

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

**AVALIAÇÃO DE BACIAS DE DETENÇÃO DE ÁGUAS
PLUVIAIS IMPLANTADAS NO MUNICÍPIO DE SÃO CARLOS,
SP**

CARLOS ANDRÉS MARTÍNEZ RODRÍGUEZ

São Carlos
2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

**AVALIAÇÃO DE BACIAS DE DETENÇÃO DE ÁGUAS
PLUVIAIS IMPLANTADAS NO MUNICÍPIO DE SÃO CARLOS,
SP**

CARLOS ANDRÉS MARTÍNEZ RODRÍGUEZ

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.

Orientação: Prof. Dr. Bernardo Arantes do Nascimento Teixeira

São Carlos
2019



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

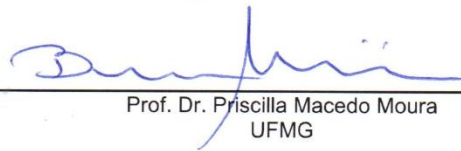
Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana

Folha de Aprovação

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Carlos Andres Martinez Rodriguez, realizada em 15/03/2019:



Prof. Dr. Bernardo Arantes do Nascimento Teixeira
UFSCar



Prof. Dr. Priscilla Macedo Moura
UFMG



Profa. Dra. Renata Bovo Peres
UFSCar

Certifico que a defesa realizou-se com a participação à distância do(s) membro(s) Priscilla Macedo Moura e, depois das arguições e deliberações realizadas, o(s) participante(s) à distância está(ão) de acordo com o conteúdo do parecer da banca examinadora redigido neste relatório de defesa.



Prof. Dr. Bernardo Arantes do Nascimento Teixeira

*Dedico este trabalho
à minha avó Maria (in memoriam).*

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida e a oportunidade dada para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus pais Bernardo e Gloria, pelo amor incondicional e por serem os pilares e formadores das bases na minha vida.

Ao meu irmão Oscar, meu melhor amigo e companheiro de vida.

Ao professor Bernardo Arantes Teixeira, pela orientação, motivação e disponibilidade durante toda a pesquisa.

Aos profissionais Mario, Fernanda, Paulo, Rodrigo, Alberto e Eduardo, o síndico Mario e o gerente Valmir pelo conhecimento e valiosa informação dada para o desenvolvimento da pesquisa.

Aos funcionários da Prefeitura Municipal de São Carlos, da Secretaria Municipal de Habitação e Desenvolvimento Urbano, da Secretaria Municipal de Obras Públicas, pela colaboração como os tramites para o acesso na informação.

Aos meus amigos do grupo G-Hidro, Leonardo, Carol, Thais, Eliane, Sidnei e Camila pelo companheirismo e colaboração prestada.

Aos amigos do PPGEU, principalmente ao Caio e Ana Carolina pela ajuda no deslocamento durante as atividades de campo.

À minha namorada Maria Gabriela, pelo amor, carinho e amizade.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

RESUMO

No Brasil, as últimas décadas registraram um crescimento acelerado da urbanização aumentando a impermeabilização do solo e o escoamento direto, gerando inundações nas zonas urbanas. Como medida para mitigar os impactos decorrentes, a partir dos anos 1990 adotou-se o conceito de técnicas compensatórias, entre elas, as Bacias de Detenção (BD), as quais são técnicas centralizadas que se caracterizam por ser dimensionadas para grandes períodos de retorno, com o objetivo de deter as águas pluviais durante um período de tempo, diminuindo o pico de cheia. Devido a obrigatoriedade pela legislação municipal, as BD são implantadas nos empreendimentos do município de São Carlos, para garantir a conservação da vazão pré-urbanização. Com este panorama, a presente pesquisa tem como objetivo a avaliação destas unidades sob aspectos físicos, de projeto e integração urbana. Foram identificadas e caracterizadas 23 Bacias de Detenção e 3 Sistemas de Bacias de Detenção por meio de imagens de satélite e visitas *in loco*, e foram avaliadas mediante variáveis consultadas na revisão bibliográfica e adaptadas a realidade municipal. Igualmente foram analisados aspectos de dimensionamento, construção, manutenção, custos e integração de algumas das BD através da consulta dos memoriais nos projetos de drenagem e entrevistas realizadas aos agentes envolvidos com a temática. Com estes recursos, identificou-se a localização das BD voltadas para as zonas perimetrais da zona urbana, encontrando-se a maioria delas perto de residências, porém, sem integração ao espaço de convivência da comunidade sendo isoladas por meio de portões e alambrado. Todas as BD têm a única função de controle hidrológico. Com exceção de três Bacias que não possuíam orifício de fundo para a saída d'água, as demais BD apresentaram formação de lâmina de água de baixa profundidade pelo evento de precipitação e esvaziamento dentro das 24 horas após a chuva. Quanto ao estado de conservação, observou-se como fator comum a presença de vegetação excessiva e resíduos sólidos devido à falta de atividades de manutenção frequentes. Com respeito ao dimensionamento verificou-se a utilização do método racional para o cálculo das vazões máximas, no entanto identificaram-se diferenças no cálculo de parâmetros hidrológicos e do volume de detenção dos projetos de drenagem das BD, comparados com as equações estabelecidas pela Diretriz Municipal para Projetos de Drenagem. A maioria das BD contavam com dissipadores de energia em suas estruturas de entrada prevenindo a erosão, assim como elementos para a retenção de sedimentos. As atividades necessárias para a construção e operação das BD não representam uma alta complexidade, sendo estas primordialmente a movimentação de terra, e roçagem junto com a retirada de resíduos sólidos respectivamente. Identificaram-se duas faixas de custo de implantação das BD, um deles em torno dos R\$25/m³ e o outro de R\$50/m³; o custo calculado para a manutenção da BD foi de R\$342/ha.ano. As BD implantadas cumprem com a função de controle hidrológico, porém, para uma melhor integração da técnica no meio urbano é necessária uma melhoria nas atividades de manutenção assim como a consideração do multiuso delas na concepção do projeto urbanístico.

Palavras-chave: Controle de Cheias; Manejo de Águas Pluviais; Drenagem Urbana; Técnicas Compensatórias; Bacias de Detenção.

ABSTRACT

In Brazil, the last decades registered an accelerated growth of urbanization, increasing the waterproofing of the soil and the direct flow, generating floods in the urban areas. As a measure to mitigate the resulting impacts, since the 90's decade, the concept of compensatory techniques has been adopted, among them, the Detention Basins (DB), which are centralized techniques that are characterized by being dimensioned for large return periods, with the objective of detain rainwater over a period of time, reducing the flood peak. Due to the obligatoriness by the municipal legislation, DB are being implanted in new urban developments in the municipality of São Carlos, to guarantee the conservation of the pre-urbanization flow. According to this panorama, the present research has as objective the evaluation of these units under physical aspects, of project and urban integration. Were identified and characterized 23 Detention Basins and 3 Detention Basins Systems by satellite images and on-site visits, and were evaluated through variables consulted in the bibliographic review and adapted to the municipal reality. Also, aspects as sizing, construction, maintenance, costs and integration of some of the DB were analyzed through consultation of the memorials in the drainage projects and interviews with the agents involved with the issue. These resources permitted to identify that the location of the DB was directed to the perimeter zones of the municipality. Most of them being close to residences, but without being integrated in the same space of coexistence with the community, being isolated through gates and wiring. All DB have the sole function of hydrological control. The exception were three Basins that did not have a bottom hole for water outlet. The others DB presented shallow water sheet formation by the precipitation event and emptying it within 24 hours after rainfall. Regarding the state of conservation, it was observed as a common factor the presence of excessive vegetation and solid residues due to the lack of frequent maintenance activities. About sizing, was verified the use of the rational method to calculate the maximum flows. However, differences were identified in the calculation of hydrological parameters and the volume of detention in Basin's drainage project, compared to the equations established by the Municipal Direction for Drainage Projects. Most DB had energy dissipators in their inlet structures preventing erosion, as well as elements for sediment retention. The activities necessary for the construction and operation of the DB do not represent a high complexity, being these mainly the soil movement and to prune along with the solid waste removal respectively. Two DB implantation cost ranges were identified, one of them at around R\$25/m³ and the other of R\$50/m³; the calculated cost for the maintenance of the DB was R\$342/ha.year. The DB implanted comply with the hydrological control function, but for a better integration of the technique in the urban environment it is necessary an improvement in the maintenance activities as well as the consideration of the multifunction of them in the conception of the urban project.

Keywords: Flood Control; Stormwater Management, Urban Drainage; Compensatory Techniques, Detention Basins.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Balanço hídrico afetado pela urbanização	20
Figura 2 - Alterações nas vazões devido a urbanização	21
Figura 3 - Aumentos relativos em vazões de pico.....	21
Figura 4 - Aumentos relativos em volumes escoados	22
Figura 5 - Esquema de técnicas compensatórias estruturais.....	28
Figura 6 - Trincheira de infiltração.....	30
Figura 7 - Vala com canaleta em concreto	30
Figura 8 - Camada de revestimento permeável (a) bloco de concreto poroso e (b) asfalto poroso	31
Figura 9 - Detalhes construtivos do poço de infiltração no campus da UFSCar.....	32
Figura 10 – Esquema de telhado verde.....	33
Figura 11 - Esquema de microrreservatório aberto gramado	34
Figura 12 - Componentes da BD	38
Figura 13 - Bacia de detenção <i>on-line</i>	39
Figura 14 - Bacia de detenção <i>off-line</i>	40
Figura 15 - Bacia de detenção com revestimento em concreto	40
Figura 16 – Anfiteatro como bacia de detenção (Parque Redfern, Sydney)	40
Figura 17 – Etapas de estudo e seleção de BD	43
Figura 18 – Localização do município de São Carlos no estado de SP.....	56
Figura 19 - Localização do município de São Carlos dentro das UGRHI	57
Figura 20 - Bacias hidrográficas do Município de São Carlos.....	57
Figura 21 – Sub-bacias hidrográficas urbanas dentro da Bacia do Monjolinho.....	58
Figura 22 – Córregos da área urbana de São Carlos.....	59
Figura 23 – Processo de Expansão da Área Urbana de São Carlos.....	60
Figura 24 – Grau de urbanização do município de São Carlos	62
Figura 25 – Invasões das APP pela Expansão Urbana	65
Figura 26 – Infraestrutura de drenagem urbana São Carlos	66
Figura 27 – Zoneamento Municipal	69
Figura 28 – Estrutura Organizacional da SMOP	73
Figura 29 - Proposta de reservatórios de detenção/retenção no município de São Carlos.....	76
Figura 30 – Metodologias para a estimativa de vazões de enchente	77
Figura 31 – Hidrograma triangular	78

Figura 32 – Esquema de Conduto de Saída	80
Figura 33 – Mapeamento das BD e SBD no município de São Carlos	90
Figura 34 – Localização SBD Tibaia de São Fernando.....	94
Figura 35 – Vista geral da unidade III SBD Tibaia de São Fernando	95
Figura 36 – Vista geral da unidade I SBD Tibaia de São Fernando.....	95
Figura 37 – Localização SBD Varjão.....	96
Figura 38 - Vista geral da Unidade III SBD Varjão	97
Figura 39 – Localização da BD Residencial Damha III.....	98
Figura 40– Extravasor do poço de infiltração	98
Figura 41– Boca de lobo.....	98
Figura 42 – Vista Geral da BD Residencial Damha III.....	99
Figura 43 – Localização SBD Village São Carlos III	100
Figura 44– Vista Geral Unidade I SBD Village São Carlos III.....	101
Figura 45– Vista Geral Unidade II SBD Village São Carlos III	101
Figura 46 – Localização BD Village São Carlos I - montante	102
Figura 47 – Vista geral fora da BD Village São Carlos I - montante.....	102
Figura 48 – Vista geral dentro da BD Village São Carlos I - montante	102
Figura 49 – Localização BD Village São Carlos I - jusante.....	103
Figura 50 – Vista geral BD Village São Carlos I - jusante.....	104
Figura 51 – Interior da BD Village São Carlos I - jusante	104
Figura 52 – Localização BD saída norte UFSCar	105
Figura 53 – Vista geral acesso BD saída norte UFSCar	106
Figura 54 – Vista geral interior BD saída norte UFSCar	106
Figura 55 – Localização da BD Parque do Espraiado	107
Figura 56 – Vista geral da BD Parque do Espraiado.....	107
Figura 57 – Localização da BD Graal São Carlos.....	108
Figura 58 – Vista geral BD Graal São Carlos (estiagem).....	109
Figura 59 – Vista geral BD Graal São Carlos (precipitação)	109
Figura 60 – Localização BD Parque Monte Logan	110
Figura 61 – Vista geral interior da BD Parque Monte Logan	110
Figura 62 – Estacionamento com área permeável	110
Figura 63 – Localização da BD sítio Paraíso	111
Figura 64 – Vista geral da BD sítio Paraíso	112
Figura 65 – Localização BD Residencial Eldorado.....	113

Figura 66 – Vista geral da BD Residencial Eldorado.....	114
Figura 67 - Localização BD Monte Everest	115
Figura 68 – Vista Geral da BD Monte Everest.....	115
Figura 69 – Localização da BD Jardim Araucária – Fase 01	116
Figura 70 – Vista geral exterior da BD Jardim Araucária – Fase 01.....	117
Figura 71 – Vista geral interior da BD Jardim Araucária – Fase 01	117
Figura 72 – Localização BD Jardim Araucária – Fase 02.....	118
Figura 73 – Vista geral exterior da BD Jardim Araucária – Fase 02.....	119
Figura 74 – Vista geral interior da BD Jardim Araucária – Fase 02	119
Figura 75 – Localização BD Moradas São Carlos III	119
Figura 76 – Vista geral BD Moradas São Carlos III	120
Figura 77 – Drenagem dos lotes	120
Figura 78 – Localização BD Recanto do Bosque.....	121
Figura 79 – Vista geral BD Recanto do Bosque.....	122
Figura 80 – Localização BD Passeio das Magnólias.....	123
Figura 81 – Vista geral interior da BD Passeio das Magnólias	123
Figura 82 – Vista geral exterior da BD Passeio das Magnólias	123
Figura 83 – Localização BD Reserva Aquarela	124
Figura 84 – Vista Geral interior da BD Reserva Aquarela.....	125
Figura 85 – Vista Geral exterior da BD Reserva Aquarela	125
Figura 86 – Localização da BD Parque Faber III.....	126
Figura 87 – Vista Geral interior da BD Parque Faber III	126
Figura 88 – Localização da BD Eduardo Abdelnur	127
Figura 89 – Vista geral da BD Eduardo Abdelnur	128
Figura 90 – Localização BD Deputado José Zavaglia	129
Figura 91 – Vista interna da BD Deputado José Zavaglia	130
Figura 92 – Vista exterior da BD Deputado José Zavaglia	130
Figura 93 – Localização BD Planalto Verde	131
Figura 94 – Vista geral BD Planalto Verde (costado oeste).....	131
Figura 95 – Vista geral BD Planalto Verde (costado este).....	131
Figura 96 – Localização BD Parque Novo Mundo	132
Figura 97 – Vista geral da BD Parque Novo Mundo (costado sul).....	133
Figura 98 – Vista geral da BD Parque Novo Mundo (costado norte)	133
Figura 99 - Localização da BD CEAT	134

Figura 100 – Vista Geral BD CEAT	134
Figura 101 – Localização BD CEMOSAR.....	135
Figura 102 – Vista geral BD CEMOSAR	136
Figura 103 – Plantações dentro dos limites da BD	141
Figura 104 – Plantações no entorno da BD	141
Figura 105 – Hidrograma para cálculo do volume de detenção da BD10.....	146
Figura 106 – Lâmina de água (40,6 mm de chuva)	149
Figura 107 – Lâmina de água (19,2 mm de chuva)	149
Figura 108 – Lâmina de água (41,9 mm de chuva)	149
Figura 109– Lâmina de água (19,2 mm de chuva)	149
Figura 110 – Estrutura de entrada Tipo I.....	151
Figura 111 – Estrutura de entrada tipo II.....	151
Figura 112 – Estrutura de entrada tipo III	151
Figura 113– Estrutura de entrada tipo IV	151
Figura 114 – Disposição de rochas na estrutura de entrada d’água.....	152
Figura 115 – Cilindros de concreto em estrutura de entrada d’água	152
Figura 116 – Estrutura de saída d’água tipo I.....	153
Figura 117 – Estrutura de saída d’água tipo II	153
Figura 118 – Estrutura de saída d’água tipo III	153
Figura 119 – Estrutura de saída d’água tipo IV	153
Figura 120 – Esquema de Dissipador de Impacto	154
Figura 121 – Talude com cobertura, fundo sem cobertura.....	157
Figura 122 – Talude sem cobertura, fundo com cobertura.....	157
Figura 123 – Rampa de acesso na BD	158
Figura 124 – Alambrado e portão de acesso na BD	158
Figura 125 – Acumulação de sedimentos.....	159
Figura 126 – Resíduos sólidos dentro de BD	159
Figura 127 – Vegetação excessiva dentro de BD	160
Figura 128 – Bom estado da grama dentro da BD	160
Figura 129 – Reservatório de contenção em São Bernardo do Campo/SP	164
Figura 130 – Parque como bacia de detenção (Wallace Park, Colorado)	164

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Objetivos múltiplos de drenagem pluvial para eventos de tempo de retorno diferentes	25
Quadro 2 - Elementos da rede de microdrenagem	26
Quadro 3 - Critérios para projeto de bacias de retenção	41
Quadro 4 - Custos de implantação, operação e manutenção de BD	44
Quadro 5 - Custos de implantação, reconstituição e operação de bacias de retenção	45
Quadro 6 – Custos de implantação de bacias de retenção abertas gramadas.....	46
Quadro 7 – Variáveis para a avaliação de BD implantadas	50
Quadro 8 – Parâmetros para a análise urbano-espacial das técnicas compensatórias	52
Quadro 9 – Coeficientes de permeabilidade segundo parcelamento na SUC	67
Quadro 10 - Dimensões para a construção de reservatórios.....	70
Quadro 11 - Principais sub-bacias urbanas de São Carlos	71
Quadro 12 – Valores do coeficiente de escoamento superficial.....	79
Quadro 13 – Variáveis do Grupo 1 para avaliação das BD	84
Quadro 14 – Identificação e localização das BD	91
Quadro 15 – Caracterização da precipitação nos dias das visitas.....	93
Quadro 16 – Visitas <i>in loco</i> sem precipitação	93
Quadro 17 – Avaliação das BD visitadas	138
Quadro 18 – Parâmetros para o cálculo do volume de retenção.....	144
Quadro 19 – Comparativo dos volumes de retenção	147
Quadro 20 – Conformação do volume da BD	150
Quadro 21 – Dimensões das estruturas hidráulicas	155
Quadro 22 – Itens no orçamento para implantação da BD	161
Quadro 23 – Comparativo dos custos de implantação da BD	162
Quadro 24 - Custos de manutenção da BD.....	162
Quadro 25 – Comparativo dos custos de manutenção da BD	163

LISTA DE SIGLAS

ABASC	Associação Beneficente dos Alfaiates de São Carlos
AIA	Área(s) de Interesse Ambiental
APP	Área(s) de Preservação Permanente
BD	Bacia(s) de Detenção
CEAT	Centro Empresarial de Alta Tecnologia
CP	Coeficiente de permeabilidade
FVC	Faixa(s) Verde(s) Complementar(es)
PDDUAS	Plano Diretor de Drenagem Urbana Ambientalmente Sustentável
PMSC	Prefeitura Municipal de São Carlos
PMSSanCa	Plano Municipal de saneamento de São Carlos
PVC	Policloreto de Vinil
SBD	Sistema(s) de Bacia(s) de Detenção
SMHDU	Secretaria Municipal de Habitação e Desenvolvimento Urbano
SMOP	Secretaria Municipal de Obras Públicas
SMSP	Secretaria Municipal de Serviços Públicos
TAC	Termo de Ajustamento de Conduta
TC	Técnica(s) Compensatória(s)
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
UFSCar	Universidade Federal de São Carlos
UGRHI	Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos

SUMARIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Objetivos.....	18
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	Urbanização	19
2.2	Impactos da Urbanização no Manejo de Águas Pluviais.....	20
2.3	Aspectos Qualitativos das Águas Pluviais.....	23
2.4	Sistemas de Drenagem Urbana	24
2.4.1	Sistemas Clássicos de Drenagem Urbana	26
2.4.2	Sistemas Alternativos de Drenagem Urbana.....	27
2.4.2.1	Técnicas de Controle na Fonte	29
2.4.2.2	Técnicas Compensatórias Centralizadas	34
2.5	Bacias de Detenção (BD).....	35
2.5.1	Aspectos Gerais.....	35
2.5.2	Concepção das BD	41
2.5.3	Manutenção e Operação.....	43
2.5.4	Custos.....	44
2.5.5	Inserção Urbana das Bacias de Detenção.....	46
2.5.6	Estudos Realizados sobre BD Implantadas.....	48
2.6	Legislação Relacionada à Gestão das Águas Pluviais	52
2.6.1	Legislação Federal	53
2.6.2	Legislação Estadual.....	54
2.6.3	Legislação Municipal	55
3	ÁREA DE ESTUDO	56
3.1	Caracterização do Município de São Carlos.....	56
3.2	Ocupação e Expansão da Área Urbana.....	60
3.3	Legislação no Município de São Carlos a respeito da Drenagem Pluvial	63
3.4	Diretriz Municipal para Projetos de Drenagem Urbana	76
4	METODOLOGIA.....	82
4.1	Etapa 1 - Revisão da Literatura.....	82
4.2	Etapa 2 - Área de Estudo	83
4.3	Etapa 3 - Estabelecer Variáveis e Parâmetros para Avaliação das BD	83
4.4	Etapa 4 - Localização e Identificação das Bacias de Detenção	85
4.5	Etapa 5 - Caracterização das Bacias de Detenção	86

4.6	Etapa 6 - Avaliação e Análise das BD	88
4.7	Etapa 7 - Considerações Finais	88
5	RESULTADOS	89
5.1	Localização e Identificação das Bacias de Detenção.....	89
5.2	Caracterização das BD Identificadas	92
5.3	Avaliação das Bacias de Detenção	137
5.4	Análise de Aspectos de Projeto das Bacias de Detenção.....	142
5.4.1	Dimensionamento	143
5.4.2	Estruturas Hidráulicas	150
5.4.3	Processo Construtivo.....	155
5.4.4	Manutenção	158
5.4.5	Custos	161
5.4.6	Integração Urbana	163
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	165
7	REFERÊNCIAS.....	169
	APÊNDICES	176
	APÊNDICE I - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido	177
	APÊNDICE II – Roteiro de Entrevistas	179

1 INTRODUÇÃO

O aumento acelerado da urbanização, quando acompanhado de uma ocupação desordenada do solo, sem o planejamento integrado das infraestruturas e uma falta de atendimento respeito à legislação para disciplinar o uso, ocupação e parcelamento do solo, gera problemas no manejo de águas pluviais, principalmente evidenciados no momento da ocorrência dos eventos hidrológicos de alta intensidade.

A impermeabilização causada no solo pela urbanização traz como consequência aumento tanto na velocidade do escoamento pluvial como na vazão máxima, ocasionando assim aumento na frequência das inundações e na erosão do solo, além de causar contaminação das águas pluviais pela lavagem da superfície e entupimento dos canais com resíduos (TUCCI, 2012).

Assim, com a urbanização crescente, tem-se observado que o sistema tradicional de manejo das águas pluviais é insuficiente, levando a eventos de inundação cada vez mais frequentes em áreas urbanas, além de não seguir a concepção do desenvolvimento urbano sustentável. No Brasil pode-se estimar um valor anual superior a dois bilhões de dólares de despesas e prejuízos com inundações (NUCASE, 2007).

As problemáticas do antigo conceito higienista definido como o sistema tradicional de drenagem que tem como objetivo conduzir a água pluvial rapidamente para jusante, foram compreendidas pelos técnicos e pesquisadores, levando a uma mudança na literatura nos últimos 30 anos abordando a drenagem pluvial como um assunto de gestão integrada com o espaço urbano, onde a sustentabilidade é o objetivo a ser alcançado (MARTINS, 2012).

A partir dos anos 1970 nasce em países da Europa e da América do Norte, assim como em Austrália e Japão uma abordagem alternativa para o manejo de águas pluviais. Esta abordagem trata-se de técnicas compensatórias as quais buscam como seu nome diz, minimizar ou compensar os impactos negativos causados pela urbanização. Inicialmente, o objetivo principal dessas soluções foi o armazenamento e a infiltração das águas pluviais visando controlar e diminuir os volumes de escoamento. Já com o tempo a diversidade de técnicas compensatórias buscam também reduzir a poluição difusa e gerar a desconexão de áreas impermeáveis (RIGHETTO, 2009).

Dentro das técnicas compensatórias mais difundidas estão as bacias de retenção, as trincheiras, poços e planos de infiltração, entre outros. No Brasil a partir da década de 1990, começa a abordagem do modelo compensatório de drenagem, principalmente com a implantação de bacias de retenção nas regiões metropolitanas de Belo Horizonte, São Paulo e Porto Alegre (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2015).

Além das técnicas compensatórias que são parte das medidas estruturais, na gestão integrada de manejo de águas pluviais para o controle das inundações, existem as medidas não estruturais, as quais são caracterizadas por abordar medidas para prevenir ou conviver com as inundações, como as considerações na legislação para controle do escoamento ou a capacitação para atuar ante as emergências. Estes dois tipos de medidas devem se implementar dentro do espaço urbano de forma integrada para um controle efetivo dos impactos das águas pluviais (TUCCI, 2012).

