÃO CARLOS. **Lei Municipal nº 13.691 de 25 de novembro de 2005 - Plano Diretor Municipal** - Prefeitura Municipal de São Carlos, São Carlos, 2005.

SÃO CARLOS. **Diretrizes municipais para projetos de drenagem urbana no município de São Carlos** - Secretaria Municipal de Obras Públicas - Prefeitura Municipal de São Carlos, São Carlos, 2010.

SÃO CARLOS. **Lei Municipal nº 15.958 de 29 de dezembro de 2011 - Código de Obras** - Prefeitura Municipal de São Carlos, São Carlos, 2011.

SÃO CARLOS. **Lei Municipal nº 444 de 19 de novembro de 2013 - Plano Diretor de Drenagem Ambientalmente Sustentável de São Carlos - Plano de Saneamento** - Prefeitura Municipal de São Carlos, São Carlos, 2013.

SEESP. **Secretaria de Estado da Educação de São Paulo - Coordenadoria de Estudos e Normas Pedagógicas - Água Hoje e Sempre: Consumo Sustentável**, São Paulo, 2004. 256 p.

SORRIBES, J. **Valencia, 1957 – 2007 De la riada a la Copa del América**. Editora: Publicaciones de la Universidad de Valência - PUV, 1.ª Edição – Valência, 2010. p.155.

TUCCI, C. E. M. **Inundações Urbanas - Drenagem Urbana**. Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul –UFRGS, Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH, 1.º Edição. Porto Alegre, 1995. p.15.

TUCCI, C. E. M. **Água No Meio Urbano - Água doce**, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, 1997, p. 40.

TUCCI, C. E. M. **Plano Diretor de Drenagem Urbana: Princípios e Conceitos**. Instituto de Pesquisas Hidráulicas - Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, 1997.

TUCCI, C. E. M.; Hespanhol, I.; Cordeiro Neto, O. M. **A Gestão da água no Brasil: Uma primeira avaliação da situação atual e das perspectivas para 2025**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, 2000.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul –UFRGS, Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH, 3.º Edição. Porto Alegre, 2002.

TUCCI, C. E. M. **Parâmetros do Hidrograma Unitário para Bacias Urbanas Brasileiras**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul –UFRGS, Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH, Porto Alegre, 2003.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de inundações urbanas**. Ministério das Cidades – Banco Mundial da UNESCO, Brasília, 2005, p. 269.

TUCCI, C. E. M. et. al. **Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica**. Secretaria de Qualidade Ambiental do Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2006, p. 302.

VAZ FILHO, P. **Sistemas de microdrenagem urbana: análise de aspectos de funcionamento para elaboração de plano gerencial**. Dissertação de mestrado - Universidade Federal de São Carlos – Programa de Pós Graduação em Engenharia Urbana, 2000.

VILLELA, S. M.; Matos, A. **Hidrologia aplicada**. McGraw-Hill, Sao Paulo, 1975.