Como base para a implantação deste modelo compensatório, a legislação tem considerado a nível federal e municipal diretrizes para o manejo sustentável de águas urbanas. O capítulo três do Estatuto da Cidade (Lei Federal nº 10.257 de 2001), determina a obrigatoriedade de estabelecer um Plano Diretor para cidades com mais de vinte mil habitantes, o qual é o instrumento para a organização, desenvolvimento e expansão urbana no Município, abordando entre outros aspectos a drenagem pluvial.

A lei de saneamento (Lei Federal nº 11.445/2007) que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico, prevê a elaboração de plano de drenagem urbano como instrumento de gestão das águas pluviais na cidade, propondo soluções para as deficiências diagnosticadas e para uma melhoria na qualidade de vida; Também menciona a utilização de dispositivos de retenção de água pluvial como fator a considerar na cobrança pelo serviço de manejo de águas pluviais.

Com o avanço no estabelecimento de diretrizes para o manejo de águas pluviais por meio de sistemas sustentáveis, as técnicas compensatórias, como as Bacias de Detenção têm sido implantadas em diversas localidades no Brasil, como é o caso da cidade de São Carlos (SP), que com a criação do Plano Diretor do Município de São Carlos do ano 2005 por meio da Lei 13.691 de 25/11/2005, considera no seu Art. 103 que o projeto de drenagem, deve ser dimensionado para manter a vazão pré-urbanização, controlando impactos decorrentes da urbanização.

Para aplicar esta legislação, no município de São Carlos foi adotada a bacia de detenção como técnica compensatória, que está sendo implantada por cada novo empreendimento. Se faz necessário um estudo de forma integral desta técnica compensatória sob diferentes aspectos para avaliar o funcionamento e sua integração com o espaço urbano, devido à atual preocupação pela valorização da paisagem urbana e considerando que a falta de informação e conhecimento da população sobre as técnicas compensatórias é o principal obstáculo para a implantação delas.

1.1 Objetivos

A pesquisa teve como objetivo geral a avaliação das bacias de retenção (BR) implantadas como parte do manejo das águas pluviais no Município de São Carlos, SP.

Os objetivos específicos para o desenvolvimento e realização da pesquisa foram os seguintes:

- Caracterizar o estado atual dos elementos que constituem as BR implantadas;
- Aplicar critérios previamente definidos na avaliação do estado e do desempenho das BR sob aspectos hidrológicos, de conservação e de integração urbana;
- Analisar os métodos de dimensionamento das BR implantadas e estabelecer comparações com a atual diretriz de drenagem municipal;
- Verificar os processos de construção, fiscalização, operação e manutenção das BR, bem como os custos financeiros de implantação e operação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo consiste numa revisão da bibliografia em diferentes fontes sobre a informação mais relevante e pertinente da temática abordada nesta pesquisa, desde as bases de formação teórica e conceitual até a realidade atual no Brasil e no Município de São Carlos relacionada sobre o manejo de águas pluviais e a implantação de BD.

2.1 Urbanização

O crescimento urbano principalmente em países em desenvolvimento é representativo desde a década de 70, como consequência negativa dele tem-se identificado deterioração da qualidade de vida e do meio ambiente. Quanto à expansão urbana, no caso de países em desenvolvimento como na América Latina, o crescimento populacional ainda é grande e tenderá a estabilização apenas no ano 2150 segundo projeções das Nações Unidas (TUCCI, 2005).

O crescimento e desenvolvimento urbano levou na relação entre sociedade e os rios, a um controle sobre o recurso hídrico com a realização de grandes obras e projetos hidráulicos de abastecimento público, canalizações, controle de cheias etc. Devido à excessiva realização destas obras aconteceu uma mudança principalmente a partir da Revolução Industrial, levando a uma degradação dos rios com problemas como aumento da contaminação e de enchentes assim como na alteração das comunidades biológicas. Isto qualificando o rio como elemento desagradável dentro do espaço urbano (SARAIVA, 1999).

O processo de urbanização nas cidades Brasileiras, caracteriza-se pela falta de acatamento nas regulamentações para a ocupação do solo no espaço urbano especialmente nas zonas perimetrais, no momento que a população principalmente de baixa renda faz a construção de suas moradias em locais inadequados e ilegais. Isto é acompanhado também de uma falta de investimento e negligência na correta aplicação das políticas de saneamento desde décadas atrás (MARICATO, 2017).

Segundo Tucci (2005), os problemas de urbanização ocorrem devido a diferentes causas como:

- A população rural que migra para as cidades geralmente não possui capacidade de investimento, que junto com a falta de emprego obriga a ocupação de áreas sem infraestrutura adequada e com risco de inundações, além disso, as legislações para regulamentação do espaço urbano são ignoradas;
- Incapacidade do município para prever a expansão urbana e planejar um adequado espaço para o correto desenvolvimento;
- Crise econômica.

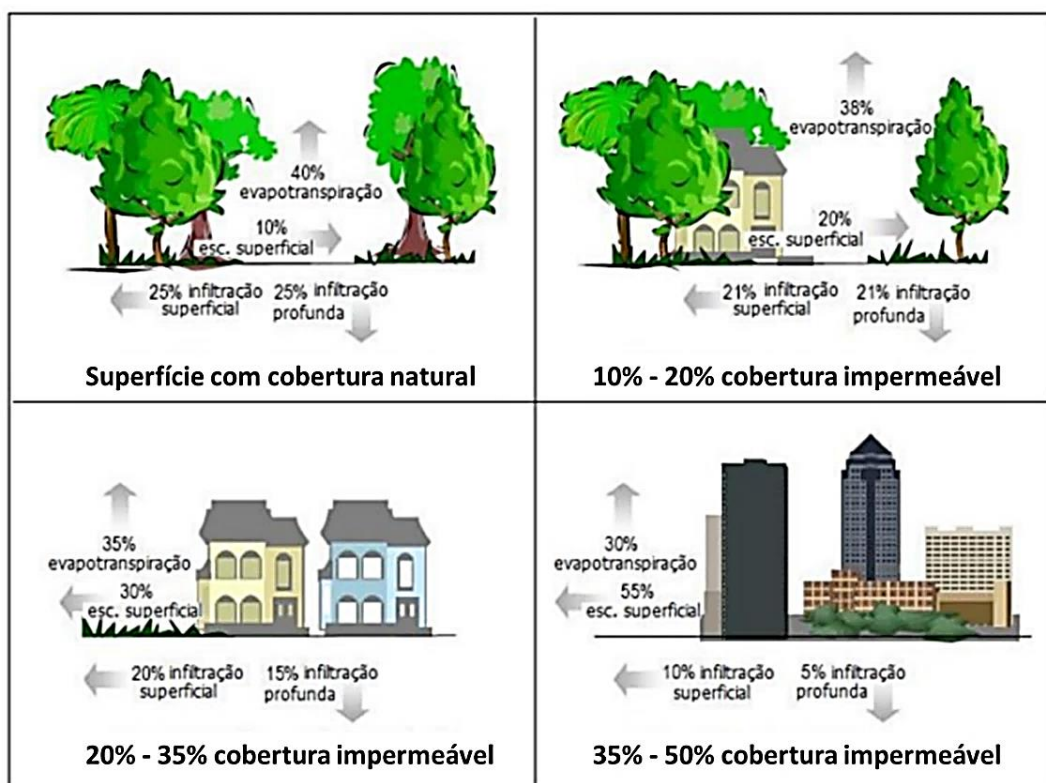
As causas anteriores geram impactos na infraestrutura para a gestão das águas urbanas, tais como:

- Falta de tratamento de esgotos, lançando os rejeitos até os rios, aumentando o risco de contaminação;
 - Falta de implantação de rede de drenagem de águas pluviais gerando aumento das inundações pela impermeabilização do solo;
 - Ocupação de zonas destinadas para as inundações naturais ribeirinhas;
- Impermeabilização e canalização dos rios urbanos aumentando a vazão pico e a carga poluidora carregada pela água pluvial;

2.2 Impactos da Urbanização no Manejo de Águas Pluviais

A concepção da cidade priorizando o uso do automóvel com obras como a canalização dos córregos e a impermeabilização dos fundos do vale, traz, como consequência, uma perturbação dos processos naturais do ciclo hidrológico. Com o desenvolvimento urbano e a impermeabilização do solo, a cobertura vegetal é diminuída, portanto a água que no início infiltrava transforma-se em escoamento superficial. A Figura 1 ilustra as mudanças na porcentagem de cada um dos componentes do ciclo hidrológico devido a urbanização.

Figura 1 - Balanço hídrico afetado pela urbanização

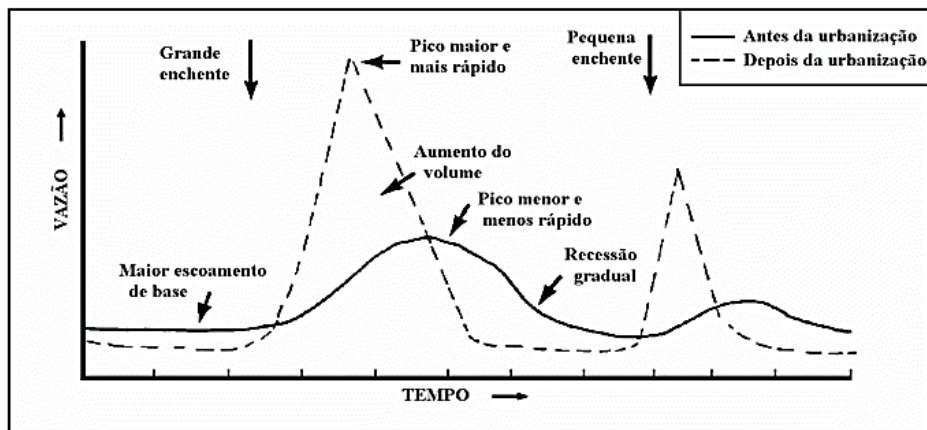


Fonte: EPA (2005 apud FISRWG, 1998)

Segundo Tucci 2005, a urbanização gera as seguintes alterações no ciclo hidrológico:

- Redução da infiltração de água no solo;
- Aumento do volume e velocidade do escoamento superficial através dos condutos;
- Aumento da vazão máxima ou vazão pico (Figura 2);
- Redução do nível do lençol freático por falta de alimentação, reduzindo assim o escoamento subterrâneo;
- Redução da evapotranspiração gerada pelas folhagens e do solo pela substituição da cobertura vegetal.

Figura 2 - Alterações nas vazões devido a urbanização



Fonte: Tucci (2005 apud SCHUELLER, 1987)

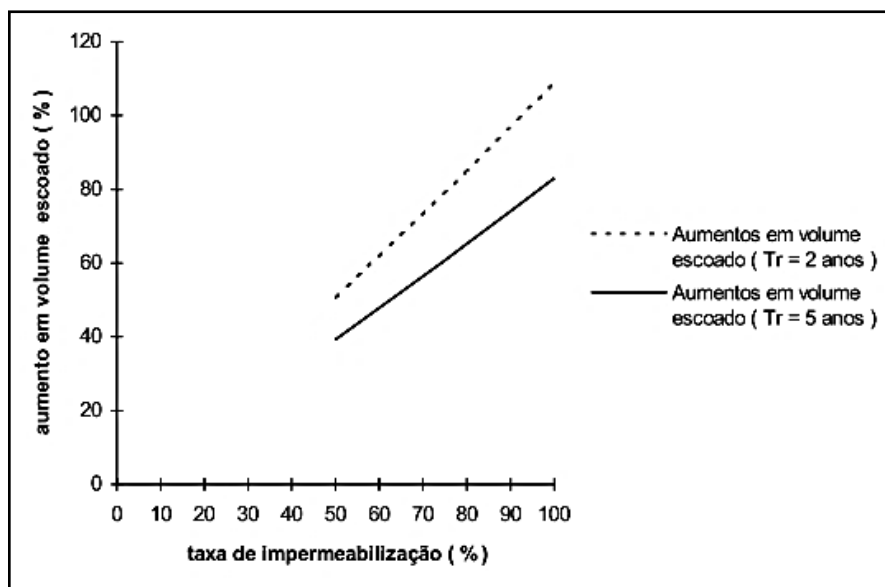
Cruz, Tucci e Silveira (1998) utilizando lotes hipotéticos demonstraram por meio de simulações o efeito das diferentes taxas de impermeabilização sobre os hidrogramas de saída dos lotes em crescente ocupação, evidenciando o aumento nos valores de pico e nos volumes totais escoados como apresentado nas figuras 3 e 4 respectivamente.

Figura 3 - Aumentos relativos em vazões de pico



Fonte: Cruz, Tucci e Silveira (1998)

Figura 4 - Aumentos relativos em volumes escoados



Fonte: Cruz, Tucci e Silveira (1998)

Pode-se observar nas figuras anteriores que o aumento dos volumes escoados é mais significativo do que o aumento das vazões pico com a impermeabilização. Sendo para as vazões de pico um aumento de 15 a 35% e para os volumes de 40 a 80%.

➤ **Inundações**

As inundações geralmente ocasionadas pelos eventos de precipitação de grande magnitude, constituem-se em uma problemática atual, especialmente nas zonas mais urbanizadas. Existem principalmente dois processos que geram inundações nas áreas urbanas segundo Tucci (2005):

▪ **Inundações das áreas ribeirinhas:**

São inundações naturais que ocorrem no leito maior do rio, geradas pela variabilidade na precipitação e o escoamento. O risco deste tipo de inundações ocorre quando o escoamento atinge níveis superiores ao leito menor o qual acontece para eventos de período de retorno maior que 2 anos, e a população ocupa estas áreas de risco natural no leito maior do rio.

Segundo Martins (2012) as várzeas apresentam características como desvalorização do terreno tanto pelo risco de inundações como o solo não apto para construção de edificações. A ocupação destas áreas e das encostas reduz a capacidade de armazenamento de água, assim como aumenta a produção de sedimentos pela alta declividade ocasionando diminuição da capacidade natural do curso d'água por assoreamento. Igualmente a construção de obras hidráulicas ao gerar maior velocidade do escoamento da água pluvial, leva à erosão e possível queda dos taludes, onde o solo que cai no córrego vai diminuir a área natural para o transporte d'água.

Os impactos destas inundações se traduzem como perdas materiais e humanas, prejuízo a atividade econômica e risco de doenças de veiculação hídrica, os quais se apresentam devido à ocupação ilegal das áreas de risco principalmente pela população de baixa renda, pelo menor custo do solo nestas localidades.

- **Inundações devido a urbanização:**

São inundações que ocorrem na zona urbana devido à impermeabilização do solo, à canalização do escoamento, e ao impedimento do escoamento devido ao desenvolvimento urbano. Os impactos gerados por este tipo de inundação são principalmente o aumento das vazões máximas, aumento da quantidade de resíduos e sedimentos e piorar a qualidade da água superficial pela lavagem das ruas.

Segundo Sousa, Morais e Almeida (2015) são necessárias duas coisas para ter um curso d'água com cheias que não afetam as cidades nas suas margens: o desenvolvimento urbano afastado da área de inundação natural do córrego, e preservar o máximo de áreas permeáveis possíveis para não aumentar o escoamento superficial pelas linhas naturais de drenagem.

Em geral pode-se dizer que, nos países em desenvolvimento, as inundações geram grandes prejuízos por falta de atendimento às políticas de controle, enquanto que nos países desenvolvidos existem medidas de controle não estruturais como prevenção por meio de aviso e zoneamento da inundação.

Evidentemente os diferentes eventos de inundações registrados no Brasil, mostram que é muito difícil eliminar estes totalmente, principalmente em zonas altamente urbanizadas, portanto, deve-se procurar uma gestão das inundações a modo de reduzir os riscos, para evitar grandes danos.

2.3 Aspectos Qualitativos das Águas Pluviais

O processo de urbanização leva consigo construções e pavimentação das ruas o que gera uma alteração do equilíbrio do microambiente ao modificar a cobertura vegetal, igualmente existe um aumento na emissão de radiação nas superfícies e uma carga considerável de poluentes carregada nos primeiros instantes das chuvas (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2015).

A qualidade de água dos córregos pode ser afetada pela poluição difusa nas cidades, a qual é gerada pela lavagem das ruas no momento da precipitação, carregando todos os poluentes no seu caminho que vão atingir o córrego. Por isto uma boa gestão dos resíduos sólidos além de ser parte da drenagem urbana, auxilia na mitigação da poluição (MARTINS, 2012).

A poluição difusa pode surgir por diferentes causas, como os resíduos orgânicos, desgaste das ruas pela passagem dos veículos, resíduos de construção, etc. Esta poluição pode ser medida determinando a concentração de poluentes lançados no corpo receptor depois de cada evento de precipitação. Estas concentrações variam ao longo do evento de precipitação podendo-se estabelecer um “polutograma”, com a concentração de poluentes ao longo do tempo.

Os poluentes gerados no ambiente urbano variam tanto no tipo como na origem deles. Os principais poluentes que podem ser encontrados são: sedimentos, bactérias, vírus patogênicos, nutrientes, metais pesados, hidrocarbonetos de petróleo e substâncias que consomem oxigênio (TUCCI, 2005).

A água de chuva também traz consigo contaminação desde sua formação nas nuvens devido à contaminação presente na massa de ar, podendo existir disseminação de poluentes a outras regiões pelos ventos, sendo importante o controle da poluição atmosférica para mitigar o problema.

Assim, a implementação das técnicas compensatórias é uma forma de tentar atenuar os problemas da qualidade da água ao considerar que os poluentes podem ser decantados no tempo prolongado de armazenamento da água, além de diminuir os problemas no sistema hidrológico gerados pela urbanização.

É importante ressaltar que nas cidades brasileiras, uma das principais fontes de poluição dos meios receptores é a interconexão clandestina entre os sistemas de esgotamento sanitário e pluvial, além da inexistência de interceptores domésticos ao longo do curso de transporte d’água. Contudo, para poder fazer uma simulação confiável da qualidade da água de escoamento e seus impactos nos meios receptores é necessário um constante monitoramento (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2015).

2.4 Sistemas de Drenagem Urbana

O âmbito da gestão de drenagem urbana compreende um conjunto de técnicas e ações que podem ser resumidas em três etapas segundo definido por Martins (2012):

- Planejamento: Inclui atividades como a elaboração dos planos diretores, projeto e implantação de medidas e técnicas para redução do risco de inundação. Existem planos diretores tanto para drenagem urbana como planos de saneamento a nível municipal. Os planos devem elaborar as ações como iniciativas do governo e não do governante dentro de um horizonte de tempo claramente definido.

- **Gestão:** Compreende a operação, manutenção e monitoramento dos sistemas estruturais implantados. Também consiste na implementação de campanhas de capacitação e conscientização a respeito da drenagem urbana para incentivar o uso de dispositivos hidráulicos que favorecem a permeabilidade e limitar a impermeabilização do solo.
- **Prevenção:** Consiste na resposta frente às emergências relacionadas a eventos extremos que afetam a drenagem urbana. Para isto é necessário o treinamento e antecipação em caso de precipitações de alta intensidade e um mapeamento dos possíveis impactos, principalmente em setores com grandes empreendimentos e indústrias onde existe maior potencial de risco de dano a população.

Os objetivos do sistema de drenagem sustentável e eficiente, em contraposição ao modelo de inspiração higienista, devem ser múltiplos, complementares e integrarem o tratamento adequado de eventos de diferentes probabilidades de ocorrência como apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 - Objetivos múltiplos de drenagem pluvial para eventos de tempo de retorno diferentes

Objetivos	Ações	Período de retorno
Drenagem pluvial	Soluções alternativas de drenagem para a infiltração ou o armazenamento dos excedentes de água pela impermeabilização de superfícies o mais próximo possível das fontes geradoras. Coleta e drenagem das águas pluviais através de redes de drenagem	Entre 1 e 50 anos
Prevenção e proteção contra riscos de inundação	Soluções como a gestão em tempo real dos escoamentos que transbordam do sistema de drenagem pluvial e o anúncio de cheias. Análise, definição e equipamento de áreas inundáveis e de eixos prioritários de escoamento de excedentes do sistema de drenagem. Soluções como armazenamento em bacias de detenção de maior capacidade.	Entre 50 e 100 anos ou superiores, em função das características locais de urbanismo
Proteção dos meios receptores contra a poluição de origem pluvial	Controle de fontes de poluição crônicas e acidentais. Redução de interconexões entre os sistemas de drenagem de esgotos doméstico e pluvial. Soluções alternativas que favoreçam a infiltração ou o armazenamento dos excedentes de água, desde que não representem risco à saúde pública ou de poluição de águas subterrâneas.	Mensal a anual

Fonte: Nascimento; Baptista e Von Sperling, (1999a)

Quanto a drenagem urbana nos países em desenvolvimento, os mesmos apresentam impactos quantitativos sem solução, no entanto nos países desenvolvidos existe um melhor controle destes impactos assim como uma gestão na qualidade da água.

2.4.1 Sistemas Clássicos de Drenagem Urbana

Os sistemas clássicos de drenagem urbana baseiam-se no conceito higienista o qual prioriza a rápida evacuação das águas pluviais pelos condutos de drenagem afastando a água do contato da população para prevenir inundações e doenças de veiculação hídrica (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2015).

Estes sistemas presentes tanto a nível superficial como subterrâneo, somente têm a função de transportar a água pluvial de um ponto de uma maior altura para outro de menor altura, sem a redução ou controle da quantidade dela, que pode levar a contribuição para uma maior inundação a jusante.

De acordo com as dimensões e funções, os sistemas de drenagem clássicos são divididos como microdrenagem e macrodrenagem.

➤ Microdrenagem

A rede de microdrenagem está composta pelos condutos e canais nos loteamentos ou na rede primária urbana associada ao sistema viário. Esta rede é projetada para atender os eventos de chuva de períodos de retorno entre 2 e 10 anos. Os principais componentes deste sistema são:

Quadro 2 - Elementos da rede de microdrenagem

Elemento	Descrição
Galeria	Canalizações para a condução de águas pluviais captadas pelas bocas de lobo e ligações privadas.
Poços de visita	Dispositivos para a inspeção de galerias localizados a cada 100 m ou nos pontos de mudança de declividade ou direção ao longo da rede.
Trecho	Porção de galeria entre dois poços de visita.
Bocas-de-lobo	Dispositivos localizados estrategicamente nas sarjetas para a captação das águas pluviais.
Condutos de ligação	Canalizações que conduzem as águas pluviais captadas até os poços de visita a jusante.
Caixas de ligação	Caixas de concreto ou alvenaria inspecionáveis ao nível da rua.
Meios-fios	Estruturas paralelas as ruas entre os passeios e a via de rodagem.
Sarjetas	Canais situados paralelos aos meios-fios que conduz o escoamento superficial até as bocas de lobo.
Sarjetões	Calhas nos cruzamentos das vias que desviam o fluxo de água de um lado para outro da rua.
Estruturas de dissipação de energia	Estruturas na saída das galerias para evitar a erosão gerada pela força da água.
Condutos Forçados	Elementos que conduzem a água sob uma pressão diferente da atmosférica.
Estações de bombeamento	Equipamentos para conduzir as águas pluviais quando não é possível o transporte por gravidade.

Fonte: Bidone e Tucci (1995)

➤ **Macro drenagem**

A rede de macro drenagem tem como função o transporte das águas pluviais coletadas pela rede de micro drenagem, e está constituída pelos canais abertos e fechados de maiores dimensões, além da rede natural de drenagem como são os córregos, riachos, rios urbanos e os reservatórios implantados para a contenção de enchentes.

Os elementos que constituem a rede de macro drenagem devem considerar um período de retorno entre 25 a 100 anos. É de extrema importância a manutenção do sistema de macro drenagem com atividades como limpeza tanto nos canais como nas estruturas de armazenamento (TOMINAGA, 2013).

2.4.2 Sistemas Alternativos de Drenagem Urbana

No contexto brasileiro, a expansão das regiões metropolitanas e a impermeabilização do solo aumentam a frequência de inundações e de demandas por infraestrutura urbana em novas áreas alagadas. Assim sendo, é notório que o sistema clássico de drenagem não representa uma solução eficiente já que, por vezes, somente transfere o problema para jusante.

Como possível solução, a partir da década de 1950 começou a concepção de uma cultura de desenvolvimento urbano sustentável, fazendo-se necessárias adaptações na hidrologia, para ser capaz de lidar com os problemas da urbanização, propondo técnicas adaptáveis à situação da realidade regional (RIGHETTO, 2009).

Nesse contexto, o desenvolvimento urbano sustentável visa atingir os objetivos de gerar um ambiente saudável, com menos poluição e exercendo um controle sobre a quantidade da água pluvial para evitar impactos negativos pelos eventos de precipitação.

Como forma para diminuir o dano nas zonas a jusante das bacias hidrográficas, as técnicas compensatórias (TC), tem se identificado como uma forma de planejamento urbano, toda vez que qualquer tipo de urbanização vai levar um impacto tanto para a mesma zona urbana como nos corpos hídricos. Também a implantação de comitês e agências têm criado políticas de controle sobre o uso da água, e desta forma prevenir danos já nas zonas a montante evitando a transferência para jusante (MARTINS, 2012).

Segundo Baptista, Nascimento e Barraud (2015), a partir dos anos 1970, principalmente na Europa e América do Norte começou o desenvolvimento de TC que buscam compensar os efeitos da urbanização no ciclo hidrológico, controlando o excedente de água de escoamento, e aumentando o tempo de transferência desta para jusante.

O sucesso do uso destas técnicas depende da sua correta implantação no ambiente urbano. Devido ao número expressivo e a diversidades de TC, a escolha da mais adequada no momento da avaliação das diferentes alternativas é o que pode apresentar maiores dificuldades.

Por isso, deve-se estabelecer um sistema eficiente de eliminação das alternativas tendo em conta aspectos econômicos, sociais, urbanísticos e ambientais os quais podem ser ponderados com indicadores de custo e de desempenho (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2015).

Os exemplos internacionais mostram que as TC são efetivas no combate de inundações ao mitigar impactos no sistema de drenagem, favorecer a melhoria da qualidade da água pluvial, diminuir os custos do tratamento das águas, e integrar estas técnicas ao espaço urbano gerando um ambiente mais natural e uma melhor qualidade de vida.

Outra estratégia para diminuir os impactos devido a urbanização e canalização dos rios consiste em criar corredores verdes associados aos sistemas de drenagem nas zonas mais afetadas e assim poder melhorar a situação dos córregos canalizados voltando para o ambiente natural e implantando uma área permeável que favorece na infiltração e diminuição do volume de escoamento direto. Estes equipamentos também podem ser usados para recreação e lazer da população criando espaços de convivência e integração (PELLEGRINO *et al.*).

As TC podem ser divididas em estruturais e não estruturais. As TC não estruturais compreendem aqueles procedimentos que favorecem o retardamento dos escoamentos como as restrições na legislação, a racionalização do uso e parcelamento do solo urbano, educação ambiental entre outros. Já as TC estruturais podem-se classificar tanto no princípio de funcionamento da técnica, como na posição de implantação do dispositivo (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2015).

As TC estruturais mais usadas são mostradas na Figura 5, e estão relacionadas com a implantação física das obras.

Figura 5 - Esquema de técnicas compensatórias estruturais

Técnicas compensatórias estruturais	Controle na fonte	Localizado	Telhado verde Micro reservatório Poço de infiltração Plano de infiltração
		Linear	Trincheira de infiltração Vala de detenção Pavimento reservatório Pavimento permeável Áreas úmidas lineares
	Centralizado	Bacias de detenção ou retenção Bacias de infiltração	

Fonte: Righetto (2009)

2.4.2.1 Técnicas de Controle na Fonte

As técnicas de controle na fonte, também conhecidas como distribuídas levam o nome devido a ação de controle do escoamento superficial atuando sobre o lote, praças e passeios. A forma como é exercido o controle da água pluvial por estas técnicas é através de um aumento na superfície para a infiltração da água e o armazenamento temporário dela. Estas técnicas apresentam grandes benefícios diminuindo a quantidade de água escoada recebida pelo sistema de drenagem convencional nos eventos extremos, minimizando o risco de transbordamento pela falta de capacidade da tubulação (TUCCI, 1997).

Estas medidas de controle se caracterizam por serem implantadas para drenagem de áreas de contribuição de pequeno e médio porte. Além do controle hidrológico, estas técnicas também ajudam na diminuição da poluição, ao possuir a capacidade de retenção dos sólidos aos quais estão associados os poluentes. Dependendo da geometria e relação das dimensões da técnica, elas podem ser classificadas em pontuais ou lineares.

Como parte da gestão integrada estas técnicas devem ser planejadas de forma conjunta com o sistema de drenagem tradicional no caso de novos loteamentos. Para as zonas já altamente ocupadas estas deverão contribuir para o sistema de drenagem existente, proporcionando uma maior capacidade para chuvas com maior período de retorno. Diferentes técnicas de controle na fonte podem ser implantadas para obter uma maior eficiência e adaptação conforme ao espaço disponível (TOMINAGA, 2013).

➤ **Técnicas compensatórias lineares**

As técnicas lineares são caracterizadas por ter uma maior dimensão na sua longitude que na sua largura e profundidade, por esta razão são geralmente utilizadas junto ao sistema viário, além de também serem usadas no corpo dos pavimentos como sistema de drenagem.

▪ **Trincheiras de infiltração e detenção:**

A trincheira é uma técnica na qual as águas drenam desde a superfície ou através de um sistema convencional até ela, na direção perpendicular ao seu comprimento, normalmente sua profundidade e largura é inferior a 1 metro. Sua finalidade é infiltrar ou armazenar temporariamente um volume de água. O esvaziamento destas pode ser feito por infiltração no solo ou por descarga no meio natural ou sistema de drenagem. No caso de trincheiras de detenção se devem usar materiais impermeáveis visando a estanqueidade da água, já para a infiltração é necessário o uso de geotêxtil para evitar a colmatção da estrutura. Para conformar o corpo da trincheira é comum a utilização de materiais como pedra de mão, seixos ou brita como apresentado na Figura 6.

Figura 6 - Trincheira de infiltração



Fonte: Gutierrez (2011)

▪ **Valas, valetas e planos de retenção e infiltração:**

Estes tipos de estruturas utilizam depressões para armazenar a água temporariamente e depois favorecer sua infiltração. As valas e valetas se caracterizam por ter sua dimensão longitudinal maior do que as outras; Por outro lado os planos têm suas dimensões semelhantes. Estas estruturas podem funcionar tanto infiltrando a água no solo como por deságue superficial no meio receptor.

No caso das valas consideram-se estruturas bastante simples (Figura 7), semelhantes às trincheiras anteriormente descritas, e possuem os mesmos benefícios e considerações para sua implantação, além de apresentar baixo custo de construção e manutenção. Como considerações importantes, destaca-se a possibilidade de estagnação das águas causando um risco sanitário por isto a importância da escolha de uma correta declividade que favoreça o armazenamento de água e o controle de poluição sem gerar erosão.

Figura 7 - Vala com canaleta em concreto



Fonte: Moura (2004)

- **Pavimentos permeáveis com estruturas de retenção e infiltração:**

As superfícies empregadas para o sistema viário e estacionamento ocupam uma porcentagem da área da bacia de drenagem, estas podem ser usadas na redução da velocidade de escoamento, como para o armazenamento temporário de volumes de água e a infiltração, através da implantação de pavimentos permeáveis.

Segundo Tominaga (2013) os pavimentos permeáveis apresentam uma boa relação custo/benefício devido a sua função de amortecimento dos picos de cheia, e aos custos similares ao pavimento impermeável, toda vez que exista uma técnica de construção eficiente e melhorada, e ao considerar paralelamente a redução do custo no sistema de drenagem tradicional pela compensação gerada pela técnica. Podem-se classificar os seguintes tipos de pavimentos que tem a função de captar, armazenar e esvaziar a água de forma controlada:

- Pavimentos com revestimentos permeáveis: possibilitam a redução da velocidade e o volume de escoamento permitindo que a água pluvial tenha acesso às camadas inferiores.
- Pavimentos porosos: Podem ter revestimentos permeáveis como impermeáveis, tendo por objetivo o armazenamento temporário das águas gerando o amortecimento das vazões. Além disso, estes pavimentos também podem ter dispositivos que facilitam a infiltração das águas gerando uma redução dos volumes efetivos escoados. Na Figura 8 apresenta-se a configuração da cobertura permeável:

Figura 8 - Camada de revestimento permeável (a) bloco de concreto poroso e (b) asfalto poroso



(a)



(b)



Fonte: Martins (2012)

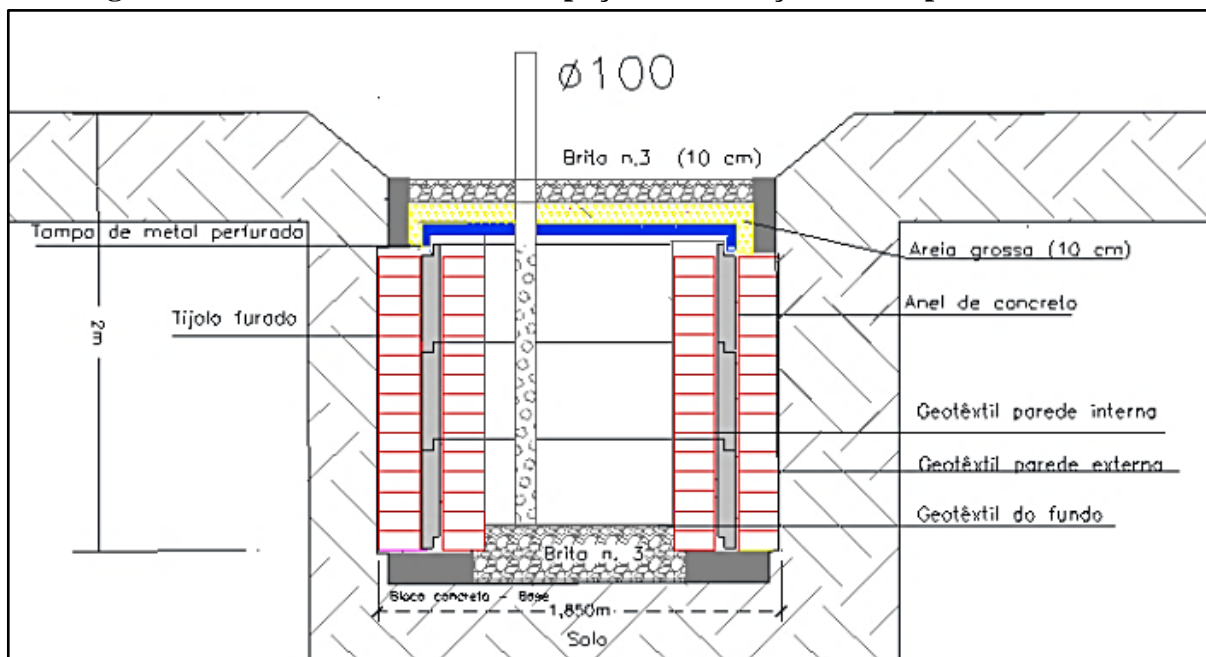
➤ **Técnicas compensatórias localizadas ou pontuais**

▪ **Poço de infiltração:**

O poço de infiltração consiste em uma escavação, a qual é revestida geralmente com tijolos ou concreto, onde a água vai infiltrar no solo pelas paredes e o fundo da estrutura. Quando o poço é utilizado ao nível de lote ele ajuda ao sistema predial de água pluvial, ao amortecer as vazões pico e diminuir o volume escoado. Deve-se considerar no momento de sua localização condições como a permeabilidade do solo, sua capacidade estrutural e o nível do lençol freático (REIS ; ILHA, 2014).

Esta técnica apresenta um baixo volume de armazenamento e pode ser usada como complemento para técnicas centralizadas. A colmatação é um dos fatores mais importantes a controlar, para o qual é usado o geotêxtil para retenção dos finos, como apresentado na Figura 9.

Figura 9 - Detalhes construtivos do poço de infiltração no campus da UFSCar



Fonte: Sobrinha (2012)

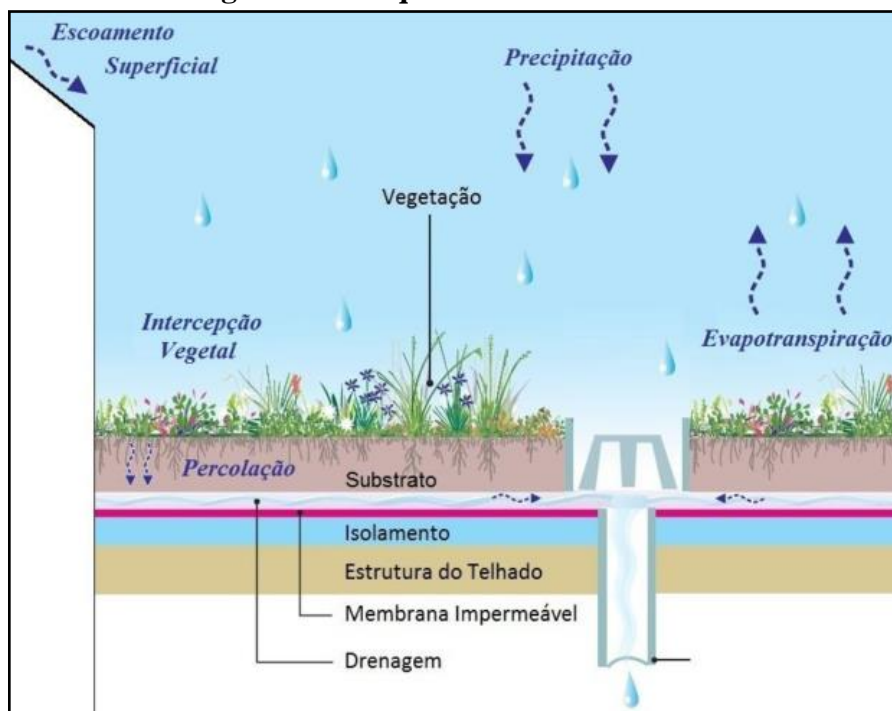
▪ **Telhado verde:**

Este tipo de dispositivo é implantado em tetos de edificações, é eficiente na redução do escoamento superficial principalmente em zonas adensadas, e valorizando esteticamente o empreendimento. Sua estrutura está conformada por uma laje impermeabilizada, uma camada de solo leve e o sistema de drenagem. Sua maior eficiência é para chuvas intensas e de curta duração (RIGHETTO, 2009).

O funcionamento do sistema mostrado na Figura 10, consiste em armazenar temporariamente a água produzida pelo evento de chuva, a qual será liberada lentamente ao

sistema de drenagem ou voltada para atmosfera pela evapotranspiração. Estes telhados devido a sua cobertura verde apresentam um valor paisagístico importante, no local onde serão implantados.

Figura 10 – Esquema de telhado verde



Fonte: Tominaga (2013)

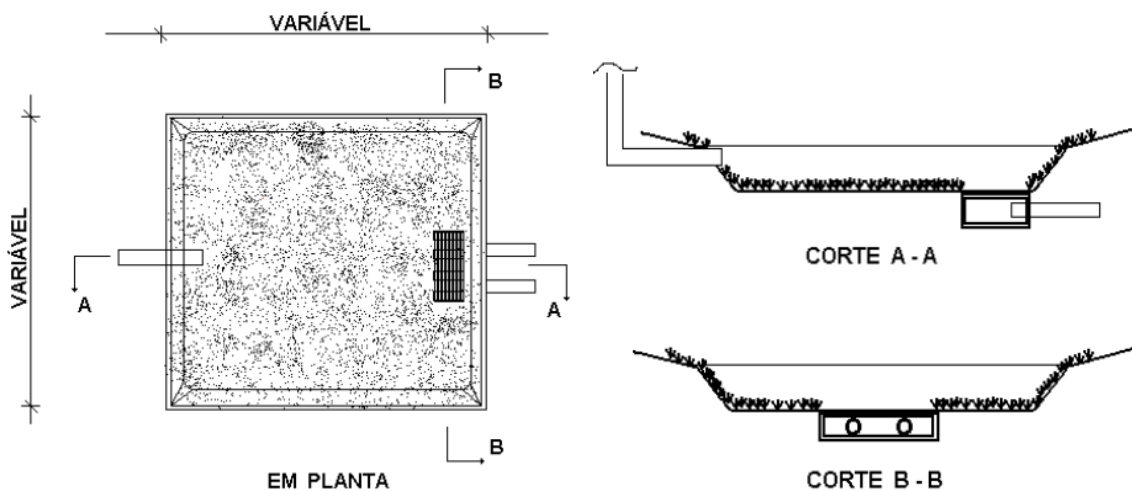
- **Microrreservatório:**

O microrreservatório é um espaço que pode ser aberto ou fechado que tem como função o armazenamento de água por um período de tempo para diminuir as vazões de pico. A disposição de microrreservatórios em locais planejados ao longo da rede de drenagem pode diminuir os efeitos da vazão a jusante, funcionando como complemento da rede existente (RIGHETTO, 2009).

Como parâmetros importantes a ter em consideração no momento da implantação do microrreservatório são o tipo de solo, a área disponível, a aceitação da população e o nível do lençol freático. Quando a capacidade de infiltração do solo é suficiente a topografia não é um parâmetro prioritário a considerar devido a que não é necessário a drenagem da água armazenada por gravidade (COSTA; BARBASSA, 2006). Existem microrreservatórios domiciliares que são de especial interesse visto que permitem a utilização das águas pluviais para atividades como irrigação, lavagem de automóveis, instalações sanitárias, além de sua função de amortecimento de cheias (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2015).

Um exemplo de um reservatório individual é mostrado na Figura 11 com seus dispositivos de coleta, armazenamento e esvaziamento.

Figura 11 - Esquema de microrreservatório aberto gramado



Fonte: Cruz, Tucci e Silveira (1998)

2.4.2.2 Técnicas Compensatórias Centralizadas

Estas técnicas correspondem principalmente às bacias as quais se caracterizam por ter uma área de drenagem de porte maior do que as outras TC, podem apresentar diferentes configurações, com função tanto de infiltração como de detenção. São técnicas muito implantadas nas cidades brasileiras por sua fácil execução uma vez destinado o espaço e a vazão a ser controlada para eventos de chuva com períodos grandes de retorno.

Estas técnicas também são conhecidas como medidas de controle a jusante, devido a sua função de evitar que o acréscimo da vazão máxima seja transferida para jusante por meio do amortecimento do volume de água. Além de minimizar o impacto hidrológico, estas técnicas também apresentam vantagens como a facilidade de construção e manutenção, porém, também apresentam desvantagens como a aquisição e localização de uma área adequada para sua implantação, e a oposição por parte da população quando elas ocupam grandes dimensões (TUCCI, 2005).

- **Bacias de detenção**

A bacia de detenção é uma técnica que está sendo utilizada atualmente no Brasil e é objeto de estudo da atual pesquisa, pelo que será detalhada em outro subitem abordando diferentes aspectos a considerar para o desenvolvimento do presente trabalho.

- **Bacias de retenção**

A bacia de retenção é dimensionada para manter uma lâmina de água durante um longo período. Existe uma redução da poluição difusa, por meio da infiltração de água devido ao tempo em que esta permanece armazenada, podendo ficar com uma lâmina d'água permanente ou reduzir o nível por causa da infiltração ou liberação manual dela.

Este tipo de bacia tem grande capacidade de armazenamento de água, por isso permite a sedimentação dos sólidos suspensos e a dissolução de poluentes por decomposição, melhorando a qualidade da água retida, além de gerar um valor paisagístico na disposição do espelho d'água, que pode permitir um bom ambiente recreacional, além de servir de habitat natural para a vida terrestre e aquática (RIGHETTO, 2009).

Normalmente estes tipos de bacias operam com os dispositivos de descarga de fundo fechados durante o evento de chuva, para depois do período de decantação dos sólidos drenar a água até uma estação de tratamento ou ao meio natural dependendo da carga de poluentes presentes. Como parte da manutenção, os sedimentos depositados devem ser removidos (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2015).

Como um comparativo dos sistemas alternativos de drenagem urbana foi feito um comparativo segundo Moura, Pellegrino e Martins (2015), entre dois reservatórios com respeito ao outro sistema de técnicas como bioretenção e calçada permeável, para o qual foi verificado que o segundo sistema consegue armazenar um 41% do volume armazenado pelos reservatórios.

Sendo assim os reservatórios são técnicas viáveis para o armazenamento de água em eventos extremos, com um menor custo quando implantados em novas áreas a serem urbanizadas. Por outra parte a bioretenção e calçada permeável apresentaram-se mais favoráveis para a integração delas dentro do espaço já urbanizado, possuindo melhor informação respeito a sua manutenção e transformando a rua em um ambiente mais saudável e sustentável para a comunidade (MOURA; PELLEGRINO; MARTINS, 2015).

2.5 Bacias de Detenção (BD)

2.5.1 Aspectos Gerais

As BD são estruturas de acumulação temporária de águas pluviais as quais tem como objetivo principal o amortecimento de cheias e em menor medida a redução do volume escoado por meio da infiltração no solo e a redução da poluição difusa. A composição básica das BD geralmente está conformada por um volume para o armazenamento da água, uma estrutura com orifício de fundo para a saída de água e um extravasor de emergência (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2015)

Genericamente as BD são medidas estruturais com custos de construção consideráveis e ocupação de zonas em áreas densamente povoadas, as quais podem ser objetos de rejeição pelos moradores e envolver questões de ordem ambiental. Esta solução tem se mostrado eficaz

pelos seus efeitos imediatos olhando a BD como uma nova várzea para acumular água e recuperar o amortecimento perdido (NAKAZONE, 2005).

Segundo Tucci (2005), as BD são utilizadas principalmente para o amortecimento da vazão pico a jusante, restringindo a saída pela estrangulação do conduto com o objetivo de preservar as condições de vazão da área pré-urbanizada. O controle de poluentes geralmente é baixo toda vez que o sistema é concebido para armazenar a água por pouco tempo dando espaço para o próximo evento de precipitação. Quanto maior é o tempo de detenção maior será a capacidade de depuração da BD. Righetto (2009) considera que em alguns casos a água retida pelas bacias de detenção geram a recarga do aquífero subterrâneo, contribuindo ao longo prazo na diminuição de poluentes e o aumento da qualidade da água.

As BD usadas como amortecimento de cheias, são efetivas contra as consequências da impermeabilização do solo sobre os processos hidrológicos, podendo diminuir os custos de implantação de canalizações ou evitar intervenções em sistemas de macrodrenagem quando estes tornam-se insuficientes (NASCIMENTO; BAPTISTA; SPERLING, 1999). Estes motivos mostram a boa relação benefício/custo pela implantação de BD.

Normalmente estas BD são projetadas para esvaziar em 24 horas. Responsáveis por deter o escoamento, as bacias de detenção, também ajudam a reduzir o potencial erosivo nas margens dos córregos. O sistema pode funcionar em nível de cota superior para eventos menos frequentes e de maior magnitude ou em nível de cota inferior para eventos de maior frequência. O controle da vazão de saída normalmente pode ser feito através de uma tubulação (RIGHETTO, 2009).

Em princípio as Bacias de Detenção são implantadas para o manejo de águas pluviais, com o objetivo de controle do escoamento para evitar as inundações, porém, considerando a *Best Management Practice (BMP)*, estas bacias junto com a implantação de diversos tipos de vegetação, podem ajudar no melhoramento da qualidade de água por meio da distribuição do escoamento em toda a área da bacia e no incremento do tempo de detenção gerando filtração e estimulando a remoção de nutrientes e a retenção de sedimentos (HOGAN; WALBRIDGE, 2007).

Segundo Lawrence *et al.* (1996), as BD além do controle hidrológico contribuem para o melhoramento da qualidade da água quando estas apresentam tempos de detenção entre 24 e 48 horas, para o qual ocorre sedimentação de sólidos suspensos e material orgânico. Quando existe controle qualitativo e quantitativo da água as BD diminuem os custos empregados na construção de infraestrutura de drenagem e no tratamento da água.

Por outra parte segundo Fischer, Charles e Baehr (2003), uma alta taxa de infiltração da água pluvial na BD, principalmente quando o fundo destas é arenoso e o nível do lençol freático é superficial, pode aumentar o risco de contaminação da água subterrânea, ao infiltrar os compostos existentes na água pluvial.

Segundo Tucci (2005), os sistemas de retenção construídos nas cidades brasileiras tem foco apenas no controle quantitativo da água de drenagem urbana para o controle do impacto das inundações, mas ainda não tem a componente de controle da qualidade da água. Para Baptista, Nascimento e Barraud (2015), inclusive nos projetos brasileiros mais recentes o objetivo principal na redução dos impactos da urbanização continua sendo o amortecimento de cheias, constatando-se praticamente a inexistência de medidas na redução da poluição urbana de origem pluvial.

Pode-se apresentar incompatibilidades nas funções da BD no momento de usa-la tanto para amortecimento de cheias como para redução de cargas poluentes devido ao maior tempo de armazenamento requerido para a decantação das partículas sólidas. Porém, existem técnicas para compatibilização destes objetivos como implantação de bacias em série ou paralelo, uso de decantadores a fio d'água como os laminares, ou emprego de órgãos de descarga em cotas distintas para o armazenamento de água por períodos mais longos (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2015).

Nakazone (2005) fez uma compilação das vantagens e desvantagens das BD, as quais são as seguintes:

Vantagens

- Prevenir impactos adversos da impermeabilização do solo pela restauração do armazenamento natural perdido;
- Diminuir problemas de inundações localizadas;
- Reduzir os custos dos sistemas de drenagem à jusante, pela redução nas suas dimensões ao precisar menor capacidade para transportar a água pluvial;
- Controlar problemas de erosão em pequenos tributários através da redução das vazões;
- Aumentar o tempo de resposta do escoamento superficial;
- Incentivar o reuso e a recarga de aquíferos;
- Melhorar a qualidade paisagística através do aumento de áreas verdes e parques, criando oportunidades de recreação à comunidade.