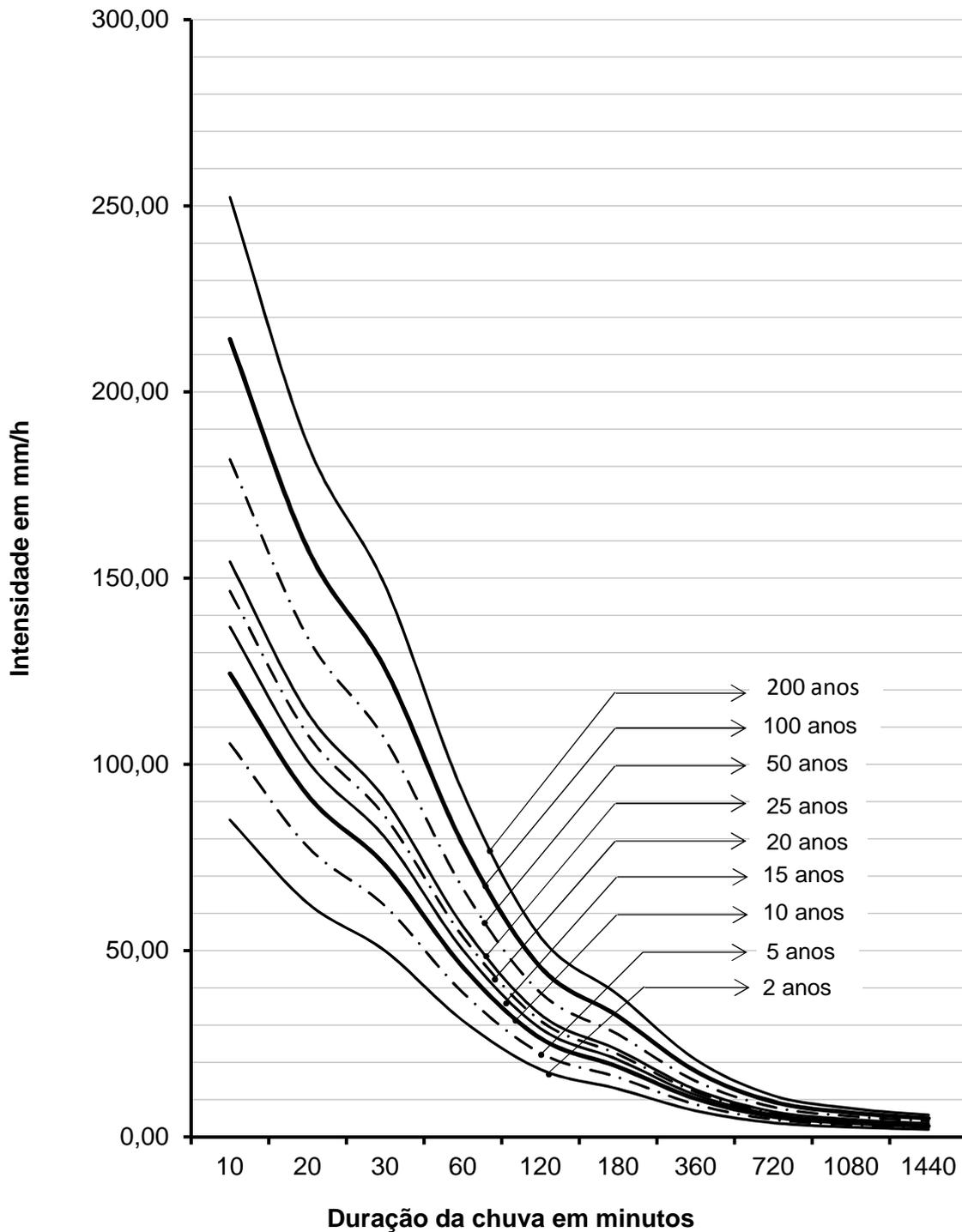
ZAFFANI, A. G. **Poluição difusa da drenagem urbana com base ecohidráulica: Diagnóstico atual e cenários de longo prazo em bacias urbanas de São Carlos - SP**. Dissertação de Mestrado - Departamento de Hidráulica e Saneamento - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

ZAHED FILHO, K.; Viani, G. S.; Cesar, R. T.; Rodrigues, R. M. **Experiências internacionais de Gestão da água para drenagem: Japão**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP - Departamento de Engenharia de Hidráulica e Ambiental, São Paulo, 2011.