Desvantagens

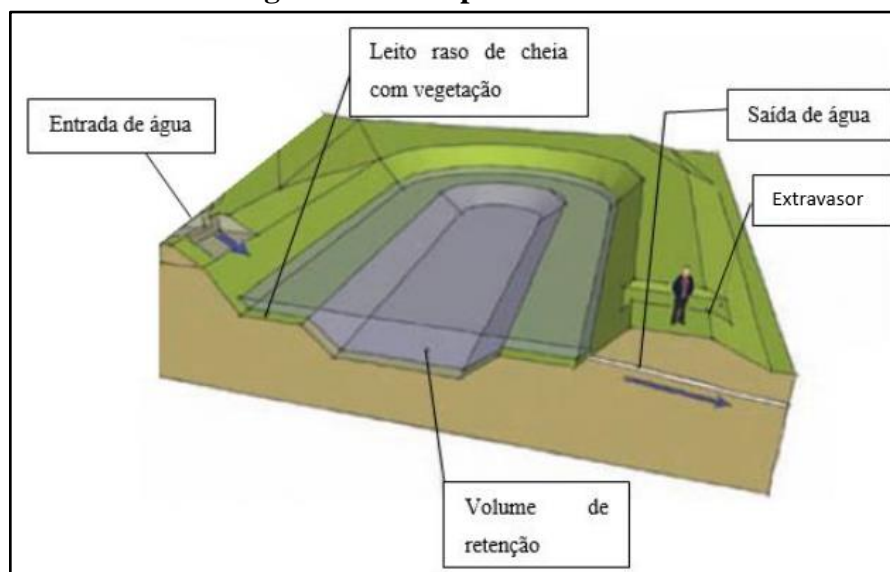
- sob algumas condições hidrológicas, armazenamentos localizados na parte superior da bacia podem aumentar as taxas de escoamento à jusante, devido a hidrogramas sobrepostos;
- A manutenção é o problema principal, na falta do responsável e a acumulação de resíduos diversos.

Nascimento *et al.* (1999b) destaca que as deficiências quanto à implantação das BD no Brasil, como a falta de integração com o meio urbano, falta de um conhecimento sobre custo/benefício desta técnica e um funcionamento de baixa eficiência, é devido a um baixo investimento no monitoramento e concepção desta técnica.

➤ Estrutura básica

Segundo Nakazone (2005), a bacia de retenção geralmente está composta por estrutura de entrada, corpo de armazenamento, estrutura de descarga e dispositivo de extravasão como apresentado na Figura 12.

Figura 12 - Componentes da BD



Fonte: Alteurbanismo (2010)

- A estrutura de entrada pode transportar a água por gravidade, quando se encontra acima da cota de armazenagem, caso contrário é usado o bombeamento, o qual implica gastos decorrentes;
- O corpo de armazenagem é responsável pela contenção dos volumes de água e podem ser constituídos de diversos materiais ou pelo mesmo solo, com forma de uma depressão;

- Os dispositivos de extravasão são elementos de segurança contra eventos de magnitudes maiores às projetadas, eles podem ou não estar acoplados às estruturas de saída;
- A estrutura de descarga pode ser por gravidade ou por bombeamento dependendo da cota de armazenamento, controlando a vazão de saída e o nível da água do armazenamento.

➤ **Tipos de bacias**

Segundo Almeida (2014), as bacias de detenção podem ser classificadas segundo suas características físicas em bacias a céu aberto ou subterrâneas:

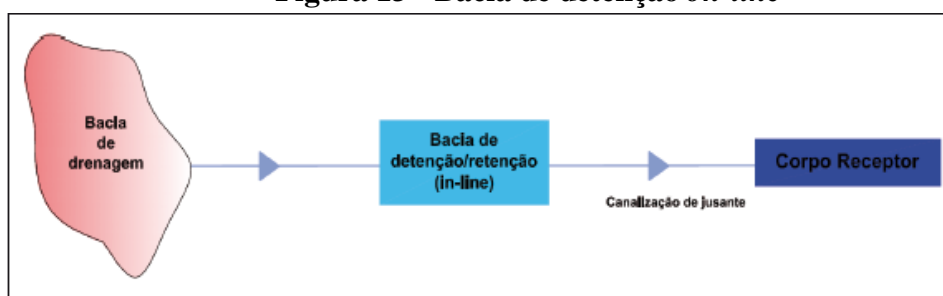
- **Bacia a céu aberto:** Estes tipos de bacias atuam como reservatórios temporários durante o período de vazão crítica. Normalmente são usadas em zonas urbanas ocupadas, mas que ainda dispõem de espaço, porém são mais indicados para zonas de nova expansão urbana onde devem ser integrados com o sistema de macrodrenagem e o projeto urbanístico. Deve-se ter especial cuidado evitando a formação de lâmina permanente d'água para não ter risco sanitário para a população.
- **Bacia subterrânea:** Normalmente são indicadas para áreas densamente ocupadas, pela impossibilidade de ocupar um espaço na superfície.

Pode-se definir também o tipo de BD pela posição em relação ao sistema de drenagem em bacias do tipo *off-line* ou *on-line* como apresentado nas Figuras 13 e 14.

Segundo Tucci (2005), quando a drenagem utiliza a folga do volume do sistema para amortecimento, e estão ligados diretamente a rede de drenagem ele é chamado de *on-line*, no caso em que somente o excedente do escoamento é transferido para a área de amortecimento o sistema é denominado de *off-line*.

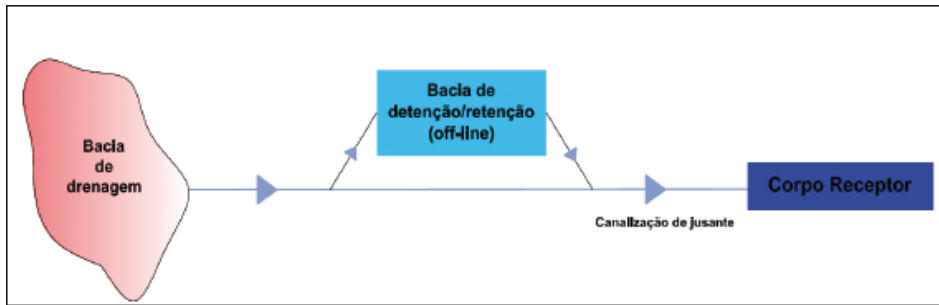
As BD *on-line* são geralmente são depressões implantadas transversalmente ao curso d'água, armazenando a água pluvial durante os eventos de chuva e permanecendo secas durante períodos de estiagem. No caso de BD *off-line* são implantadas lateralmente a rede de drenagem pluvial.

Figura 13 - Bacia de detenção *on-line*



Fonte: PDDUAS (2014)

Figura 14 - Bacia de detenção *off-line*



Fonte: PDDUAS (2014)

Com relação à sua localização, segundo Baptista, Nascimento e Barraud (2015) , pode-se estabelecer um número grande de pequenas bacias distribuídas na área urbanizada ou pode-se optar por poucas bacias de maiores dimensões situadas em zonas mais à jusante da área urbanizada. A escolha por uma opção vai depender de fatores como os locais disponíveis, as características urbanísticas, os requisitos de manutenção e a eficiência necessária para o amortecimento de cheias e o controle da poluição.

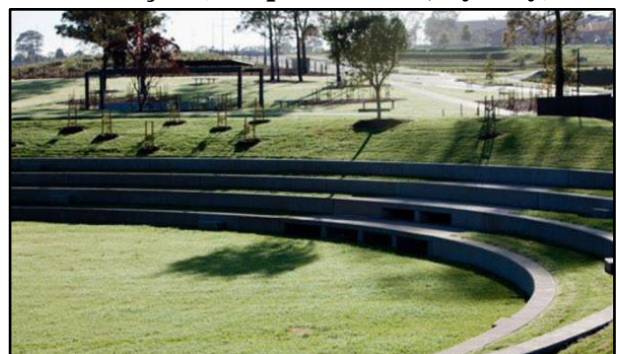
As BD podem ser revestidas em concreto como apresentado na Figura 15 ou podem ter revestimento gramado como na Figura 16, em ambos os casos podendo oferecer espaços de lazer ou esporte como quadras e parques no período de estiagem. No entanto elas precisam de constante manutenção para seu bom funcionamento, além de que a impermeabilização em concreto resulta uma opção de maior custo.

Figura 15 - Bacia de detenção com revestimento em concreto



Fonte: Moura (2004)

Figura 16 – Anfiteatro como bacia de detenção (Parque Redfern, Sydney)



Fonte: WLA (2017)

As BD também podem estar atuando como uma única unidade isolada de armazenamento de água as quais são denominadas no presente trabalho como Bacias de Detenção (BD) ou podem atuar em serie sendo dois o mais BD, que neste trabalho será considerado como um Sistema de Bacias de Detenção (SBD).

2.5.2 Concepção das BD

A concepção para o projeto da BD exige uma formação de equipes multidisciplinares abrangendo as diversas questões e enfoques como os aspectos hidrológicos, urbanísticos, sociais, e ambientais para um sucesso na implantação da técnica. O Quadro 3 apresenta uma síntese dos critérios de análise a serem levados em conta no projeto da BD.

O projeto de uma BD pode ser para duas situações, a primeira quando vai se implantar a bacia dentro de uma área já urbanizada, pelo que deve-se avaliar os sistemas já implantados e as limitações quanto ao espaço e legislação. Por outro lado, no caso de novas áreas urbanas torna-se mais fácil a implantação do projeto o qual pode ser integrado junto com o projeto urbanístico.

Quadro 3 - Critérios para projeto de bacias de retenção

Critério	Elementos de análise	
Funcional	Primária	Vazão de pico, forma do hidrograma, características de reservação e descarga
	Secundária	Área e perímetro do reservatório, controle do assoreamento, acessos
Ambiental	Proteção	Qualidade da água, ecologia aquática, controle de insetos
	Urbanismo	Inserção paisagística, equipamentos de lazer, convivência, acesso de veículos e pedestres, estacionamento
Construtivo	Canteiro de obras, acessos, disponibilidade de materiais, e mão de obra.	
Operacional	Inspeção e manutenção do reservatório e das estruturas hidráulicas, remoção de sedimentos e lixo, manutenção dos equipamentos urbanos	
Legal	Regulamentação de uso como equipamento urbano, regulamentação quantitativa e qualitativa das águas afluentes	

Fonte: Nascimento, Baptista e Sperling (1999a).

As BD possuem uma estrutura para o controle da saída do volume de água retido nela, geralmente associado a eventos de chuva de pequena magnitude. Já que o sistema é projetado para esvaziamento completo, ele pode ser usado nos períodos secos como áreas de recreação para a população (RIGHETTO, 2009).

As bacias de retenção são principalmente dimensionadas para eventos de períodos de retorno grandes os quais são pouco frequentes. Como complemento a esta técnica uma correta distribuição e conexão de áreas permeáveis, segundo Holman-Dodds, Bradley e Potter (2003), reduz os impactos do aumento de escoamento superficial, por meio da infiltração de água no solo, principalmente nos casos de eventos mais frequentes e de menor intensidade.

Segundo Baptista, Nascimento e Barraud (2015) apesar de não ser normalmente considerado, é importante ter em conta na concepção do projeto da BD o controle da poluição difusa de origem pluvial pelos seguintes aspectos:

- Existe uma contribuição significativa pela poluição difusa, além de não ter uma infraestrutura adequada para tratamento de efluentes o que leva a contaminação dos corpos hídricos receptores.

- A poluição difusa pode alterar o bom funcionamento da bacia de retenção pelo assoreamento e riscos para a saúde pela deposição de poluentes.

O mesmo autor define como etapas na concepção do projeto de bacias de retenção as seguintes:

Diagnóstico e formulação do problema: O primeiro passo consiste na realização de estudos sobre o sistema de drenagem existente e/ou os meios receptores para identificar os problemas de funcionamento e os impactos que podem ser minimizados pela implantação da BD. Estes estudos são do tipo hidrológico e hidráulico com a coleta de informações (características da bacia hidrográfica, uso do solo, sistemas de infraestrutura urbana, sistema de drenagem pluvial), que permitam a construção de cenários para a simulação do sistema. O produto é a estimativa de volumes de armazenamento necessários para amortecimento de cheias e de controle de poluição.

Análise e definição da bacia: Dependendo dos objetivos a atingir deve-se fazer uma análise dos locais potenciais para a implantação da bacia tendo em conta critérios físicos, urbanísticos, econômicos e ambientais a seguir:

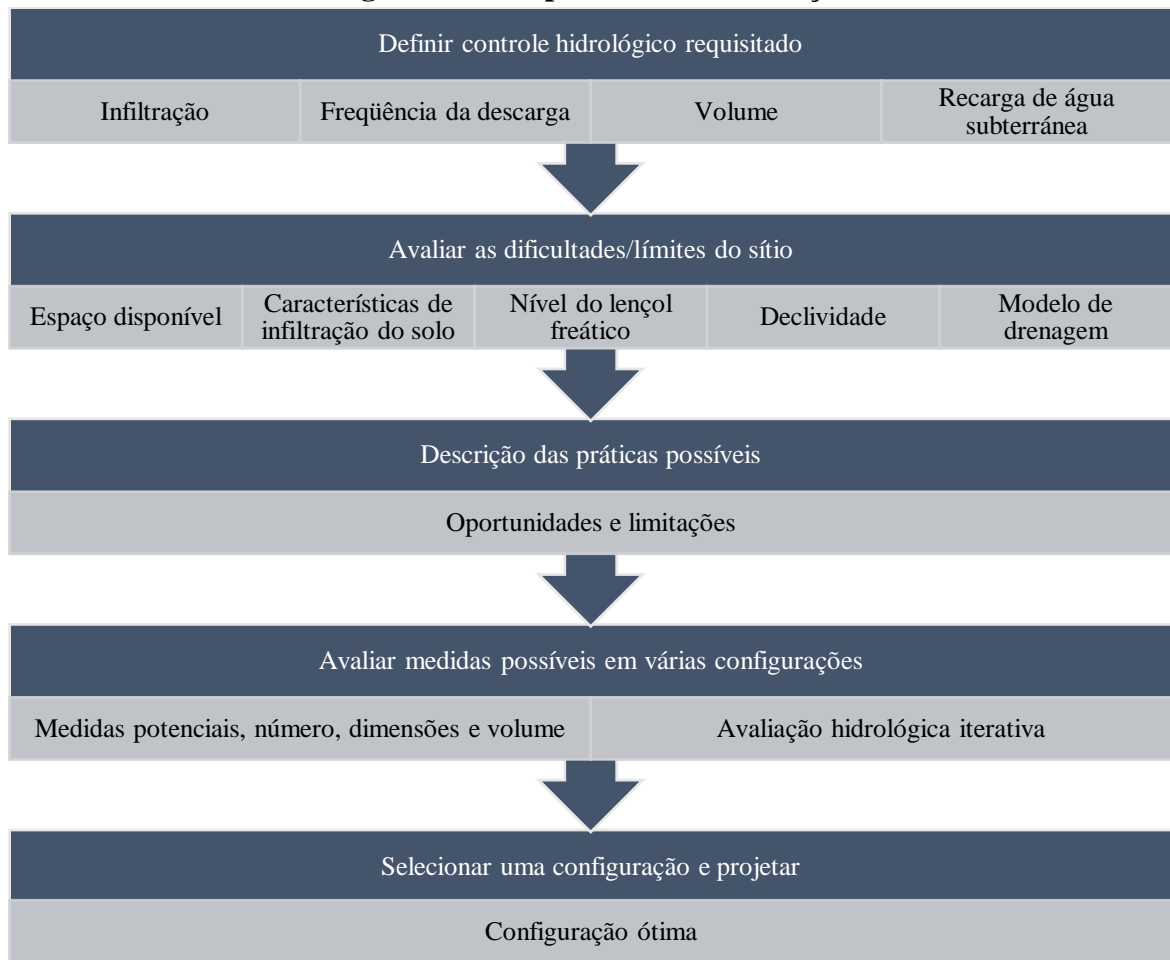
- Físicos: Estudos e dados topográficos, geológicos, hidrogeológicos, climatológicos e pedológicos.
- Urbanísticos: Uso e ocupação do solo, e potencial de integração da bacia ao espaço urbano.
- Econômicos: Custos de investimento, manutenção e operação em comparação às soluções clássicas de drenagem.
- Ambientais: Potencial da bacia para mitigar impactos ambientais e favorecer o desenvolvimento da flora e fauna no contexto urbano.

Primeiramente se estabelece um elenco de alternativas potenciais eliminando os locais que apresentam as maiores dificuldades. Mediante uma análise mais detalhada é feita a escolha da solução que melhor atenda os objetivos.

Projeto executivo: Quando a bacia de retenção é escolhida se realiza um manual de projeto, construção e operação, com dados de projeto, recomendações construtivas e instruções para a manutenção e operação da bacia.

De forma sucinta o Plano de Drenagem Urbana Ambientalmente Sustentável de São Carlos (PDDUAS), descreve a metodologia utilizada para o estudo, análise e escolha de uma proposta de bacias de retenção para o controle de cheias, o qual é apresentado na Figura 17.

Figura 17 – Etapas de estudo e seleção de BD



Fonte: PDDUAS (2013)

2.5.3 Manutenção e Operação

Considerando as BD como estruturas de grandes dimensões, indicadas para áreas de drenagem maiores do que 5 hectares, é necessário uma manutenção contínua, devido à possibilidade de obstrução da estrutura de saída por matéria sólida, o que levaria ao mau funcionamento dela, além da possibilidade de presença de mosquitos pelo acúmulo de água.

Quanto ao fator da proliferação de mosquitos, é importante ter um plano para a sua prevenção na operação e manutenção das bacias, tendo em conta que fatores como a localização e a área no contorno da técnica vão influenciar na proliferação de mosquitos se houver estagnação de água (METZGER, 2004).

Segundo Baptista, Nascimento e Barraud (2015) as atividades de manutenção para as bacias de retenção dividem-se em dois tipos (preventiva e corretiva), as quais dependem do tipo de bacia e do contexto de sua implantação:

Manutenção preventiva: Considerando que normalmente não são feitos estudos de ruptura para as dimensões das barragens das BD, devido a que o volume de água armazenado não representa maior risco para estes, o monitoramento do dique da barragem considera-se uma

atividade preventiva em casos de barragem de terra, levando em conta que a BD está inserida dentro de uma zona urbana que pode sofrer as consequências de uma ruptura.

Outra ação preventiva corresponde à retirada dos resíduos sólidos que obstruem as estruturas hidráulicas. Esta atividade deve ser feita com elevada frequência, principalmente após um evento pluvial com escoamento superficial significativo. A falta desta intervenção pode alterar o esvaziamento da estrutura ou até afetar a integridade física do barramento.

Para o caso das estruturas de pré-tratamento como as grades, caixas de areia, e decantadores, igualmente devem-se remover os resíduos sólidos, sedimentos, óleos e graxas por elas retidos. A frequência desta atividade pode ser estabelecida a partir da observação do seu funcionamento, no caso de baixa carga de poluentes a limpeza deve ser de duas a quatro vezes por ano. As grades em particular devem ser limpas a cada episódio de precipitação.

A educação da população circunvizinha funciona como atividade preventiva, com informações sobre os problemas do lançamento dos resíduos sólidos nas ruas e nos corpos de água, igualmente a instalação de cestos de lixo e placas informativas ajudam a preservação da qualidade ambiental.

Manutenção corretiva: Este tipo de manutenção é feita principalmente quando não existe um controle e prevenção na bacia de detenção. Ações como eliminar a vegetação excessiva e indesejável, o desassoreamento da bacia ou eliminar a contaminação gerada.

2.5.4 Custos

Algumas obras como no caso dos populares “piscinões” na cidade de São Paulo representam um alto custo de implantação, porém, elas trazem benefícios quanto aos aspectos sanitários, sociais e econômicos para a cidade, que justificam o investimento realizado neste tipo de obras (ALMEIDA, 2014).

No Quadro 4 são mostrados alguns custos do ano 2007 para diferentes tipos de BD com diferentes revestimentos e disposições.

Quadro 4 - Custos de implantação, operação e manutenção de BD

Tipo de Bacia	Custos		
	Implantação [R\$/m ³]	Operação e Manutenção [R\$/ano]	
		Retirada de resíduos	Reconstituição
Abertas gramadas	51,46/m ³	312,44/ha	20,66/ m ³
Abertas em concreto	63,52/m ³	312,44/ha	19,88/ m ³
Enterradas	212,94/m ³	294,84/ha	34,41/ m ³
Aberta de infiltração	40,94/m ³	-	20,44/ m ³

Fonte: NUCASE (2007)

Notas: (-) Dado indisponível

No Quadro 4 observa-se o menor custo de implantação das bacias abertas em comparação com as bacias enterradas. Segundo Tucci (2005), as bacias abertas geralmente possuem menor custo e maior facilidade para a manutenção, o custo das bacias enterradas pode chegar até 7 vezes o valor das abertas e apresentam maior dificuldade de manutenção, porém, elas são uma solução quando precisar da utilização do espaço superior ou existe rejeição da população com receio das condições sanitárias.

O mesmo autor ressalva que as bacias com revestimento em concreto são mais caras, mas permitem paredes verticais, com aumento do volume de armazenamento, isto é útil quando o espaço é limitado e o custo dele é alto; Além disso, no caso de bacias *on-line* quando existe mistura clandestina da rede de esgoto com a de água pluvial os reservatórios em concreto são mais úteis pelo fato de facilitar a limpeza dos resíduos.

Segundo Baptista, Nascimento e Barraud (2015), as BD podem apresentar custos significativos, uma vez que podem controlar grandes áreas de drenagem. Estes custos podem ser devido a implantação, manutenção e operação os quais são variáveis dependendo do tipo de bacia, suas dimensões e os materiais usados. No Quadro 5 é apresentada outra estimativa de alguns custos para diferentes tipos de bacias para as condições brasileiras, com respeito a preços do ano 2003.

Quadro 5 - Custos de implantação, reconstituição e operação de bacias de detenção

Tipo de Bacia	Custos		
	Implantação [R\$]	Operação e Manutenção [R\$/ano]	
		Retirada de resíduos	Reconstituição
Abertas gramadas	28,91/m ³	190/ha	12,56/m ³
Abertas em concreto	35,69/m ³	190/ha	12,09/m ³
Enterradas em concreto	119,63/m ³	190/ha	22,17/m ³
Infiltração	23/m ³	-	10,67/m ³

Fonte: Moura (2004)

Notas: (-) Dado indisponível

Observa-se no Quadro 5 a similaridade entre os custos de implantação entre os diferentes tipos de BD comparado com o Quadro 4, onde a BD para infiltração continua sendo a de menor custo e a BD enterrada é a de maior custo.

A pesquisa feita por Peroni (2018) apresenta os custos de implantação por volume, para quatro casos de bacias de detenção abertas e gramadas localizadas na cidade de Araraquara (SP) que foram objeto de caracterização na pesquisa. O Quadro 6 mostra estes custos.

Conforme apresentado no Quadro 6 em média o custo de implantação por volume para uma bacia de detenção aberta gramada está na ordem de 23,76 (R\$/m³), que é similar ao custo para este tipo de bacia de detenção apresentados nos Quadros 4 e 5.

Quadro 6 – Custos de implantação de bacias de detenção abertas gramadas

BD	Custo de implantação [R\$/m ³]
1	21,44
2	24,69
3	25,88
4	23,04

Fonte: Peroni (2018)

2.5.5 Inserção Urbana das Bacias de Detenção

As primeiras experiências no emprego de BD a partir dos anos 1990 no Brasil, centraram-se principalmente com o objetivo de amortecimento de cheias, porém, atualmente são realizados esforços para a integração delas com o projeto urbanístico, principalmente em novos desenvolvimentos urbanos. Esta integração consiste em utilizar a BD de forma múltipla tanto para amortecimento de cheias como para implantação de áreas verdes, criação de espaços de lazer, implantação de áreas para a prática de esportes e valorização da presença de água (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2015).

De acordo com Osti (2017), em estudo feito em BD implantadas no norte de Itália, estas foram identificadas como medidas eficientes no controle de inundações nas zonas a jusante, porém, estes projetos em grande escala na drenagem urbana ainda representam parcialmente uma continuidade do sistema clássico para o manejo de águas pluviais. O que pode diferenciar esta técnica é seu incentivo pela integração de outros aspectos como o social e ecológico, uma vez que elas possuem um uso multifuncional do espaço ocupado para atividades de lazer, onde a comunidade pode valorizar o espaço ocupado por esta obra de drenagem.

Quando a BD é somente usada para o controle de inundações pode acontecer uma falta de manutenção continuada o que levaria a tornarem-se em terrenos abandonados utilizados para lançamento de resíduos sólidos e onde proliferam vetores transmissores de doenças. Isto pode ser evitado ao usar a BD para outras atividades em períodos sem precipitação.

Um outro aspecto que deve ser considerado no momento da implantação da BD está relacionado a retenção da água dentro da bacia durante o evento de chuva, que pode afetar a aceitação desta técnica por parte da população. Segundo a pesquisa feita por Corrêa *et al.* (2011), a possibilidade para a procriação de *A. aegypti* ao manter uma lâmina d'água seria de dois dias para a ovo posição, porém, é preciso de mais de sete dias para que ocorra um ciclo completo de vida. Algumas condições de chuvas podem gerar uma probabilidade de alcançar a idade adulta do *A. aegypti*, mas essa ocorrência pode ser muito baixa.

Deve-se restringir a vazão de saída, porém também é importante projetar a BD para uma evacuação da água em um tempo adequado para evitar a proliferação de vetores transmissores de doenças que possam afetar a saúde da população no entorno e gerar rejeição pela implantação desta técnica no meio urbano.

Nascimento, Baptista e Sperling (1999a), apresentam o importante papel da BD no contexto urbano, podendo valorizar as condições paisagísticas do espaço, criando oportunidades de lazer além de sua função para amortecimento de cheias. Porém, é ainda necessário ter um enfoque ampliado no emprego das BD, visando a solução aos problemas de poluição, assoreamento, e melhoria da qualidade dos corpos d'água, e não somente dando uso com finalidade de amortecimento.

Nascimento *et al.* (1999b) mencionam dois casos de implantação de BD. O primeiro no distrito metropolitano de Paris, onde foram implantadas 19 BD inicialmente com a função de controle hidrológico, porém, a experiência adquirida, motivo ao uso delas como espaços de lazer e parques integrando-as no espaço urbano. Posteriormente buscou-se o uso delas para o controle da qualidade de água. O segundo caso mencionado é no Reino Unido onde a legislação obriga a manter a vazão pico em valores iguais aos de pré-urbanização, onde como objetivo secundário é incentivado o funcionamento para a melhoria ambiental.

Um caso conhecido no Brasil é do reservatório da Pampulha, em Belo Horizonte, o qual foi inicialmente projetado para funções como abastecimento de água, controle de inundações, prática de esportes aquáticos e a composição do projeto urbanístico. Porém, pela progressiva urbanização, ausência de políticas e de ações de controle como a coleta de resíduos sólidos ou interconexão clandestina entre redes pluvial e de esgoto, levaram a uma alta carga de poluentes o que deixou a bacia com função somente de controle de inundações e limitou as opções de lazer (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2015).

No momento de projetar a inserção da bacia como reserva ecológica é importante considerar os choques de poluição pelo armazenamento de águas pluviais poluídas e sua dificuldade na manutenção, pelo que seria melhor pensar na inserção da bacia em zonas pouco densas podendo-se ajudar no controle da poluição de outras formas como o uso de zonas úmidas a montante para reter as maiores cargas poluentes (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2015).

Segundo Piel, Perez e Maytraud (1999) as instalações de armazenamento temporário de água quando implantadas com multi-propósito em áreas abertas densamente ocupadas trazem benefícios como a criação de um espaço ambientalmente amigável gerando uma consciência na população sobre os possíveis impactos dos eventos de precipitação e o uso de áreas abertas para

o controle destes. O conhecimento adquirido pela população sobre estas técnicas possibilita uma maior apropriação e menor rejeição na implantação delas.

Segundo (LEE; LI, 2009), quando as BD tem uma função de multi-propósito como zonas para lazer, esta gera um impacto positivo no valor da propriedade residencial localizada no entorno dela, caso contrário acontece com as BD com único uso de controle de cheias onde inclusive o valor da propriedade residencial com vista para a BD pode diminuir, por fatores que geram impactos visuais negativos, como a falta de manutenção.

2.5.6 Estudos Realizados sobre BD Implantadas

Um estudo de Almeida (2014), avaliou a implantação de técnicas compensatórias em duas áreas de estudo: a área de estudo I compõe-se de técnicas compensatórias (filtro-vala-trincheira, poço de infiltração, bacia de retenção, plano de retenção e canal em grama) implantadas no campus UFSCar. A área de estudo II foi um poço de infiltração implantado no Condomínio Residencial Montreal.

O estudo concluiu que existe uma boa aceitação das técnicas por parte da comunidade nas duas áreas de estudo, além de verificar que a implantação da técnica não depende exclusivamente da legislação podendo ser implantada pelos seus diversos benefícios. Além disso os resultados indicaram que para as duas áreas foi considerado relevante a disposição de práticas sustentáveis na aquisição de um imóvel.

Também como resultado foi verificado que os profissionais de engenharia ou arquitetura não contribuíram de forma eficiente para a divulgação das técnicas na comunidade e por isto há necessidade de informar aos profissionais e incentivar ao poder público para financiar e implantar técnicas compensatórias. Também nas duas áreas de estudo os consultados não tinham conhecimento sobre o processo de manutenção, mas estavam satisfeitos com o estado atual das técnicas e desejavam aprender o procedimento de manutenção.

A mesma autora em visitas feitas, verificou situações preocupantes com respeito à implantação de BD em loteamentos no município de São Carlos (SP):

- Bacias sem integração urbanística as quais foram dispostas no ponto mais baixo do terreno isoladas por cercas sem explorar a possibilidade de aproveitamento da água como elemento paisagístico.
- Falta de manutenção das bacias as quais estavam “tomadas pelo mato”, gerando um mal funcionamento da estrutura e risco sanitário para a comunidade.

Outro estudo elaborado pela ASCE (1985) mostrado na Tabela 1 apresenta a percentagem de respostas positivas a um questionário sobre questões relativas às estruturas de armazenamento feito a 65 profissionais envolvidos no assunto.

Tabela 1 - Respostas ao questionário sobre estruturas de armazenamento (%)

Questões	Consultores	Governo	Acadêmicos	Não identificados
Porcentagem de participação na pesquisa	45	37	8	10
Projetou ou analisou um reservatório de armazenamento	93	72	75	100
Considerou uma faixa variável de escoamento nos projetos elaborados	58	59	33	100
Considerou a qualidade da água nos projetos	75	47	67	80
Considera os reservatórios importantes para o gerenciamento do escoamento superficial	100	100	100	100
Revisou ou inspecionou algum reservatório	89	88	50	100
Consideram os reservatórios eficientes na redução do pico do escoamento superficial	84	95	100	75
Consideram que os reservatórios melhoram qualidade da água	80	76	100	100

Fonte: ASCE (1985)

Segundo a ASCE (1985) algumas conclusões da pesquisa anterior podem-se resumir como as seguintes:

- Estabelecer as funções das estruturas de saída são uma das etapas mais importantes do projeto, porém existem inconsistências entre os profissionais na determinação do controle de vazão.
- A manutenção e estética foram considerados de pouca importância à exceção dos órgãos governamentais sendo eles os responsáveis por esta atividade.
- É importante a consideração da melhoria na qualidade da água, porém os órgãos governamentais consideram insatisfatórios os reservatórios a respeito dessa função.

Outro estudo feito na pesquisa de Peroni (2018), fez uma avaliação das BD implantadas na cidade de Araraquara (SP), quanto ao desempenho e a inserção urbana, utilizando as variáveis apresentadas no Quadro 7.

Quadro 7 – Variáveis para a avaliação de BD implantadas

Variável	Descrição
Posição relativa ao Condomínio/ loteamento	Indica a posição da bacia de detenção em relação ao condomínio/loteamento a que estão interligadas, sendo classificadas em “dentro” ou “fora”, conforme sua localização quanto aos limites físicos do empreendimento (em geral concretizado na forma de muro ou cerca).
Visibilidade	Indica se as bacias podem ser visualizadas a partir do nível do solo por pessoas presentes no seu entorno, sendo essa visibilidade classificada em “alta”, “média” e “baixa”.
Isolamento	Indica se existem estruturas que permitam ou impeçam a entrada e o acesso às bacias, sendo classificadas em “totalmente aberta”, “parcialmente aberta” ou “totalmente fechada”.
Conservação	Trata sobre o estado de conservação das bacias de detenção e de seus dispositivos de entrada e saída d’água, com vista a analisar a presença de resíduos sólidos, lâmina d’água, presença de animais e vetores e vegetação alta; aspectos que indicam a ausência ou não de manutenção. Nesse critério as bacias são classificadas em “adequada” (não foram observados a presença de nenhum dos aspectos citados), “parcialmente adequada” (observados até dois aspectos) ou “inadequada” (observados mais de 2 aspectos).
Uso Observado	Indica se os SBD ou as BD estão apresentando usos adicionais ao amortecimento de cheias. Esse critério classifica as unidades em “somente hidrológica” ou “outro uso”.
Nível d’Água	Retrata, a partir da observação visual durante o evento de precipitação, o nível d’água no SBD e na BD, a fim de identificar se ocorre o enchimento da unidade e se o nível de segurança é atingido ou mesmo excedido, com ocorrência de extravasamento no entorno.
Esvaziamento	Retrata, a partir da observação visual e após o evento de precipitação, se ocorre o esvaziamento completo da água no interior do SBD e da BD, dentro do tempo recomendado de até 24 horas após a ocorrência da precipitação.
Dimensionamento	Indica qual a metodologia de cálculo adotada para o dimensionamento das BD, bem como os critérios de projeto utilizados, a partir da análise dos projetos de engenharia das referidas unidades.
Dispositivos de entrada e saída d’água	Com essa variável busca-se caracterizar a forma como foram projetadas e implantadas as estruturas de entrada e saída d’água no interior das unidades (localização; dispositivos empregados; ocorrência de erosões e assoreamento).
Dispositivo de lançamento final	Com essa variável busca-se caracterizar a forma como foi projetado e como vem sendo realizado o lançamento final no curso d’água (proximidade e localização em relação ao curso d’água; dispositivos empregados; ocorrência de erosões e assoreamento).
Construção	Essa variável indica práticas realizadas na fase de implantação das unidades de detenção, buscando demonstrar as dificuldades dessa obra. Estes dados foram obtidos a partir da aplicação de entrevistas com construtoras, ainda em fase de obras.
Operação / Manutenção (O&M)	Essa variável retrata recomendações e práticas de operação e manutenção dos SBD e das BD, observadas a partir da análise dos projetos de engenharia e da aplicação de entrevistas com os responsáveis pela operação e manutenção das unidades implantadas.
Custos de Implantação, Operação e Manutenção	Essa variável representa os custos envolvidos com a implantação, operação e manutenção das unidades de detenção, nas fases de obra e pós-implantação. Estes valores foram obtidos a partir da análise de algumas planilhas orçamentárias e da aplicação de entrevistas com os responsáveis pela conservação das unidades já implantadas.
Integração Urbana	Essa variável retrata, em nível de projeto de engenharia, se houveram iniciativas para favorecer a integração dos SBD das BD com seu entorno, assim como proposições de usos múltiplos para as mesmas. Estes dados foram obtidos a partir da análise dos projetos e aplicação de questionários com o poder público municipal e com técnicos de construtoras que estivessem implantando as referidas unidades no período de realização da presente pesquisa.

Fonte: Peroni (2018)

Por meio da aplicação das variáveis em Araraquara a autora identificou que a maioria das BD localizam-se perto dos córregos urbanos e distantes das residências, não estando integradas com o entorno. Também foi observado que grande parte das BD possuíam deficiência no seu estado de conservação, com características como excesso de vegetação, presença de resíduos sólidos e acumulação de sedimentos. Estas BD foram implantadas com a única função para amortecimento de cheias, não apresentando multiuso da área ocupada por elas.

Quanto às estruturas hidráulicas foi caracterizada a presença de sedimentos e água no entorno delas, com uma tendência a implantar dissipadores de energia nestas estruturas. Todas as BD estudadas nesta pesquisa visualmente apresentaram um correto esvaziamento sendo que não foi observado extravasamento nas unidades no momento da precipitação.

Esta pesquisa também avaliou a percepção da população sobre as BD em Araraquara (SP), com uma totalidade de 50 participantes, por meio de um questionário feito aos moradores que ficam de frente a BD, na maioria deles pertencentes a bairros de interesse social. Como conclusão geral deste questionário foi identificado que fatores como a educação da população com respeito às BD, junto com uma manutenção frequente destas unidades por parte dos órgãos responsáveis e um aproveitamento para o multiuso desta área, levam umas condições adequadas para uma ótima implantação da BD dentro de uma zona urbana.

Um outro trabalho foi desenvolvido por Vicente (2015), no qual foram analisados dois parcelamentos na cidade de Ribeirão Preto (SP), quanto ao uso e integração de técnicas compensatórias com base em parâmetros ambientais e urbanísticos. Quanto à análise urbano-espacial das técnicas compensatórias foram utilizados os parâmetros apresentados no Quadro 8.

A pesquisa, conforme a análise das técnicas compensatórias implantadas nos dois loteamentos escolhidos, identificou um avanço na drenagem pluvial ao utilizar este tipo de técnicas as quais possuem um papel fundamental para o amortecimento de cheias impedindo o dano para jusante. Porém, existe uma deficiência quanto a manutenção e conservação destas técnicas compensatórias para garantir uma eficiência e correto funcionamento delas. Também é notável a falta de integração destas técnicas com a comunidade do entorno ao não ser projetadas para o aproveitamento destas áreas além da função hidrológica.

Quadro 8 – Parâmetros para a análise urbano-espacial das técnicas compensatórias

Parâmetro	Descrição
Área de projeção total	Área total ocupada pela técnica compensatória
Uso do solo	Uso indicado em projeto e qual é a área de ocupação da técnica compensatória em relação aos parcelamentos
Propriedade	Área na qual está localizada a técnica compensatória. Pode ser pública ou privada
Gestão	Pode ser pública, privada ou mista com responsabilidade conjunta, por exemplo, entre o poder público e uma associação de moradores.
Multifuncionalidade	Funções complementares à hidrológica previstas em projeto.
Apropriação do espaço	Uso dado pela comunidade ao espaço ocupado pela técnica compensatória.
Integração à paisagem	Barreiras físicas e visuais, como cercas e muros podem ser considerados elementos negativos nesta análise, enquanto permeabilidade visual, tratamento paisagístico e conexão com áreas de circulação podem ser elementos positivos.
Condições de manutenção	Existência, ou não, de deposição de entulho, de poda da vegetação, de solo exposto, de sinais de erosão e assoreamento.
Risco sanitário	Risco de proliferação de vetores de doenças, constatado a partir da presença de pontos de estagnação de água.

Fonte: Vicente (2015)

Como conclusão (VICENTE, 2015), ressalta a importância de uma maior educação ambiental para a população quanto aos benefícios e funções das técnicas compensatórias, assim como uma abordagem integral no planejamento destas técnicas além do caráter plenamente hidrológico, onde urbanistas e gestores públicos devem participar para uma correta integração da técnica na paisagem.

2.6 Legislação Relacionada à Gestão das Águas Pluviais

Quanto a legislação, a drenagem urbana foi incluída como parte do sistema de saneamento, porém, possui algumas fragilidades devido a sua consideração de menor importância quando comparado a outros aspectos como o abastecimento de água e a coleta de resíduos. Outro fator prejudicial é a falta de continuidade nos planos a longo prazo, nos diferentes períodos de governo, fazendo com que os objetivos não possam ser atingidos em sua totalidade (MARTINS, 2012).

A seguir são apresentadas algumas legislações que abordam a drenagem urbana e sua gestão no âmbito Federal, Estadual e Municipal, principalmente as considerações para o incentivo da drenagem urbana sustentável e a implantação de técnicas compensatórias.

2.6.1 Legislação Federal

Quanto ao parcelamento do solo a Lei Federal nº 6.766 de 19/12/1979 estabelece em seu Art. 3 que o parcelamento do solo em zonas urbanas é proibido em terrenos alagadiços e propensos a inundações, sem antes exercer um controle sob as águas pluviais.

Do mesmo modo o Estatuto das Cidades estabelecido pela Lei Federal nº10.257 de 10/07/2001, estabelece obrigatória a elaboração do Plano Diretor para cidades com mais de vinte mil habitantes, o qual na definição do zoneamento caracteriza as localidades para determinado uso e impermeabilização do solo, e por meio disso será controlada a quantidade de escoamento superficial no processo de expansão urbana.

A Lei de saneamento (Lei Federal nº11.445/2007) prevê a elaboração de plano de drenagem urbana como instrumento de gestão das águas pluviais na cidade e para a aprovação de projetos. Algumas cidades no Brasil elaboraram este plano de forma integrada com outros planos da cidade como o caso de Porto Alegre, Curitiba, Caixas do Sul entre outros. Porém, considerando que para a prestação de cada serviço público é preciso ter um plano, e não existem contratos para a prestação do serviço de drenagem, os planos de drenagem urbana em muitos casos continuam sendo protelados (TUCCI, 2012).

Esta mesma Lei Federal no Art.2 estabelece no Inciso IV a “disponibilidade em todas as áreas urbanas, de serviços de drenagem e manejo de águas pluviais”. O Art.3 considera no Inciso I a drenagem e manejo de águas pluviais como “conjunto de atividades, infraestrutura 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 drenadas nas áreas urbanas”. O anterior artigo já considera a detenção como a exercida pelas BD no amortecimento de cheias, além de que expressa o interesse pela qualidade das águas pluviais.

Com respeito a cobrança pelo serviço de drenagem pluvial o Art.36 da mesma Lei considera que a mesma deve ser realizada levando em conta os percentuais de impermeabilização e a existência de dispositivos de retenção em cada lote urbano, além de considerar o nível de renda da população da área e as características do lote.

Deste modo, observa-se o aporte da Lei Federal de Saneamento para incentivar o uso de técnicas de detenção de água pluvial ao incluir as mesmas na definição de drenagem urbana e ao incentivar o uso destas unidades para diminuição dos custos de cobrança pela implantação.

2.6.2 Legislação Estadual

A Lei Estadual nº 7.663 de 30/12/1991 que estabelece a política de recursos hídricos em São Paulo, estabelece no Art. 3 a adoção da bacia hidrográfica como unidade de gerenciamento, considerando como papel fundamental para o ordenamento e a ocupação do território os elementos como córregos, escoamento, relevo, precipitações, a serem levados em conta no processo de expansão urbana.

Também esta legislação considera no Art. 8 que o Estado, junto com a União e os municípios, articularão o controle de recursos hídricos em seu território, levando em conta “o controle de cheias, a prevenção de inundações, a drenagem e a correta utilização das várzeas”. Deste modo, nota-se a preocupação e a ligação entre uma correta ocupação e parcelamento do solo como parte fundamental na prevenção de enchentes e manejo das águas pluviais.

A Lei Estadual nº 12.526 de 02/01/2007 estabelece normas para a contenção de enchentes e destinação das águas pluviais. No Art.1 dispõe:

obrigatória a implantação de sistema para a captação e retenção de águas pluviais, coletadas por telhados, coberturas, terraços e pavimentos descobertos, em lotes, edificados ou não que tenham área impermeabilizada superior a 500 m² com os seguintes objetivos:

I - Reduzir a velocidade de escoamento de águas pluviais para as bacias hidrográficas em áreas urbanas com alto coeficiente de impermeabilização do solo e dificuldade de drenagem;

II - Controlar a ocorrência de inundações, amortecer e minimizar os problemas das vazões de cheias e, conseqüentemente, a extensão dos prejuízos;

III - Contribuir para a redução do consumo e o uso adequado da água potável tratada.

As disposições do Art.1 artigo anterior, são requeridas para a obtenção das aprovações e licenças para a implantação de projetos urbanísticos. O Art. 2 da mesma lei considera para o cálculo do volume do reservatório a aplicação da seguinte equação:

$$V = 0,15 \times A_i \times IP \times t \quad (1)$$

Onde:

V= volume do reservatório em metros cúbicos;

A_i= área impermeabilizada em metros quadrados;

IP= índice pluviométrico igual a 0,06 m/h

t= tempo de duração da chuva igual a 1 (uma) hora.

O Art.3 destaca que a água contida no reservatório anteriormente mencionado deverá: “Infiltrar-se no solo, preferencialmente (Inciso I); Ser despejada na rede pública de drenagem,

após uma hora de chuva (Inciso II); Ser utilizada em finalidades não potáveis, caso as edificações tenham reservatório específico para essa finalidade (Inciso III).”

Nota-se como esta legislação já aborda medidas de controle da água pluvial para evitar as inundações por meio de reservatórios, orientando técnicas ambientalmente sustentáveis.

2.6.3 Legislação Municipal

No Município de Belo Horizonte segundo a Lei nº7.166 de 27/08/1996 “estabelece normas e condições para parcelamento, ocupação e uso do solo urbano no município” considera no Art. 50 para as edificações a possibilidade de impermeabilizar o 100% da área desde que seja construída caixa de captação e drenagem que retarde o lançamento das águas pluviais, com dimensionamento para retenção de 30 l por cada m² impermeabilizado excedente.

No caso do Município de Guarulhos o código de edificações e licenciamento urbano estabelecido pela Lei nº6.046 de 05/11/2004 quanto ao escoamento de águas pluviais considera no Art. 112 que as águas pluviais nos limites das propriedades não poderão aumentar as vazões acima das condições naturais, onde para os projetos com áreas de terreno superior a 5.000 m² deverão dispor de reservatório de detenção.

O Decreto nº18.611 de 09/04/2014, que regulamenta o controle da drenagem urbana, define segundo a prefeitura municipal de Porto Alegre no Art. 1 que “toda nova ocupação urbana deverá considerar a aplicação do conceito de desenvolvimento urbano de baixo impacto, por meio de técnicas de infiltração e reservação das águas pluviais”. O Art. 2 desta lei define a vazão de saída máxima para a rede pública de 20,8 l/(s.ha). Também se define no Art. 4 o volume para o reservatório de detenção para terrenos com áreas inferiores a 100 hectares, por meio da equação: $V=0,0425 \times A_{imp}$, onde este volume poderá ser reduzido mediante a utilização de dispositivos de infiltração como pavimentos permeáveis e trincheiras de infiltração, reduzindo assim o valor (A_{imp}) da área impermeável. Para terrenos com área superior a 100 hectares o volume de detenção deve ser calculado por meio de estudo hidrológico, para precipitação de projeto com tempo de retorno de 10 anos.

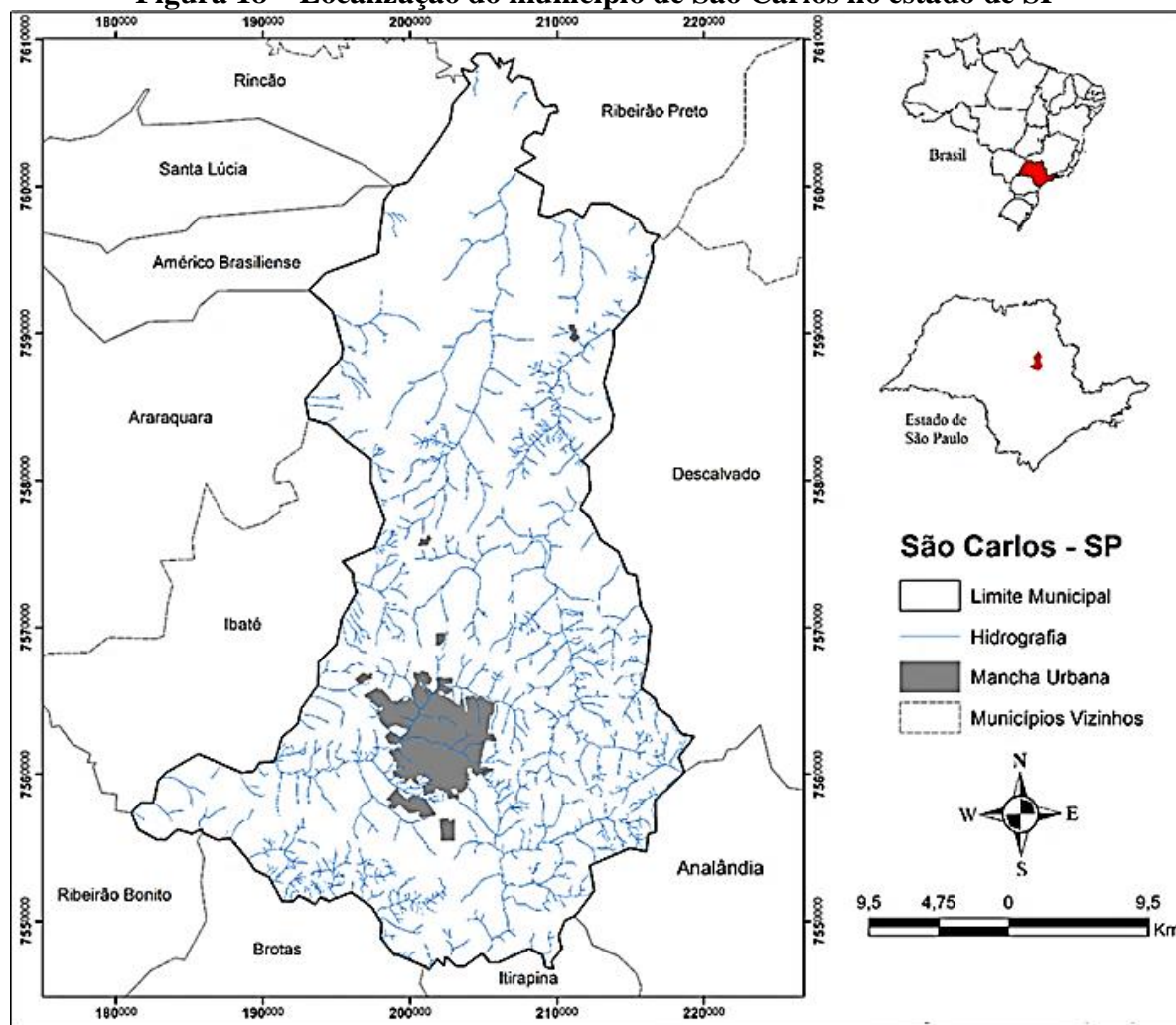
Conclui-se a revisão da literatura como base conceitual para o desenvolvimento da pesquisa a respeito das causas e consequências do aumento das inundações urbanas e qual é a abordagem desta problemática por meio da gestão da drenagem urbana, principalmente respeito ao manejo de águas pluviais de forma sustentável, com a implantação de medidas estruturais como é o caso da bacia de detenção.