## **8. ANEXOS**

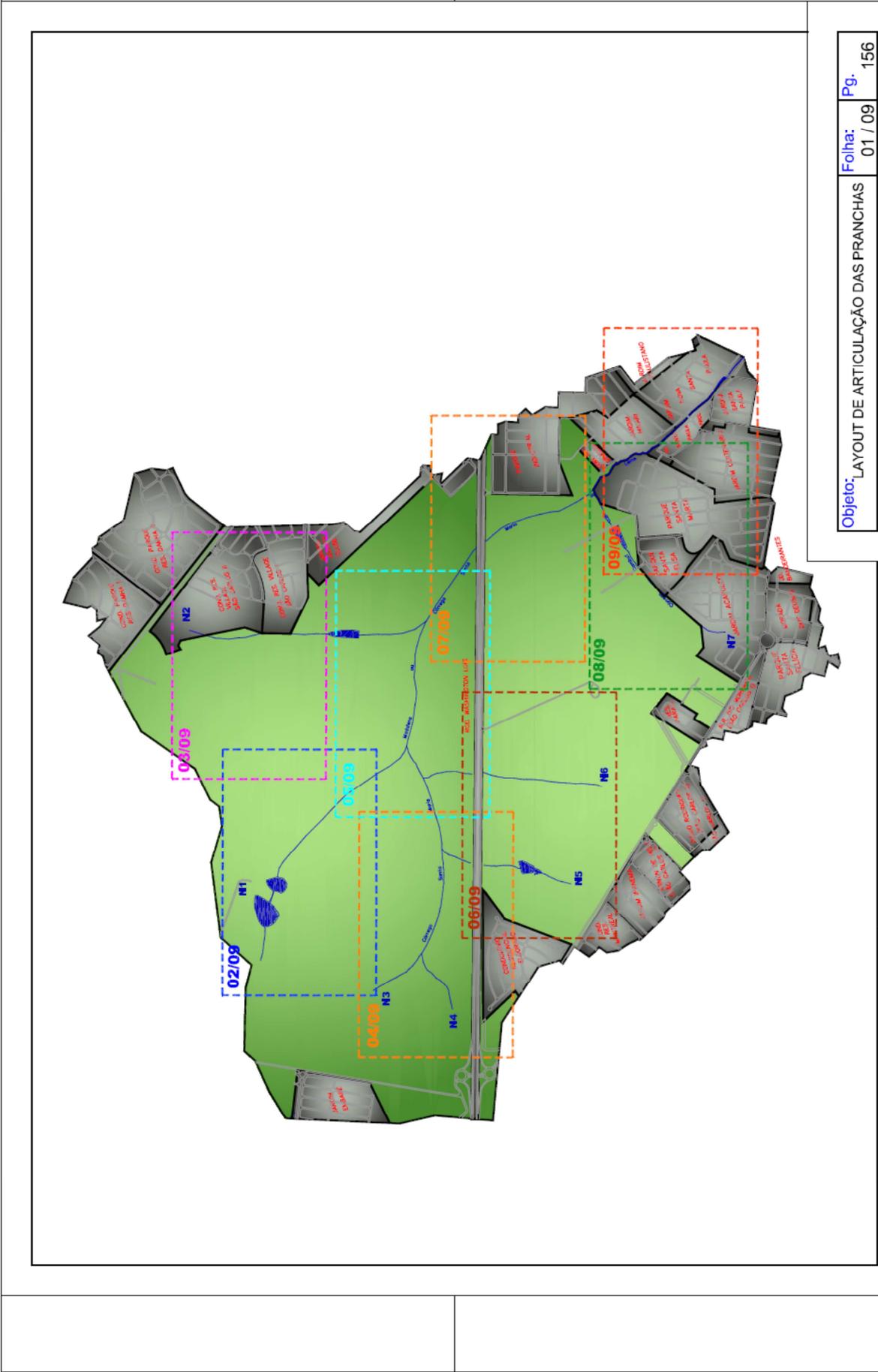
## **ANEXO A**

**Curvas IDF em função do Período T (anos) - São Carlos-SP**

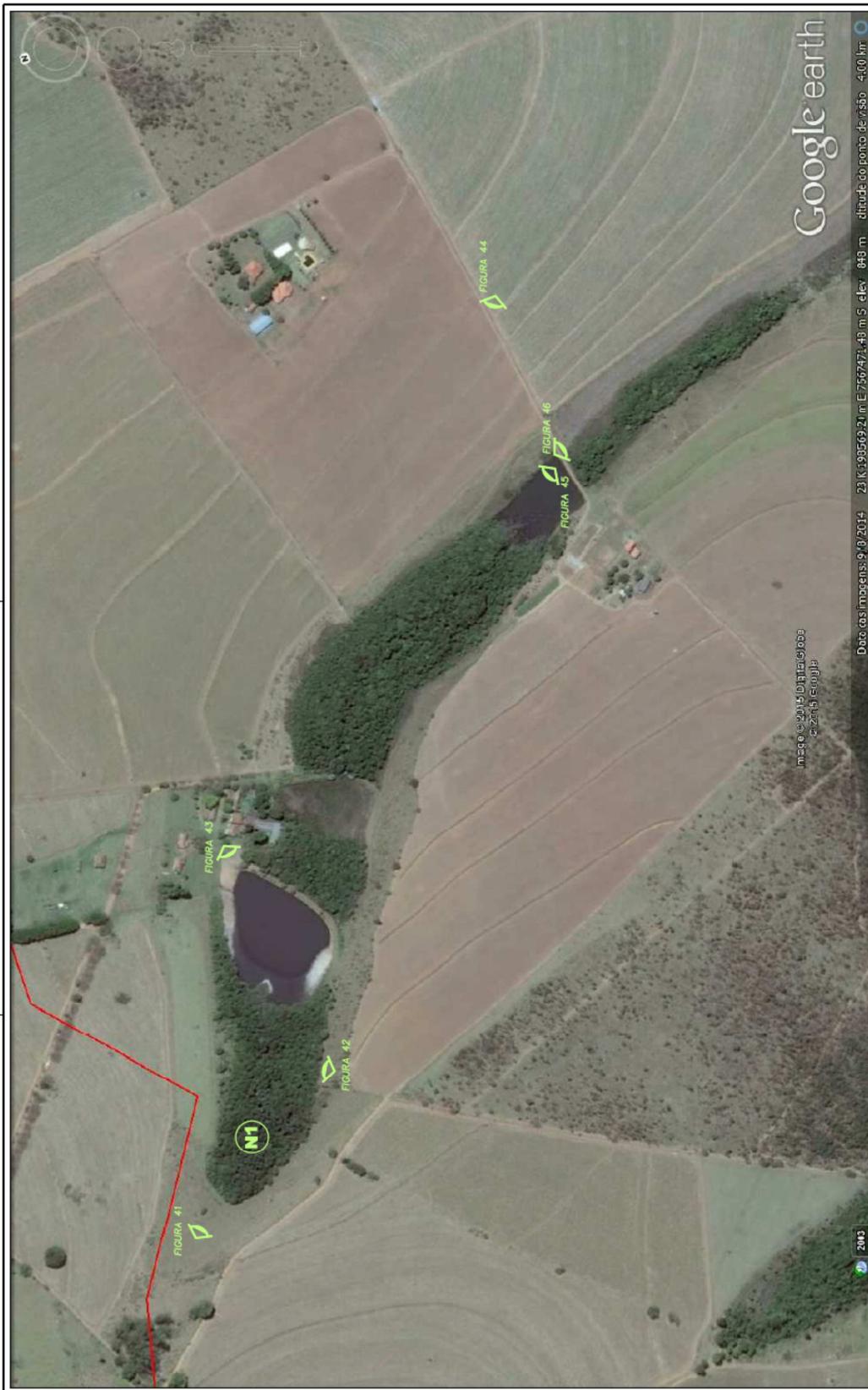


(Fonte: BARBASSA, 1991)