3 ÁREA DE ESTUDO

3.1 Caracterização do Município de São Carlos

O município de São Carlos, localizado no centro geográfico do Estado de São Paulo (Figura 18), entre paralelos 22°00' e 22°30' S e 47°30' e 48°00' W, a aproximadamente 230 Km a noroeste da capital. Possui temperatura média anual de 19,6 °C, com precipitação média anual de 1512 mm, uma população estimada para 2018 de 238.834 habitantes, com uma densidade demográfica de 210,07 hab/Km², uma área total de 1.136,907 Km² e uma área urbana de 67,25 Km² (IBGE e SEADE, 2018).

Figura 18 – Localização do município de São Carlos no estado de SP

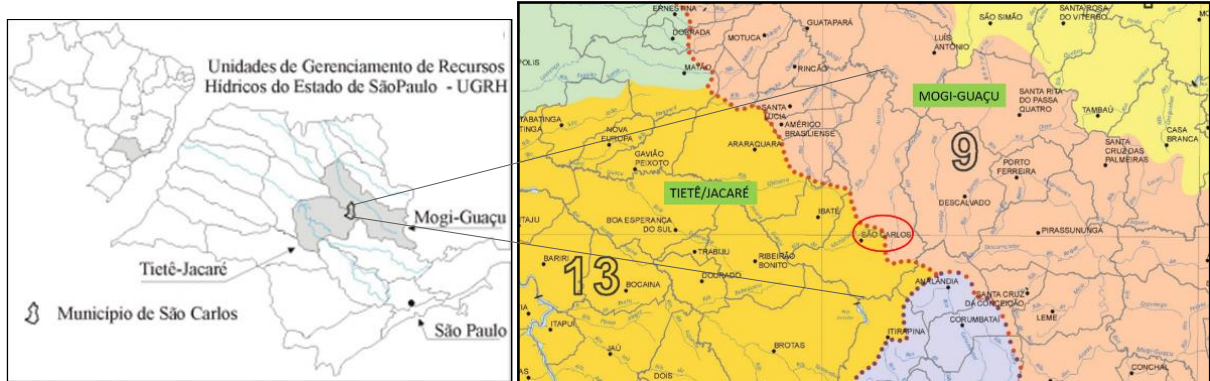


Fonte: Trevisan; Moschini e Mello (2017)

São Carlos encontra-se localizado dentro de duas Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) do Estado de São Paulo (MOGI-GUAÇU e TIETÊ/JACARÉ), como apresentado na Figura 19, porém, a mancha urbana encontra-se quase a totalidade dentro dos limites da Unidade TIETÊ/JACARÉ. O clima de São Carlos se ajusta adequadamente à classe Cwa, segundo a classificação climática de Köppen, o que indica um

clima tropical com chuvas de verão. Do ponto de vista do balanço hídrico, há uma nítida distinção entre a estação seca (Abril a Setembro), com consequente deficiência hídrica e, a chuvosa (Outubro a Maio) (CEPAGRI, 2018).

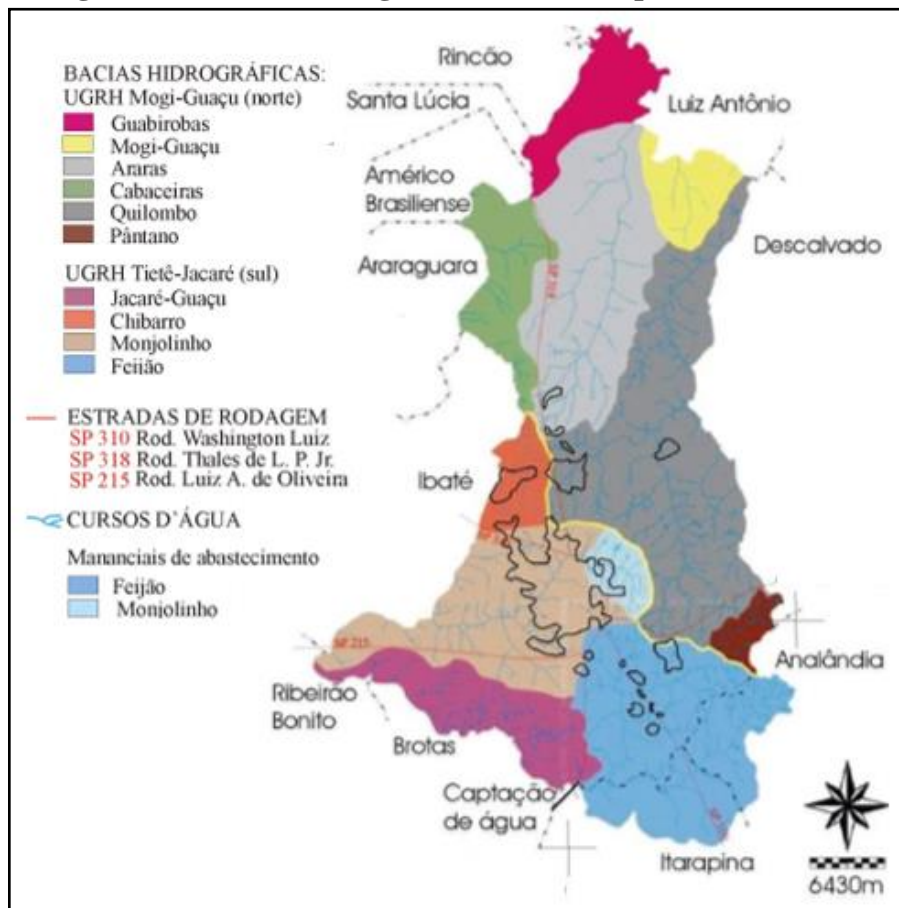
Figura 19 - Localização do município de São Carlos dentro das UGRHI



Fonte: IGC (2014)

O Município de São Carlos está conformado pelas bacias hidrográficas apresentadas na Figura 20, sendo a mais importante neste estudo a bacia do Monjolinho onde está estabelecido a maior parte do perímetro urbano. Igualmente, a bacia do Monjolinho e a bacia do Feijão são as que servem como os principais mananciais para abastecimento público do município.

Figura 20 - Bacias hidrográficas do Município de São Carlos

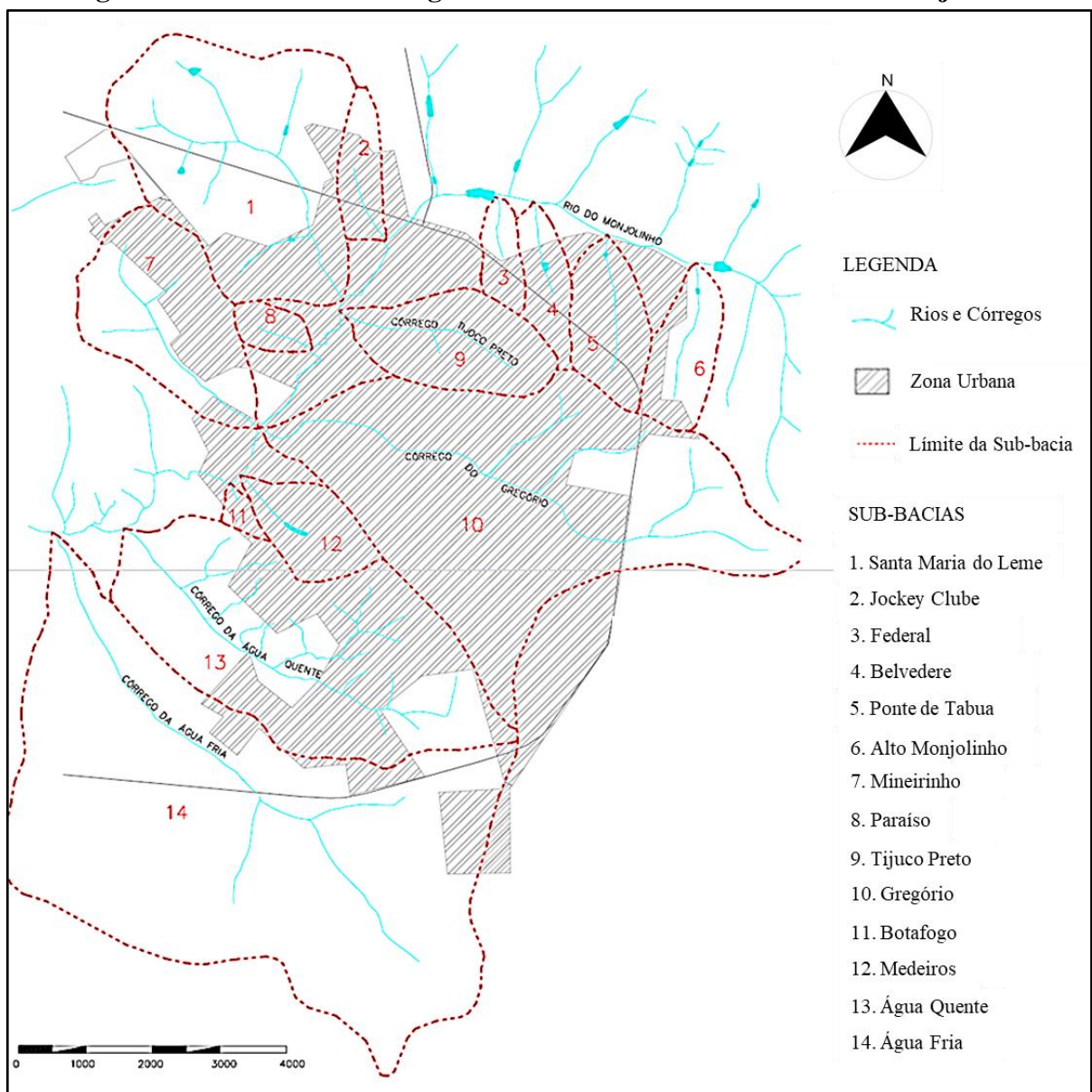


Fonte: Neves *et al.* (2015)

A bacia hidrográfica do Monjolinho está dividida em sub-bacias hidrográficas (Figura 21), a região superior desta bacia segundo Lorandi *et al.* (2001) caracteriza-se por uma cobertura original formada por um subtipo de floresta mesófila semidecídua, a qual encontra-se totalmente erradicada, tendo algumas áreas remanescentes.

Geomorfologicamente nessa região situa-se a Planalto residual de São Carlos, que compõe a Unidade Morfoestrutural Bacia Sedimentar do Paraná, que apresenta as formações geológicas Serra Geral e Formação Marília, a qual está constituída principalmente por arenitos, com ocorrência de siltitos, argilitos e conglomerados.

Figura 21 – Sub-bacias hidrográficas urbanas dentro da Bacia do Monjolinho

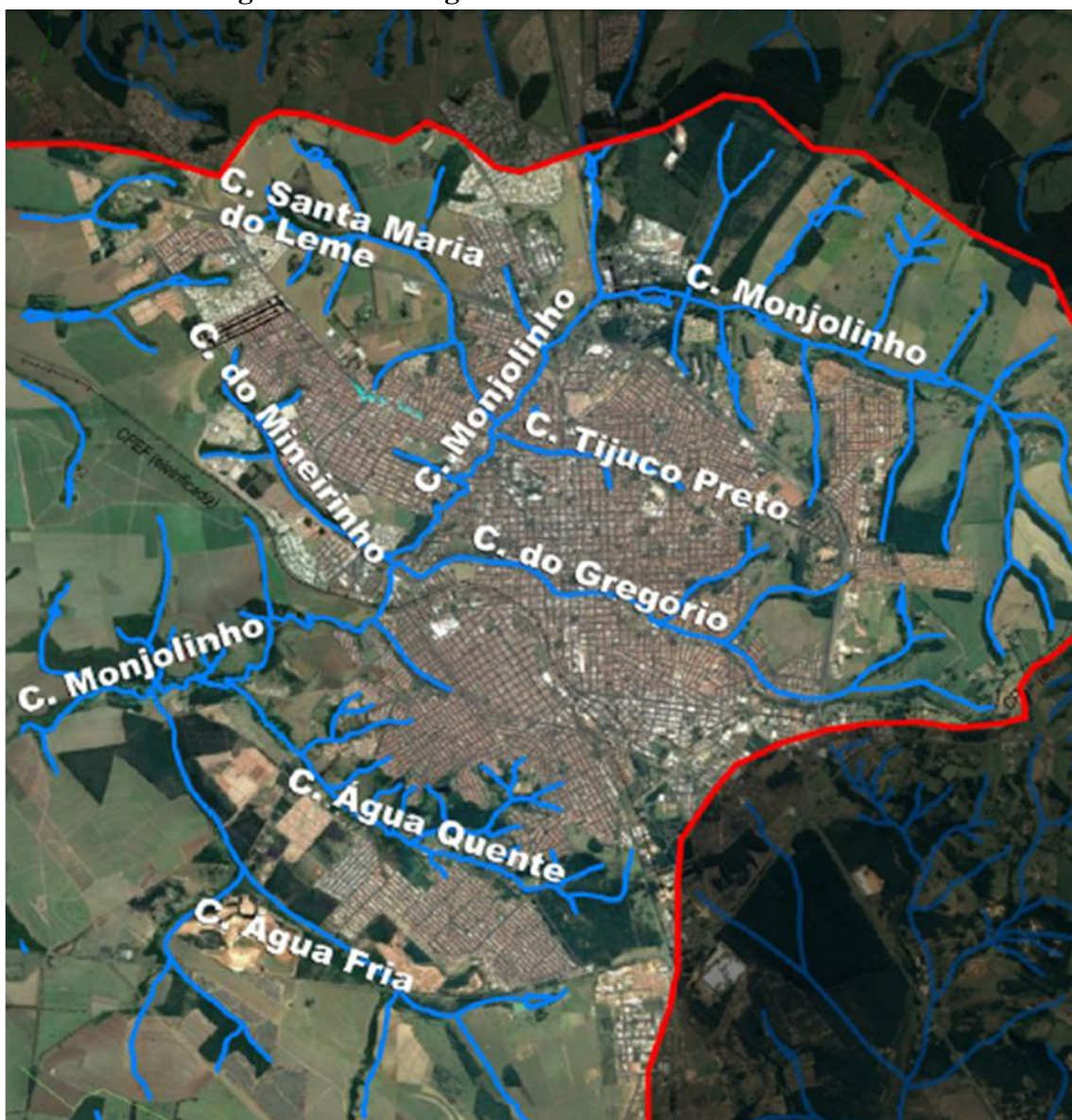


Fonte: Amorim (2004)

A hidrografia do município se caracteriza pelas nascentes, com ocorrência de cachoeiras devido ao tipo de relevo da região, o qual encontra-se entre as cotas altimétricas de 540 a 1000 m.

A rede fluvial da área urbana de São Carlos é formada pelo córrego Monjolinho e seus afluentes (Figura 22). O córrego Monjolinho recebe as contribuições dos córregos Tijuco Preto, do Gregório, Água Quente e Água Fria pela sua margem esquerda, na sua margem direita recebe as contribuições dos córregos Santa Maria do Leme e Mineirinho. A bacia do Monjolinho recebe todo o esgoto da cidade que está sendo tratado atualmente, e trata-se também de importante manancial de abastecimento (Captação do Espraiado).

Figura 22 – Córregos da área urbana de São Carlos



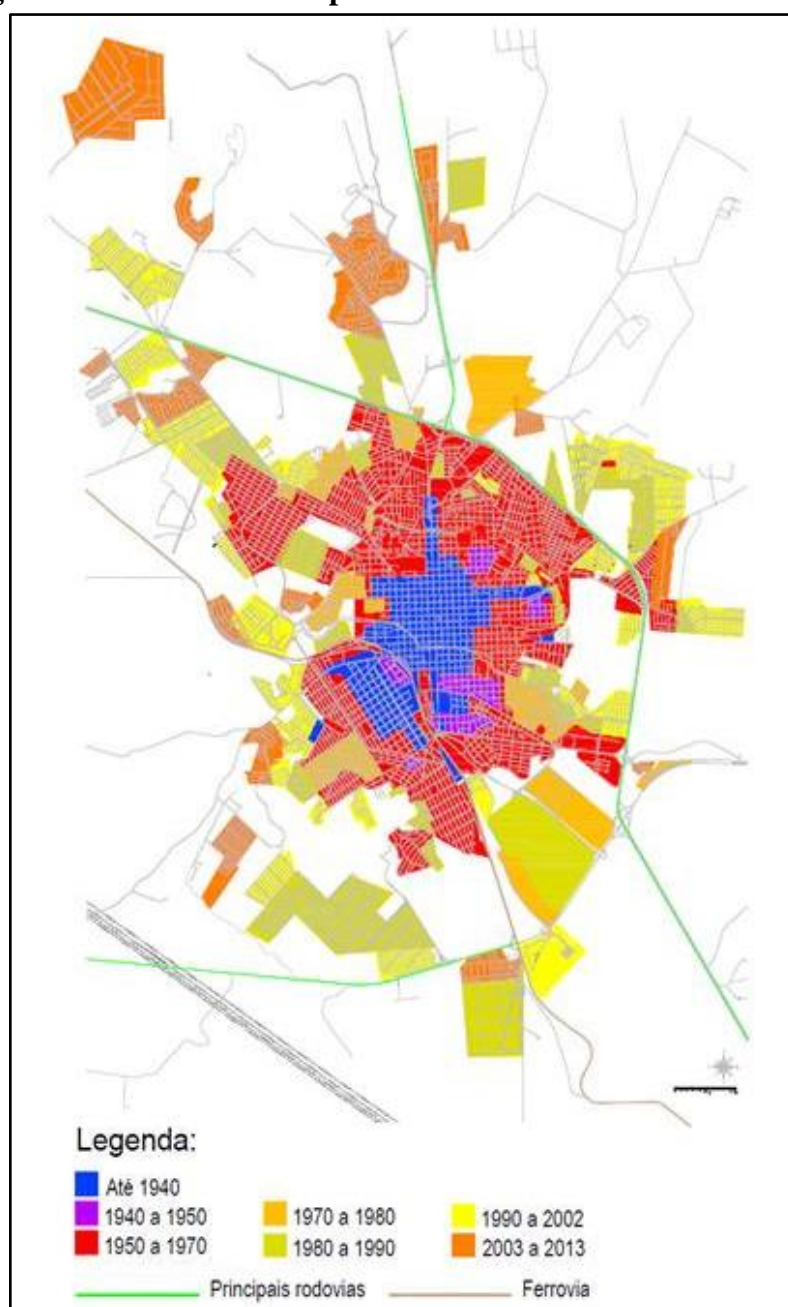
Legenda: — Bacia do Monjolinho — Córregos

Fonte: Lima e Schenk (2018)

3.2 Ocupação e Expansão da Área Urbana

Entre os anos 1970 e 2000 São Carlos caracterizou-se por um grande crescimento populacional com expansão urbana nas zonas perimetrais (Figura 23). Este crescimento identificou-se pela ocupação por população de baixa renda, nas zonas perimetrais onde existem problemáticas quanto ao solo adequado para a construção e uma infraestrutura precária como é o caso do sistema de drenagem insuficiente. Por outro lado, a população com maiores rendas ocupa as regiões mais centralizadas, com isto apresenta-se uma crescente segregação de classes sociais no meio urbano (PMSC, 2002).

Figura 23 – Processo de Expansão da Área Urbana de São Carlos



Fonte: Silva *et al.* (2015 apud PMSC, 2013)

O desenvolvimento do município de São Carlos pode-se relacionar com a forma como foram ocupadas as sub-bacias hidrográficas. A sub-bacia do Gregório representa as primeiras ocupações na zona central da cidade. Depois o desenvolvimento foi atingindo as sub-bacias de Tijuco Preto mais para o norte da cidade e a ocupação da sub-bacia Água Quente no sul da cidade principalmente por população de Baixa renda. Este espraiamento foi levado em alguns casos de forma descontínua, com a ocupação de áreas com problemas de erosão e drenagem.

Quanto as características da ocupação da sub-bacia a montante do Monjolinho de modo geral, observa-se uma conservação e proteção do manancial na margem direita do córrego com a existência da Universidade Federal de São Carlos, o Parque Ecológico e a fazenda Canchim. Por outro lado, na margem esquerda do córrego existe uma ocupação por loteamentos residenciais, sem levar em conta um planejamento com base na bacia hidrográfica, dando prioridade ao interesse do mercado imobiliário (LORANDI *et al.*, 2001). Esta zona é de grande importância pelo fato de se encontrar perto do manancial de abastecimento do Monjolinho, pelo que a expansão deve considerar essa fragilidade ambiental incentivando a proteção da cobertura vegetal.

A maioria dos córregos no momento da construção e expansão do município de São Carlos não foram considerados como elementos fundamentais para a urbanização. De forma geral, os córregos foram canalizados e impermeabilizados em suas margens para dar espaço as construções e vias. Esta abordagem, priorizando o uso do automóvel, traz consequências como aumento das inundações em casos de precipitações consideráveis, como acontece na zona do mercado municipal no centro da cidade que desde o ano 1899 já registrava transbordamento do córrego Gregório nesta área (LIMA, 2017).

Conforme pesquisa feita por Lima (2012), localizando nos jornais os eventos de precipitação que ocasionaram inundações ou alagamentos em São Carlos desde 1980 até o 2009, a Tabela 2 apresenta 10 destes eventos os quais possuem existência de dados pluviométricos, imagens de satélite meteorológico dos episódios de impactos e episódios em diferentes meses do ano.

Observa-se da Tabela 2 como uma precipitação diária de até 30 mm pode afetar o município com impactos como inundações, inclusive nos meses considerados como temporada de estiagem (maio, junho); fato que também foi verificado na mesma pesquisa no momento de comprovar que precipitações máximas em 24h com potencial para ocasionar inundações, acontecem também nos meses com menores médias mensais de precipitação.

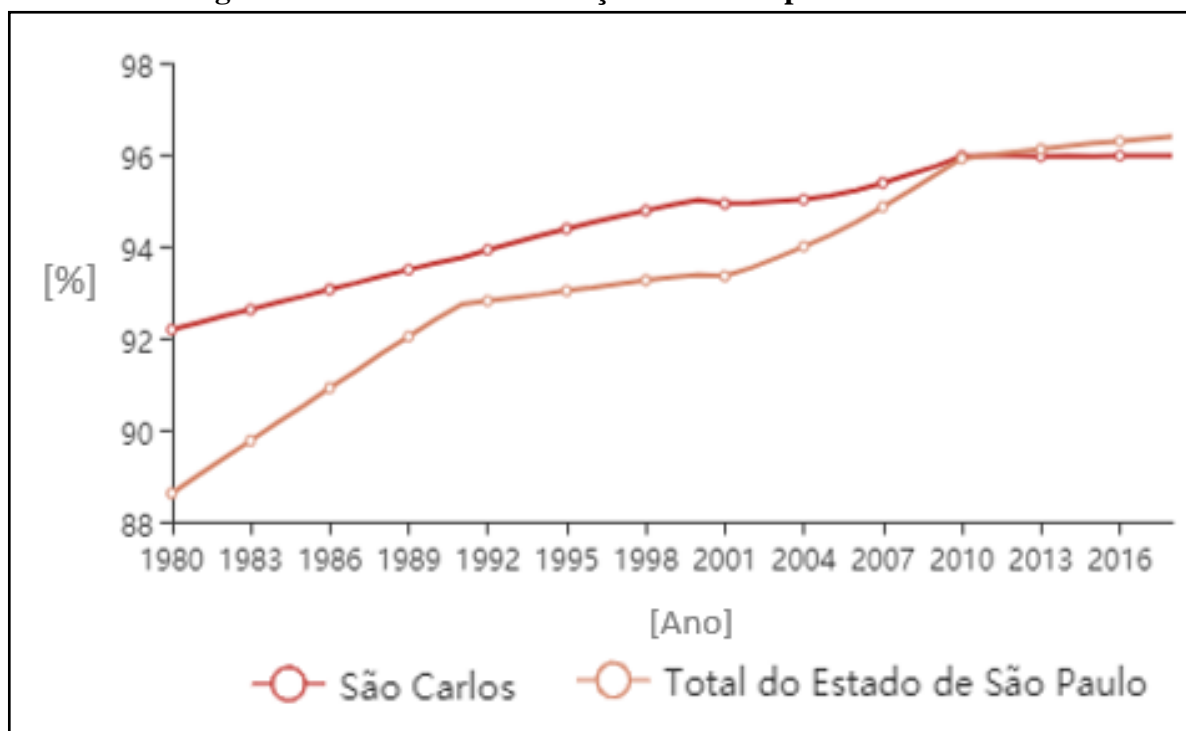
Tabela 2 – Episódios de impacto por precipitação em São Carlos

Episódio	Data dos impactos	Precipitação diária (mm)	Impacto
1	12/03/2009	39	Alagamento
2	25/10/2009	42	Alagamento
3	18/01/2007	30	Inundação
4	09/01/2002	60	Inundação
	13/01/2002	82	Inundação
5	17/09/2000	37,1	Inundação
6	05/06/1997	48,9	Inundação
7	17/05/1995	31	Inundação
8	01/01/1990	58,7	Inundação
9	10/01/1988	98,4	Inundação
10	28/01/1987	76,4	Inundação

Lima (2012)

Atualmente o grau de urbanização percentual da população urbana em relação à população total do município de São Carlos é de 96% o qual é estável desde o ano 2010 (Figura 24).

Figura 24 – Grau de urbanização do município de São Carlos



Fonte: SEADE (2018)

Mendes e Mendiondo (2007), em estudo feito na sub-bacia do Gregório no período compreendido de 1940 a 2004, verificaram que o aumento da ocupação urbana e ocupação das

várzeas desta sub-bacia tem uma relação direta com o aumento da quantidade de inundações apresentadas e a magnitude dos impactos ocasionados por estas.