## **ANEXO B**



## **ANEXO C**



**OBS:** NASCENTE (N1) DA REGIÃO DO ANTIGO ATERRO SANITÁRIO

**Objeto:** PRANCHAS DE ORDENAÇÃO DAS FIGURAS

**Folha:** 02 / 09  
**Pg.** 157



**OBS:** NASCENTE (N2) DA REGIÃO DOS CONDOMÍNIOS DAMHA

**Objeto:** PRANCHAS DE ORDENAÇÃO DAS FIGURAS

**Folha:** 03 / 09  
**Pg.** 158

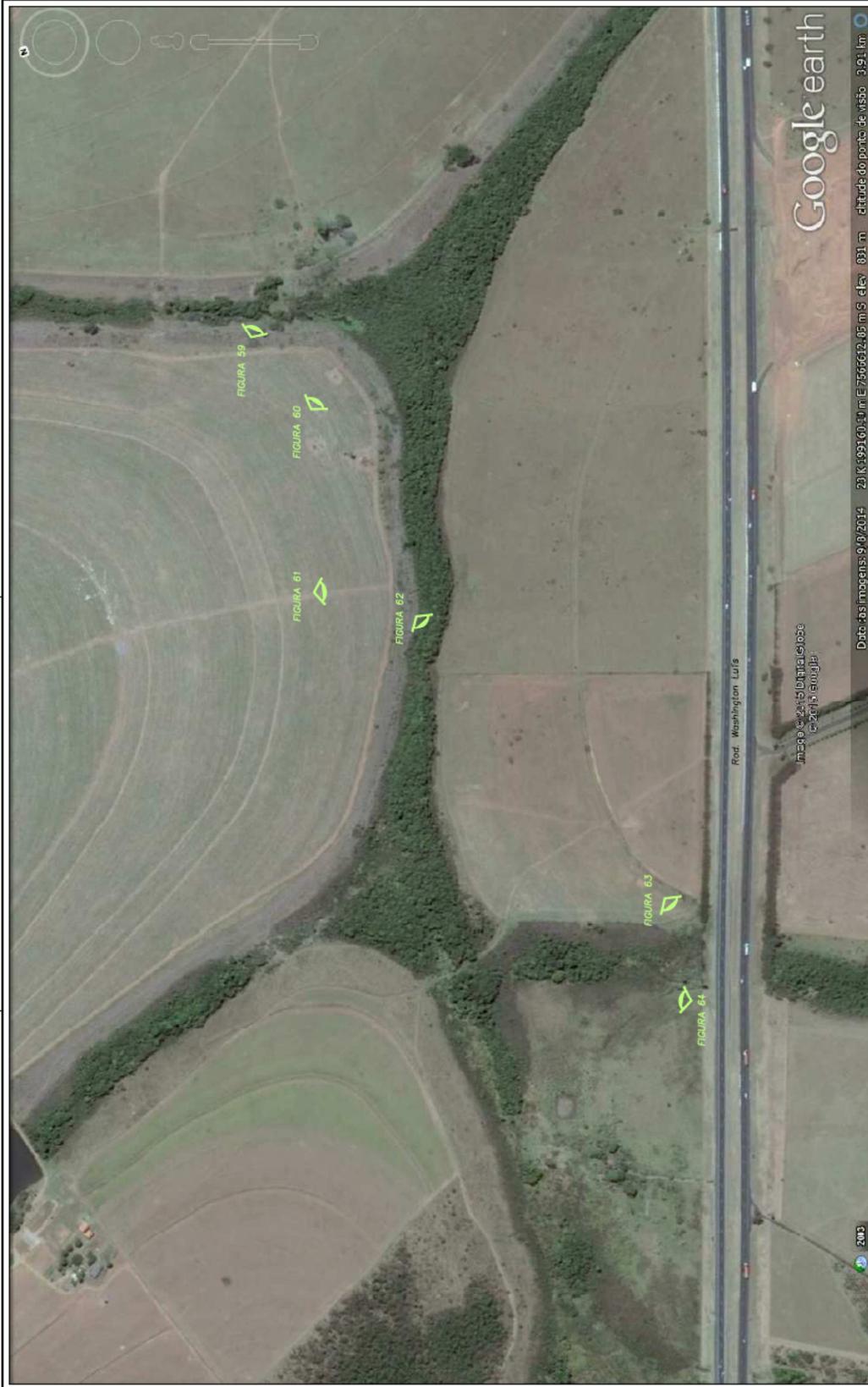


**OBS:** NASCENTES (N3 E N4) DA REGIÃO DO LOTEAMENTO EMBARÉ

**Objeto:** PRANCHAS DE ORDENAÇÃO DAS FIGURAS

**Folha:** 04 / 09

**Pg.** 159



**OBS:** LEITO DO CÓRREGO PRÓXIMO À RODOVIA WASHINGTON LUÍS

**Objeto:** PRANCHAS DE ORDENAÇÃO DAS FIGURAS

**Folha:** 05 / 09  
**Pg.** 160



**OBS:** NASCENTES (N5 E N6) LOCALIZADAS NO SÍTIO PARAISO (REGIÃO RUS MIGUEL PETRONI)

**Objeto:** PRANCHAS DE ORDENAÇÃO DAS FIGURAS

**Folha:** 06 / 09

**Pg.** 161



**OBS:** LEITO DO CÓRREGO CRUZANDO A RODOVIA WASHINGTON LUIS

**Objeto:** PRANCHAS DE ORDENAÇÃO DAS FIGURAS

**Folha:** 07 / 09

**Pg.** 162

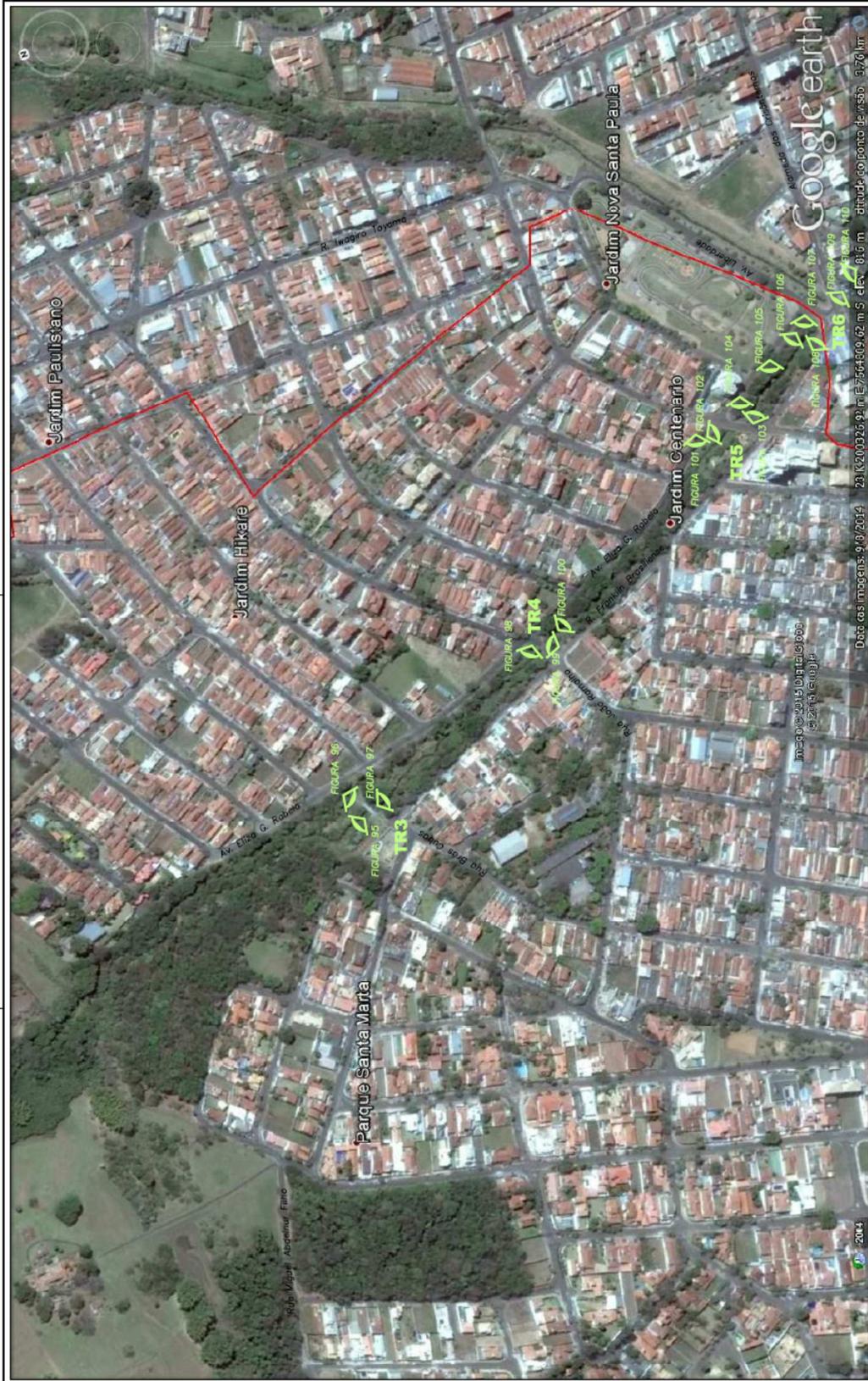


**OBS:** NASCENTE (N7) NA REGIÃO DO LOTEAMENTO JD. ACAPULCO - ÁREA URBANIZADA

**Objeto:** PRANCHAS DE ORDENAÇÃO DAS FIGURAS

**Folha:** 08 / 09

**Pg.** 163



**OBS:**

LEITO DO CÔRREGO NA REGIÃO DO KARTÓDROMO - ÁREA URBANIZADA

**Objeto:** PRANCHAS DE ORDENAÇÃO DAS FIGURAS

**Folha:** 08 / 09  
**Pg.** 164