Ao longo dos 30 anos desde 1980 foram aumentando o número de zonas dentro do município nas quais foram registrados impactos por inundações e alagamentos, sendo que os locais onde se apresentaram maior número de ocorrências foram o Centro/Baixada do Mercado Municipal, e a Rotatória do Cristo Redentor próximo ao Shopping Center Iguatemi (LIMA, 2012).

Buscando mitigar os impactos das inundações, principalmente na década de 1970 foram realizadas diversas canalizações do Córrego do Gregório, as quais foram feitas de forma pontual no fundo de vale como medida paliativa, para mitigar as inundações e solucionar problemas de mobilidade. Neste período não foram olhadas as medidas de prevenção, reservação de água, controle na fonte, nem a bacia como um todo, como parte do manejo das águas pluviais (MENDES; MENDIONDO, 2007).

Considerando diferentes simulações hidráulicas utilizando medidas estruturais e não estruturais, foi identificado por Decina e Brandão (2016), que, para diferentes cenários propostos para a zona do mercado municipal junto ao Córrego Gregório, acontecerão inundações, devido a ocupação do leito maior como zona natural de inundação, apesar das diferentes medidas a implantar. Por isto, a importância de acatar ações preventivas como a legislação de ocupação e parcelamento do solo, considerando o córrego parte integral do ambiente urbano, em vez de implantar medidas corretivas dispendiosas.

São Carlos possui uma porcentagem considerável de áreas para expansão urbana, porém, muitas delas localizam-se em zonas com geologia desfavorável e nas sub-bacias para o abastecimento de água. Por isto a legislação, apesar de não impedir a ocupação destas zonas, prevê formas restritivas de uso e parcelamento do solo, para evitar tanto a ocorrência de enchentes como a contaminação da água (COSTA; DUPAS; PONS, 2012).

3.3 Legislação no Município de São Carlos a respeito da Drenagem Pluvial

O Município de São Carlos apresenta, na sua legislação, tanto diretrizes específicas como orientações gerais, relativas ao manejo e gestão das águas pluviais, que são apresentados a seguir.

➤ Lei de Construção de Reservatório de Detenção/Retenção:

Especificamente a Lei nº13.246 de 27/11/2003 do Município de São Carlos “dispõe sobre a construção de um reservatório de detenção/retenção de águas nos loteamentos,

conjuntos habitacionais, áreas comerciais e industriais ou parcelamentos em áreas urbanas”. Esta lei também estabelece a construção de reservatório de retenção (geralmente poço de infiltração) na área do lote.

Alguns aspectos considerados pela legislação anterior com respeito aos reservatórios são os seguintes:

- Deverá existir um vertedor de emergência.
- Nos reservatórios cobertos, sua área superior poderá ser aproveitada por jardins, campos de esporte e outros tipos de paisagismo.
- A água da chuva contida no reservatório poderá ser usada para regar jardins, para lavagens de passeio, nas descargas sanitárias e ainda como água industrial.
- Deverão ser estudados os impactos ambientais ocasionados pela construção da técnica.
- Deverão ser apresentados estudos para a manutenção dos vertedores dos reservatórios e para os resíduos sólidos depositados.

Observa-se como esta legislação apresenta uma abordagem de drenagem sustentável no município, no momento de propor um aproveitamento da água pluvial coletada, além de incentivar o uso da área acima do reservatório coberto para estabelecer zonas de lazer.

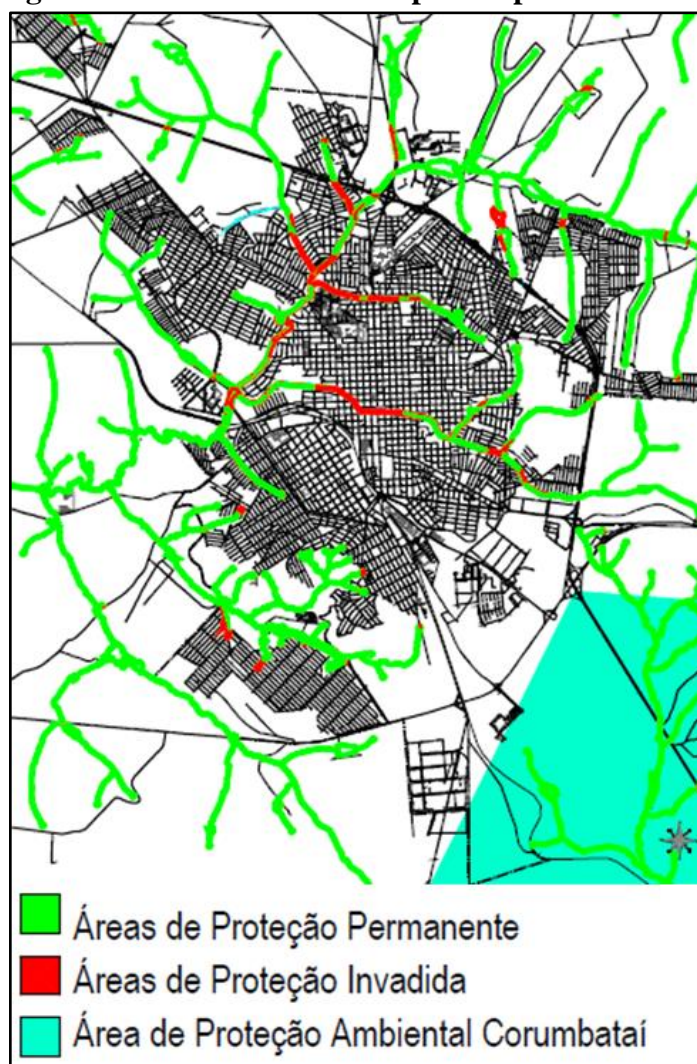
➤ **Plano Diretor Municipal:**

O Brasil teve um grande crescimento urbano entre os anos 1960 e 1980, como forma para diminuir as problemáticas decorrentes e visando um planejamento para o desenvolvimento e a expansão urbana, foram criados os Planos Diretores Municipais, os quais estabelecem diretrizes visando o equilíbrio entre as demandas do mercado imobiliário e os interesses da população.

Estes Planos Diretores tornaram-se obrigatórios para as cidades com mais de vinte mil habitantes, como é o caso do Município de São Carlos e foram posteriormente apoiados e fortalecidos em seus propósitos pelo Estatuto da Cidade (PERES; SILVA, 2013).

Com a elaboração do Plano Diretor Municipal de 2005 para São Carlos, através da Lei nº13.691 de 25/11/2005, é a primeira vez que o município aborda a problemática entre meio ambiente e a cidade, considerando dentro seus objetivos a conservação dos recursos naturais e a melhoria da qualidade de vida no espaço urbano. Este Plano Diretor também considerou a bacia hidrográfica como unidade de planejamento, e apresentou a problemática da invasão das áreas de preservação permanente (APP) nas laterais dos córregos (Figura 25), sendo isto uma das causas das enchentes.

Figura 25 – Invasões das APP pela Expansão Urbana

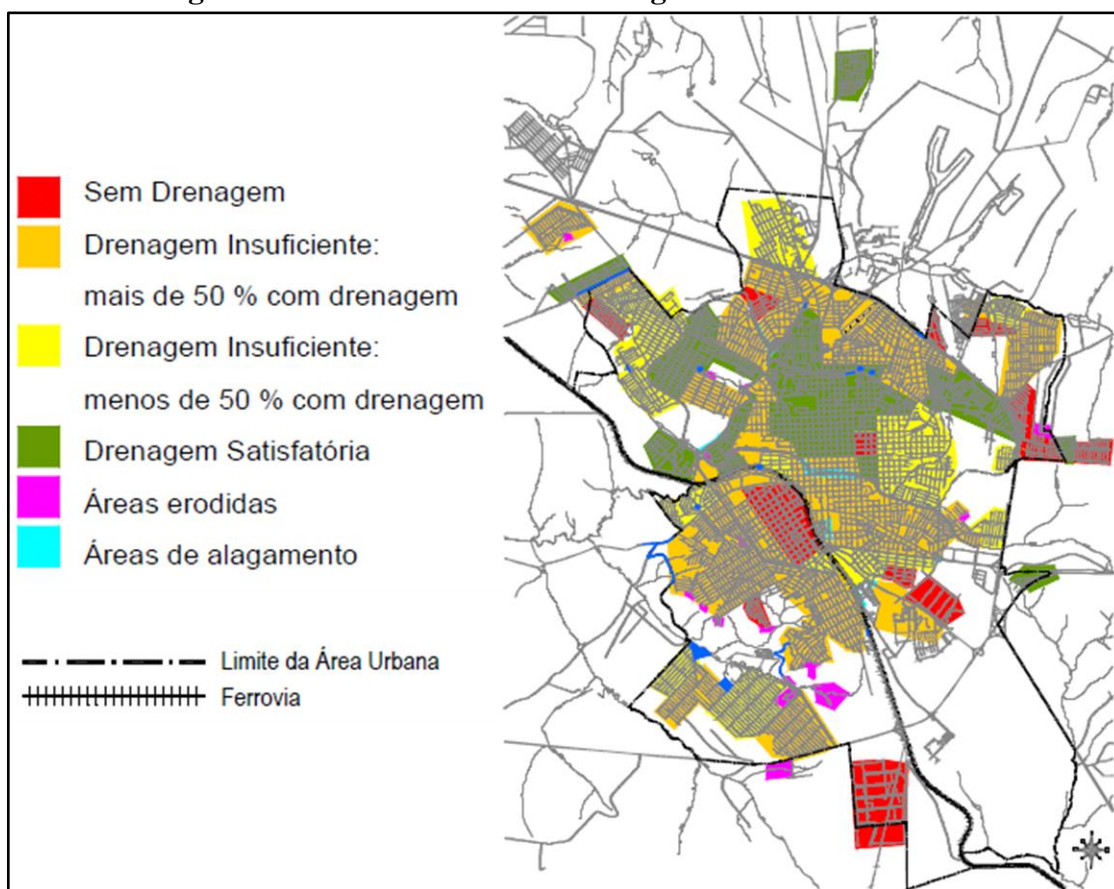


Fonte: PMSC (2002)

No município de São Carlos, por meio do Plano Diretor de 2005 se estabelece a vazão as ser controlada pela bacia de retenção segundo o Art. 103 que define as bacias de retenção como uma das estruturas dentro do projeto de drenagem a ser concebido e implantado de tal forma 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”. No mesmo contexto o Art. 101 estabelece que “parte das áreas públicas definidas como área de lazer poderá ficar localizada contigua as APP e servir como suporte para a implantação das bacias de retenção de águas pluviais”.

Pelo anterior Art. 103 mencionado, começaram a ser implantadas as bacias de detenção formalmente nos novos condomínios e loteamentos, sendo que para essa época estes empreendimentos foram implantados em zonas caracterizadas com condições de infraestrutura de drenagem pluvial apresentadas na Figura 26, na qual pode ser evidenciada a drenagem insuficiente principalmente nas zonas perimetrais para onde o vetor de expansão é direcionado.

Figura 26 – Infraestrutura de drenagem urbana São Carlos



Fonte: PMSC (2002)

Cabe mencionar que Pelissari (2016), segundo pesquisa feita na sub-bacia Santa Maria do Leme, destaca o Art. 103 do Plano Diretor (2005), pela falta de existência de regulação deste, pelo que deveram-se fixar normas de dimensionamento das medidas de controle do escoamento sugeridas ou delegar esta função a outro instrumento legal.

Com motivo de revisão e atualização do Plano Diretor Municipal de 2005, a lei n°18.053 de 19/12/2016 estabelece o Plano Diretor Municipal de 2016. Com respeito a drenagem urbana, este último Plano Diretor estabelece no Art. 73 as áreas de interesse ambiental (AIA) como porções do território as quais devem contribuir para a adequada drenagem pluvial do município, prevenindo enchentes, erosões e promovendo a recarga dos reservatórios de águas subterrâneas.

No capítulo de parcelamento do solo o Plano Diretor de 2016 no Art. 137 manteve-se as considerações em quanto a vazão a controlar pelo projeto de drenagem estabelecidas no plano diretor (2005), as quais foram mencionadas anteriormente. Como novidade este plano define o conceito das faixas verdes complementares (FVC), as quais são as faixas contíguas às APP que tem uma largura desde 10m até 50m dependendo do córrego e da área onde este localiza-se conforme as áreas estabelecidas no zoneamento municipal, e que servirão de suporte para a implantação das bacias de retenção de águas pluviais.

Segundo o Zoneamento da macrozona urbana e das zonas passíveis de expansão do anexo 03 do Plano Diretor do Município de São Carlos (2016), as BD identificadas que são objeto de estudo na presente pesquisa, localizam-se dentro de alguma das seguintes zonas descritas a seguir, com sua respectiva numeração:

- **Zona de Ocupação Induzida (2):** Esta zona está totalmente inserida entre a Rodovia Washington Luiz e a Ferrovia, caracteriza-se pela disponibilidade de infraestrutura instalada, onde localizam-se alguns vazios urbanos dispersos, passíveis de parcelamento ou edificação. Nesta zona deve-se promover o aproveitamento da terra com aumento da densidade populacional, manter as áreas verdes significativas assim como garantir a diversidade de usos e a compatibilização com o uso residencial. Para esta zona determinou-se um coeficiente de permeabilidade (CP) de 15%.
- **Zona de Ocupação condicionada (3):** Esta zona está caracterizada por um sistema viário fragmentado e com carência de infraestrutura de drenagem em algumas regiões. Os bairros próximos do centro possuem características de baixa densidade habitacional. Esta zona tem diretrizes como condicionar a ocupação de acordo com a infraestrutura e adequar e qualificar o sistema de drenagem existente. Também é necessário garantir a diversidade de usos e usar um CP de 15%.
- **Zona de Qualificação e ocupação controlada (4):** Esta zona localiza-se na região sul do município tendo como limite o divisor da sub-bacia do córrego Água Quente, caracteriza-se pela presença de bairros com moradia de baixa renda com a necessidade de melhoria na interligação viária com a malha urbana. Se estabelecem diretrizes para esta zona como melhorar as condições urbanísticas dos bairros existentes garantindo a diversidade de usos e o ambiente urbano diverso, mantendo as áreas verdes significativas. Solicita-se um CP de 15%.
- **Zona de Proteção e ocupação controlada – SUC Monjolinho-Espraiado (5A):** Esta zona é composta pelas áreas urbanas consolidadas em empreendimentos de parcelamentos de solo já aprovados pelos órgãos competentes. Os coeficientes de permeabilidade para esta zona estão definidos no Quadro 9, segundo o previsto na Lei 13.944, de 12 de dezembro de 2006.

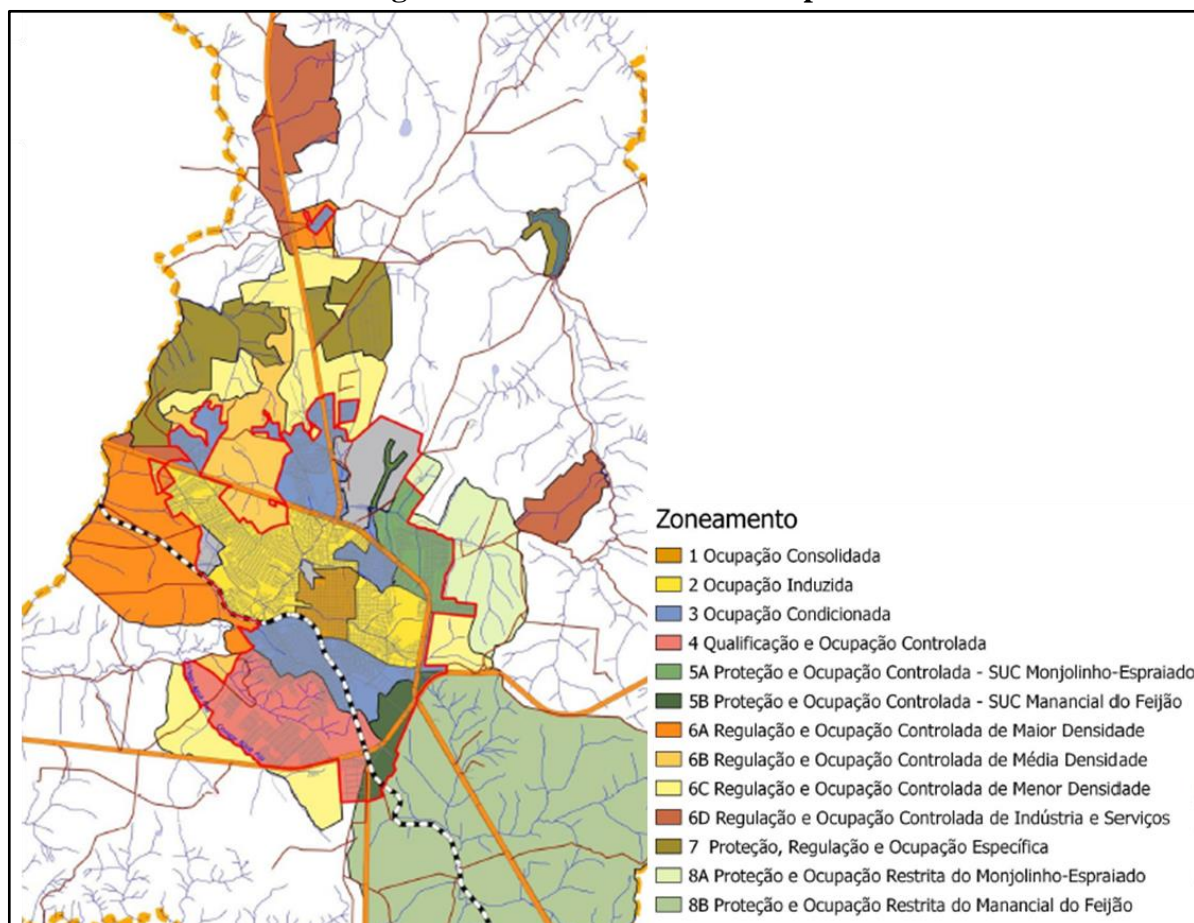
Quadro 9 – Coeficientes de permeabilidade segundo parcelamento na SUC

Coeficiente	Parcelamento na SUC			
	Lote de 125 m ²	Lote 125 – 300 m ²	Lote > 300 m ²	Novos parcelamentos
CP – Valores mínimos	15%	15% a 30%	30%	30%

- **Zona de Proteção e ocupação controlada – SUC Manancial do Feijão (5B):** Esta zona é composta pelas áreas urbanas consolidadas em empreendimentos de parcelamento do solo já aprovados e com proximidade das áreas industriais. Os CP são estabelecidos segundo o Quadro 9.
- **Zona de Regulação e ocupação controlada de média densidade (6B):** Localiza-se próxima à malha urbana consolidada, em áreas com aptidão a urbanização. Suas características físico-ambientais exigem um controle da ocupação e adensamento planejado na região da sub-bacia de Santa Maria do Leme devido ao importante papel hidrológico dela. Igualmente é necessária uma correta e controlada ocupação ao norte desta zona pela proximidade de importantes áreas com vegetação nativa remanescente. Algumas diretrizes para esta zona incluem o controle na ocupação do solo como medida para a gestão do bem público, da drenagem urbana e da conservação do meio ambiente, proteger e recuperar as APP e instituir juntos aos córregos Santa Maria do Leme e Água Quente FVC de 30 m, além das APP. Adicionalmente deve-se prever infraestrutura de drenagem capaz de suportar precipitações de 100 anos de período de retorno. Para esta zona é implementado um CP de 40%.
- **Zona de Regulação e ocupação controlada de menor densidade (6C):** Esta zona localiza-se em regiões periféricas à área urbana consolidada, em áreas que necessitam de uma urbanização controlada com baixos índices de ocupação e densidade. No caso da região ao norte e parte da área sul do perímetro urbano caracteriza-se pelos terrenos em solos arenosos, exigindo investimentos em infraestrutura de drenagem. A região das cabeceiras do córrego Gregório entre as bacias de Monjolinho e Feijão representa uma área de importante papel hidrológico, enquanto que a área ao sudeste do perímetro urbano limitada pelo Córrego Água Fria e a Rodovia SP-215 representa uma zona ambientalmente frágil. Algumas diretrizes para esta zona incluem proteger e recuperar as APP e instituir junto aos córregos Gregório e Água Fria FVC de 30 m, além das APP. Além disso deve-se prever infraestrutura de drenagem capaz de suportar precipitações de 100 anos de período de retorno. Para esta zona é implementado um CP de 20%.
- **Zona de Proteção, Regulação e Ocupação específica (7):** Esta zona se caracteriza por estar próxima a loteamentos de chácaras, pela presença de importantes áreas nativas remanescentes e APPs, e por ocuparem terrenos próximos a áreas alagadiças. Para esta zona deve-se proteger e recuperar áreas ambientalmente frágeis e de vegetação nativa e foi especificado um CP de 50%.

Na Figura 27 apresenta-se a localização e delimitação de cada uma das áreas definidas anteriormente conforme o zoneamento municipal definido no Plano Diretor Municipal de 2016.

Figura 27 – Zoneamento Municipal



Fonte: SMH DU (2016)

No caso das FVC a largura delas é descrita a seguir segundo o Plano Diretor Municipal de 2016:

- I - 50 metros: em todos os corpos d'água das Zonas 5A, 5B, 8A e 8B;
- II - 30 metros: em todos os corpos d'água das bacias do Santa Maria do Leme (Zona 6B), de Água Quente (Zona 4) e do Água Fria (Zonas 4 e 6C); nos córregos do Lazzarini e Sorregoti (Zona 2); e ainda junto ao córrego do Gregório e afluentes à montante da confluência deste com o Sorregoti;
- III – 10 metros: junto aos corpos d'água das Zonas 6A, 6B, 6C, 6D e 7.

➤ **Código de Obras:**

Segundo a Lei nº 15.958 de 29/12/2011 denominado Código de Obras do Município de São Carlos, para obter o certificado de conclusão de obras é necessário um auto de vistoria referente ao sistema de drenagem urbana, assim como uma área permeável como condição de

habitabilidade. Além disso esta mesma lei dispõe que todas as peças gráficas do projeto deverão ter uma descrição do perímetro da área permeável, junto com o detalhe do poço de infiltração.

Quanto aos sistemas de drenagem pluvial, o Código de Obras dispõe os seguintes elementos obrigatórios:

- Área permeável;
- Construção de reservatório de detenção ou retenção ligado ao sistema de drenagem, o qual deve ser calculado na razão de 5 litros para cada metro quadrado de terreno impermeabilizado (Quadro 10). Quando a área impermeabilizada seja menor do que 50% do total, não será necessário a construção do reservatório.

Quadro 10 - Dimensões para a construção de reservatórios

Dimensões da área impermeabilizada (m²)	Volume armazenado (litros)
200	1000
300	1500
400	2000
500	2500
600	3000

Fonte: Adaptado de São Carlos (2011)

As águas pluviais deverão ser encaminhadas até o reservatório de retenção no próprio lote e o excesso canalizado para as sarjetas, até o sistema de drenagem.

Em pesquisa feita por Almeida (2014), foi identificado junto à Secretaria de Habitação e Obras, que a legislação está sendo aplicada e fiscalizada até o momento da liberação do “habite-se”, porém, acontece que os responsáveis dos cuidados dos poços de infiltração muitas vezes descuidam e até desativam o dispositivo após a obtenção do habite-se.

➤ **Plano Municipal de Saneamento (PMSSanCa):**

A Prefeitura Municipal de São Carlos estabeleceu o Plano Municipal de Saneamento – São Carlos/SP – PMSSanCa em março de 2012, seguindo as estipulações da Lei Federal 11.445 de saneamento básico. O Plano aborda os sistemas de abastecimento de água, esgotamento sanitário, resíduos sólidos e drenagem urbana.

Com respeito à drenagem urbana cabe ressaltar os seguintes aspectos considerados no plano:

Problemas identificados nas bacias principais:

As principais sub-bacias urbanas de São Carlos são caracterizadas no Quadro 11.

Quadro 11 - Principais sub-bacias urbanas de São Carlos

Bacia	Área (Km ²)	Comprimento do Rio Principal (Km)
Monjolinho (Cabeceiras)	31	15,0
Santa Maria do Leme	10,9	4,6
Mineirinho	5,4	3,6
Tijuco Preto	3,5	2,9
Gregório	15,6	8,5
Água Quente	13,4	5,5
Água Fria	29,6	7,7
Medeiros	2,4	1,5
Lazarini	1,8	1,9
Sorregotti	1,6	1,8
Simeão	0,3	1,3
Paraíso	0,5	0,9
Total	116	55,2

Fonte: PMSSanCa (2012)

O PMSSanCa menciona os problemas identificados nas sub-bacias principais, de acordo com o levantamento dos pontos críticos de inundações realizado pela Secretaria Municipal de Obras Públicas (SMOP) e a Secretaria Municipal de Habitação e Desenvolvimento Urbano (SMH DU) em junho de 2005. Foram obtidos 43 pontos críticos e as principais problemáticas identificadas foram:

- Insuficiência do canal;
- Insuficiência de travessias;
- Ocupação de várzeas e áreas de risco;
- Zona de erosão;
- Instabilidade de taludes;
- Ocupação desordenada de área imprópria;
- Insuficiência ou falta de sistema de microdrenagem;
- Falta de dissipador de energia.

Diante desses problemas foram realizadas algumas ações para o melhoramento principalmente com obras correspondentes a drenagem tradicional como reconstrução de canais, canalização de córregos, melhoria de travessias, destamponamento, etc.

Em estudo feito por Pelissari (2016) também foram apresentados problemas graves em relação ao manejo das águas pluviais, especificamente na bacia do córrego Santa Maria de Leme como travessias com capacidade de escoamento inferiores as exigidas, existência de ponto crítico na zona de união do córrego Santa Maria do Leme com o córrego Monjolinho e execução parcial de obras de controle de enchente.

O PMSSanCa também define as responsabilidades dos órgãos respeito a drenagem pluvial, onde estabelece que o sistema de drenagem de águas pluviais é gerenciado pela SMOP, a qual abrange entre outros a fiscalização de obras públicas, a divisão de custos e a seção de manutenção civil.

Por outra parte a Secretaria Municipal de Serviços Públicos (SMSP) exerce serviços de limpeza e manutenção pública, e zela pela manutenção das áreas verdes. Além disso São Carlos conta com uma frente temporária de trabalho com atividades como a limpeza de córregos e corte de mato entre outras.

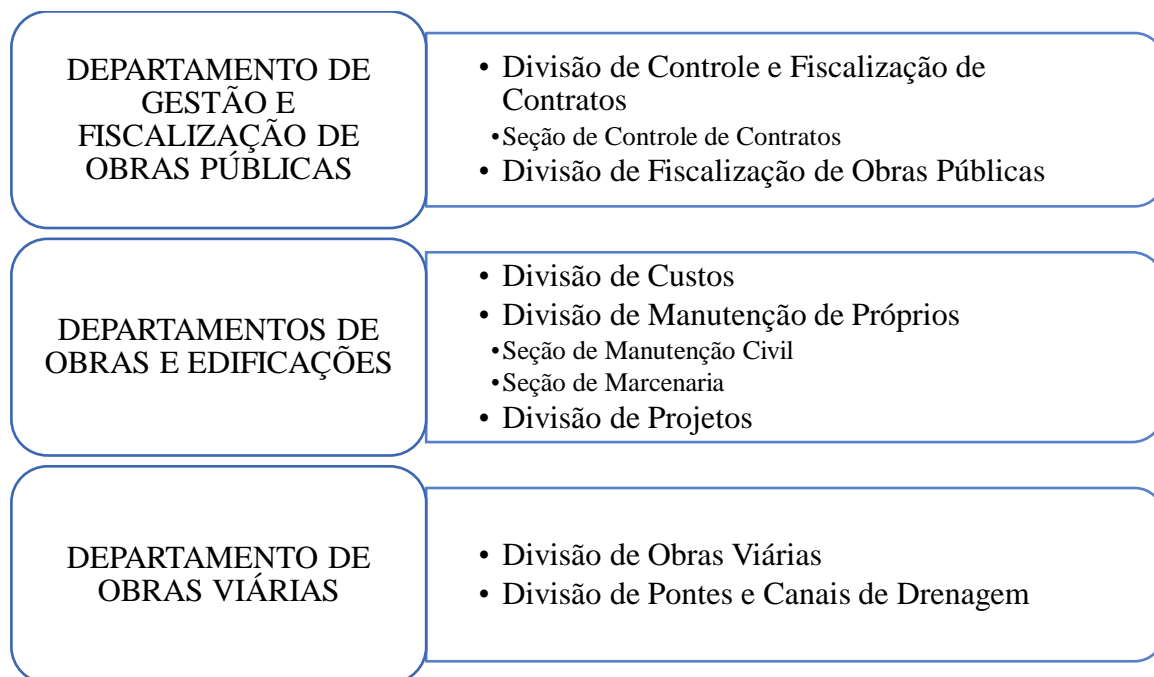
A Defesa Civil atua no atendimento de emergências a respeito da ocorrência de enchentes e inundações, desempenhando ações preventivas, de socorro, assistenciais e reconstrutivas. Desde novembro de 2010 a Defesa Civil de São Carlos conta com um sistema de alerta que informa sobre a possibilidade de enchentes em áreas de risco, o qual é feito por mensagem de celular, três horas antes do início da chuva, de acordo com previsões do instituto de meteorologia.

➤ **Plano Diretor de Drenagem Urbana Ambientalmente Sustentável (PDDUAS):**

O Plano Diretor de Drenagem Urbana Ambientalmente Sustentável de São Carlos por meio da Lei nº17.005 20/12/2013 tem por objetivo criar mecanismos de infraestrutura urbana que permitam reduzir os impactos das inundações no município, evitar perdas econômicas e criar condições para uma gestão sustentável da drenagem urbana, preservando a saúde pública e protegendo o meio ambiente.

O órgão responsável no Município de São Carlos pela gestão dos recursos hídricos quanto a drenagem urbana, é a SMOP, sendo a responsável pelas atividades desenvolvidas neste âmbito, e a qual apresenta a estrutura organizacional mostrada na Figura 28.

Figura 28 – Estrutura Organizacional da SMOP



Fonte: PDDUAS (2013)

O PDDUAS está subdividido em quatro partes da seguinte forma:

- Manual de drenagem urbana;
- Bases cartográficas e formulação de cenários, diagnóstico e prognóstico;
- Medidas estruturais, medidas não estruturais e custos;
- Desenhos e anexos.

Este plano aborda a problemática das enchentes ocasionada pelo excesso de impermeabilização do solo e pelo excesso de lixo nos sistemas de drenagem podendo ocasionar obstrução dos mesmos. Também menciona aspectos do dimensionamento e projeto dos sistemas de microdrenagem os quais são fiscalizados sob responsabilidade do município.

O PDDUAS também descreve considerações importantes respeito as BD a implantar no município de São Carlos, conforme ao estabelecido como diretriz no Plano Diretor Municipal de 2005, sobre o controle do excesso de escoamento superficial devido a impermeabilização do solo:

Considerações Gerais para Implantação das BD:

- A vazão efluente desse sistema deverá manter a condição de vazão pré-existente na área desenvolvida;
- As vazões deverão incluir toda a bacia drenada, incluindo as áreas fora do empreendimento a ser licenciado;
- Deverão ser levadas em conta as limitações existentes a jusante da bacia estudada;

- O dispositivo deverá posicionar-se nas áreas mais baixas do empreendimento de maneira a garantir uma maior eficiência;
- Deverá prever cerca de alambrado com 1,80 m de altura no seu entorno e portão de acesso;
- Deverá ser prevista a manutenção periódica para a remoção de detritos ou sedimentos a fim de garantir o volume de espera;
- Deverá prever um dispositivo de descarga de fundo para esgotar o volume de projeto;
- Deverá ser previsto um extravasor com condições de garantir o escoamento no caso de ocorrer um entupimento do descarregador de fundo;
- Para o dimensionamento, poderão ser aceitas as metodologias consagradas disponíveis na bibliografia especializada e a utilização de “softwares” com o desenvolvimento da passagem do escoamento pelo sistema.

Considerações de Projeto das BD:

Deverá ser apresentado para aprovação da Prefeitura Municipal de São Carlos, um projeto completo do sistema, incluindo memória de cálculo, desenhos com a implantação do sistema, inclusive redes afluentes e efluentes, cortes do reservatório e detalhes em corte e planta dos dispositivos a serem construídos em escala compatível. Além disso o projeto deverá apresentar:

- Planta com curvas de nível;
- Perfis longitudinais e transversais do reservatório de detenção;
- Estudo de estabilidade dos taludes para definição de seu ângulo de inclinação;
- Sondagem do terreno nos locais destinados aos reservatórios, com a indicação do nível d’água na época de cheia;
- Largura e comprimento do fundo, à meia altura e na crista;
- Indicação da lâmina d’água;
- Indicação das cotas de fundo, topo, do nível d’água e de todas as galerias afluentes e inclinação dos taludes;
- Indicação de borda livre;
- A Prefeitura Municipal de São Carlos se reserva o direito de escolher a chuva de projeto que será utilizada para o sistema proposto.

Observa-se que as considerações das diretrizes do PPDUAS quanto as BD, abordam somente o uso deste elemento como parte do sistema de drenagem para amortecimento de

cheias, porém, não existe nenhuma abordagem para o seu aproveitamento como espaço multiuso em temporadas de estiagem.

Vale ressaltar que o Plano considera as obras hidráulicas de retenção de águas como parte da solução para os problemas de enchentes, porém, um correto gerenciamento urbano que limite o excesso de escoamento superficial com políticas de parcelamento e uso do solo, é imprescindível para que estas medidas sejam tecnicamente e economicamente viáveis, as quais são estabelecidas no Plano Diretor Municipal de 2016.

Propostas de BD:

O PDDUAS relata um estudo técnico feito com propostas de BD espalhadas na zona urbana de São Carlos como alternativas para o controle de cheias, neste estudo foram considerados os seguintes parâmetros para a análise da viabilidade:

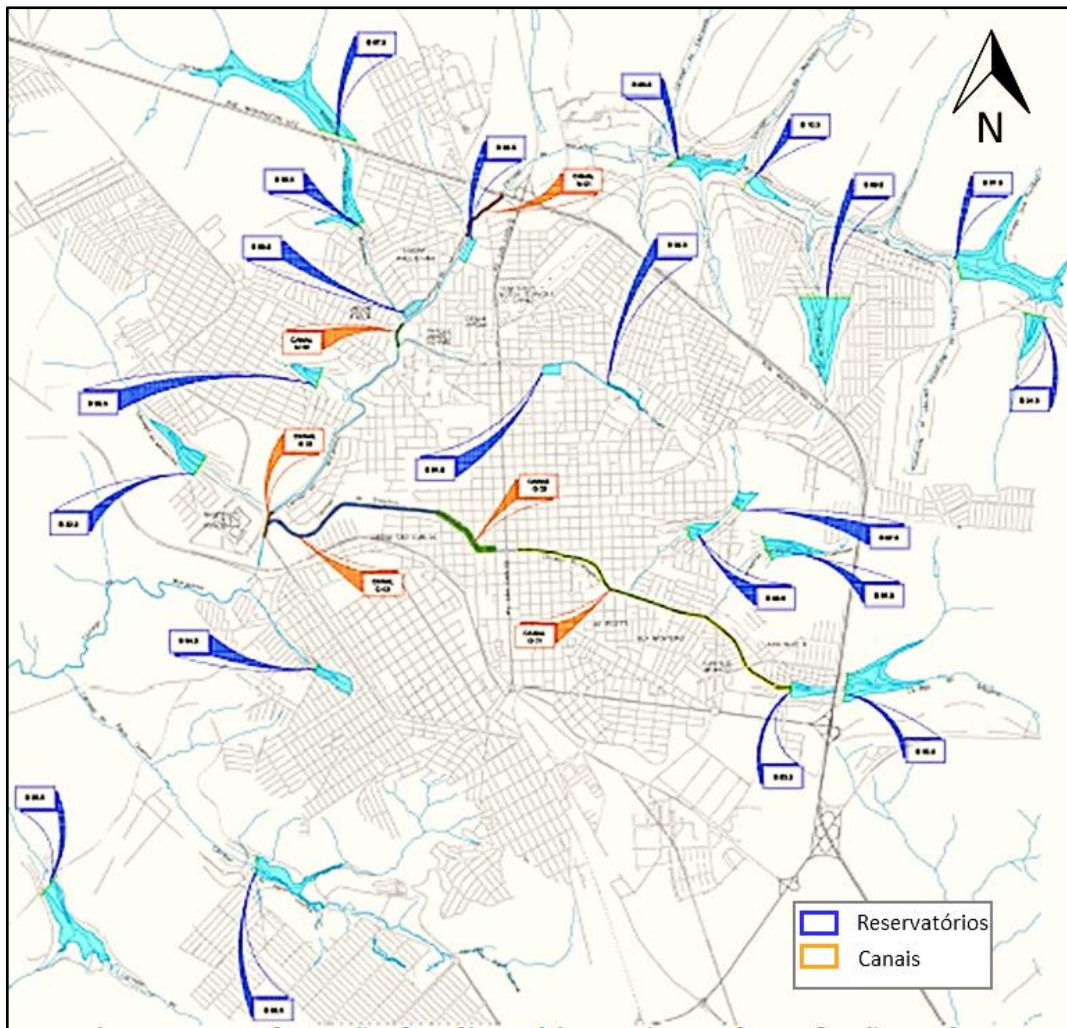
- Aspectos físicos (topografia, existência de exutório permanente, capacidade de infiltração no solo, estabilidade do subsolo, nível de águas subterrâneas e aporte permanente de água);
- Aspectos urbanísticos e de infraestrutura (disponibilidade do espaço, inclinação e forma dos telhados e redes existentes);
- Aspectos sanitários e ambientais (risco de poluição, risco de águas com fins e risco sanitário);
- Aspectos socioeconômicos.

Após análise dos locais com disponibilidade e viabilidade foram propostas 21 bacias de detenção/retenção distribuídas na zona urbana do município de São Carlos, representados nos pontos azuis segundo a Figura 29.

Cabe mencionar que foi feito o estudo básico e análise para gerar esta proposta, porém, esta ainda não foi implantada no Município de São Carlos, sem existir um projeto executivo completo para a implantação e execução desta proposta.

Ressalta-se a busca por parte dos órgãos municipais para tentar dar solução a problemática de enchentes na cidade, por meio de estudos bem planejados e justificados, utilizando a BD como unidade para o amortecimento de cheias.

Figura 29 - Proposta de reservatórios de detenção/retenção no município de São Carlos



Fonte: PDDUAS (2013)

Outro aspecto interessante abordado pelo PDDUAS é a definição de propostas complementares as BD como são os aterros e as escadas hidráulicas para o controle da erosão e sedimentação nos corpos receptores, principalmente quando não se tem espaço suficiente para a implantação de reservatório.

Destaca-se também que este Plano propõe medidas não estruturais tais como ações para a prevenção dos eventos críticos, treinamento de corpo técnico responsável pela drenagem urbana e incentivar a retenção de água no lote. O mesmo Plano faz alusão da necessidade de estabelecer um plano de manutenção e limpeza dos dispositivos de drenagem pluvial entre eles as BD.

3.4 Diretriz Municipal para Projetos de Drenagem Urbana

Visando garantir o estabelecido no Art. 103 do Plano Diretor Municipal de São Carlos de 2005, quanto a conservação da vazão pré-urbanização para os novos loteamentos, utilizando

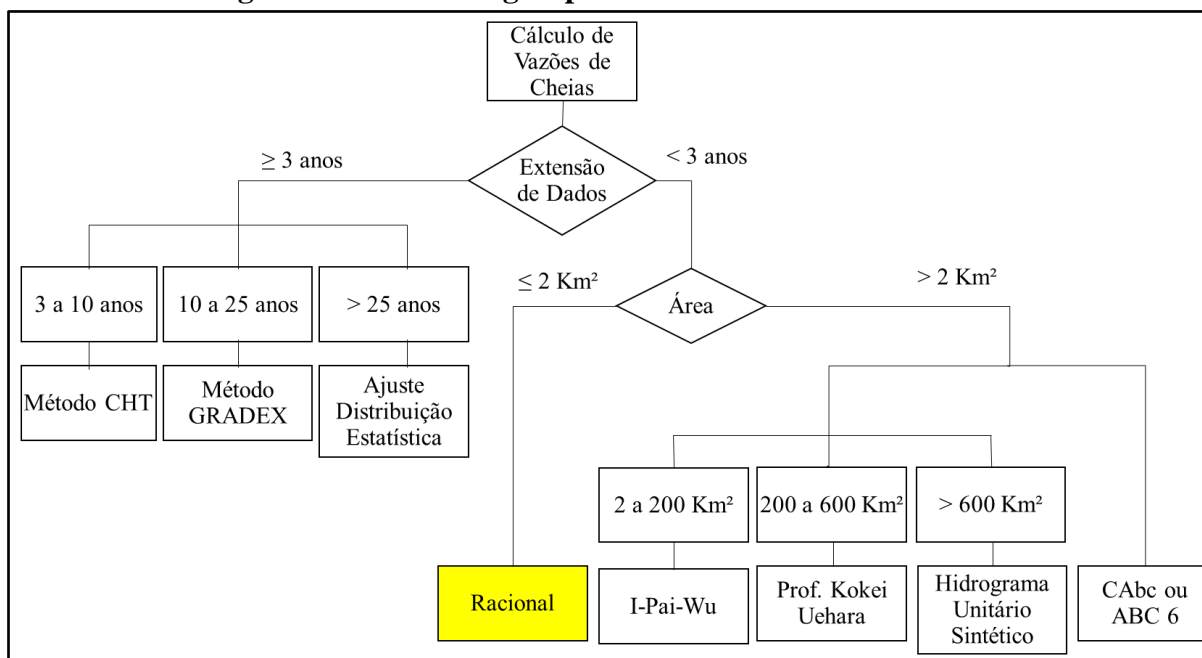
unidades de detenção, a SMOP estabeleceu um documento denominado de Diretrizes Municipais para projetos de drenagem urbana, unificando critérios para o dimensionamento das BD. Até o ano 2010 estas diretrizes tiveram sua versão final, porém, elas não estão inseridas em nenhuma legislação específica.

Segundo documento das diretrizes fornecido pela SMOP quanto aos dispositivos para detenção dos volumes, devem ser dimensionados reservatórios de detenção com a finalidade da redução do valor do pico do hidrograma de saída ao valor igual ou menor que o existente antes da urbanização, ou para valores de vazão que o sistema de drenagem a jusante possa suportar.

Como considerações gerais a diretriz também menciona que não será permitida a implantação de BD em áreas institucionais, áreas verdes, áreas de lazer ou de preservação permanente, além disso menciona que para o cálculo das vazões de projeto deverá-se considerar como área de contribuição a área do empreendimento e também as áreas a montante do mesmo que levem o escoamento até a BD.

Existem diferentes metodologias para o cálculo da vazão de enchente, as quais são apresentadas na Figura 30, porém, no presente trabalho será detalhado o método racional que é aprovado na diretriz municipal e está sendo usado para o cálculo no dimensionamento das BD no Município de São Carlos pelas dimensões das áreas de contribuição usadas.

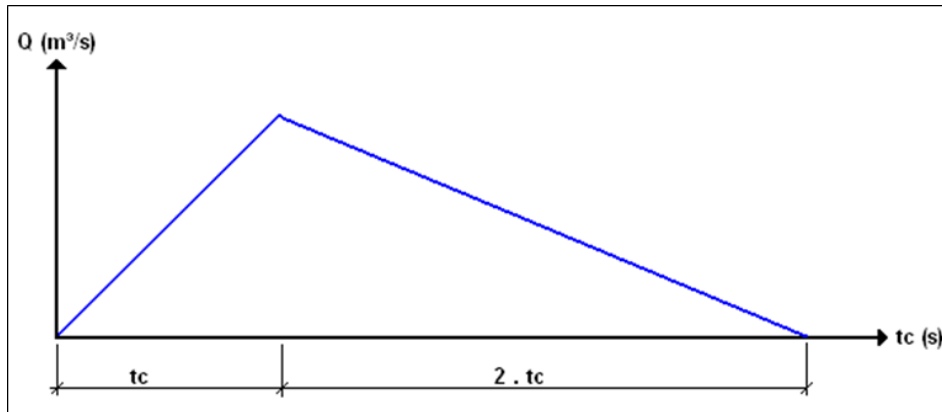
Figura 30 – Metodologias para a estimativa de vazões de enchente



Fonte: DAEE (2006)

Para o cálculo dos volumes necessários para deter vazões de cheia é sugerido o conceito do hidrograma triangular (Figura 31), que utiliza informações do hidrograma de entrada, como o valor da vazão pico e o tempo de concentração.

Figura 31 – Hidrograma triangular



Fonte: SMOP (2010)

A metodologia para determinar o volume a ser amortecido deverá seguir os seguintes passos:

- **Equação do Califórnia Culverts Practice**

O valor do tempo de concentração (t_c) deverá ser calculado com base nos dados da bacia de drenagem específica de cada empreendimento, por meio da seguinte equação recomendada segundo DAEE (2006), a qual é uma equação simplificada quando não tiver dados topográficos para um melhor detalhamento do talvegue:

$$t_c = 57 \times \left(\frac{L^3}{\Delta h} \right)^{0,385} \quad (2)$$

Onde:

t_c = tempo de concentração, em minutos. Sendo este o tempo que demora em chegar a partícula da água chuva que cai no ponto mais distante da bacia hidrográfica até o ponto de interesse;

L = comprimento do talvegue em Km. Sendo o talvegue a linha por onde correm as águas no fundo de um vale;

Δh = diferença de nível do talvegue em m.

- **Equação de chuvas da cidade de São Carlos**

Para o cálculo da intensidade de chuva crítica deverá ser utilizada a equação de intensidade-duração-frequência para a cidade de São Carlos estabelecida pelo Prof. Dr. Ademir Parcelli Barbassa, baseada em análise estatística de séries de dados pluviométricos:

$$i = \frac{1681,8 \times T_R^{0,199}}{(t + 16)^{0,916}} \quad (3)$$

Onde:

i = Intensidade máxima média da chuva crítica em mm/hora. A qual representa a relação entre a altura pluviométrica e duração;

t = Tempo de duração da chuva em minutos. Este valor pode ser igual ao t_c se é assumido que a bacia é suficientemente pequena para que ocorra esta situação.

T_R = Período de Retorno da chuva em anos (100 anos para sistemas de retenção). O qual representa o risco a ser assumido dependendo do tipo de obra hidráulica, como representação do inverso da frequência com que vai ser igualada ou superada a vazão utilizada no dimensionamento.

▪ **Método Racional**

Para a determinação da vazão máxima de projeto será utilizado o método racional o qual consiste em um método sintético baseado em dados pluviométricos, indicado para áreas de drenagem inferior a 2 km², onde por hipótese do método a precipitação é considerada constante em todo o processo. A seguinte equação permite calcular a vazão pico:

$$Q = \frac{C \times I \times A}{1000 \times 3600} \quad (4)$$

Onde:

Q = Vazão (m³/s);

A = Área de contribuição em m². Determinada pelo desenho dos limites da área a ser drenada e captada;

I = Intensidade pluviométrica em mm/hora

C = Coeficiente de escoamento superficial. O qual representa o grau de impermeabilização da bacia.

O coeficiente de escoamento superficial (runoff) será fixado através da média ponderada dos valores adotados para os diversos usos do solo, conforme apresentado no Quadro 12.

Quadro 12 – Valores do coeficiente de escoamento superficial

Uso do Solo	Coeficiente C
Vias Públicas	0,95
Lotes	0,80
Áreas Verdes	0,30

Fonte: SMOP (2010)

▪ **Volume de detenção**

O volume necessário para amortecer a vazão gerada pelo empreendimento deve ser estimado a través das seguintes equações:

$$V = \frac{3 \times t_c \times \Delta Q}{2} \times 60 \quad (5)$$

Onde:

ΔQ = Diferença entre a Vazão máxima de projeto e a Vazão Natural da Área (m^3/s);

V = Volume total do hidrograma em m^3 ;

t_c é o tempo de concentração da bacia (min)

Para empreendimentos situados na Bacia Hidrográfica do Córrego Santa Maria de Leme, o volume necessário para amortecer a vazão gerada pelo empreendimento, deverá ser calculado segundo a seguinte equação:

$$V = 3 \times t_c \times Q \times 60 \quad (6)$$

Onde:

Q = Vazão Máxima de projeto (m^3/s)

▪ **Vazão do descarregador do fundo**

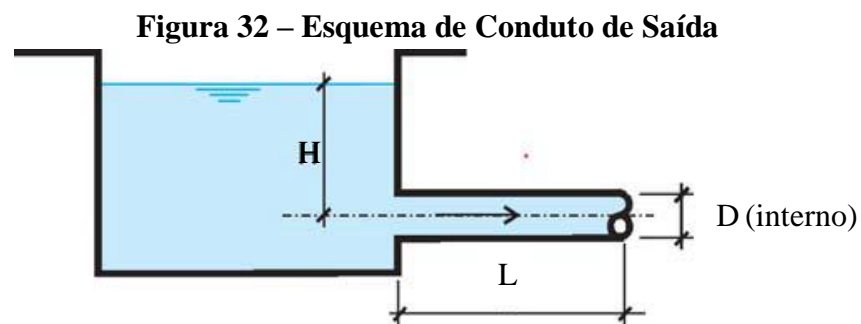
A detenção será feita através de orifícios de saída na parte inferior dos reservatórios, para escoamento com valor máximo a vazão pré-urbanização (exceto para empreendimentos situados na bacia hidrográfica do córrego Santa Maria do Leme). A diretriz Municipal para projetos de drenagem não menciona a metodologia a ser usada para o cálculo das dimensões do orifício de fundo, porém, apresenta-se a metodologia proposta segundo o DAEE (2006) junto com os coeficientes recomendados.

Este orifício de fundo funciona hidráulicamente como descarga livre, devido a que a descarga se dá para um ambiente sob pressão atmosférica. Apresenta-se na Figura 32 o esquema da descarga do fundo junto com os possíveis cenários dependendo da relação entre a longitude da tubulação de saída e a altura de carga.:

Orifícios: $0 \leq L < 1.5 D$

Bocais: $1.5 D \leq L < 3 D$

Tubos muito curtos: $3 D \leq L < 500 D$



Fonte: DAEE (2006)

Com isto no caso das BD a vazão considerando a saída do tipo orifício é determinada segundo a seguinte equação:

$$Q = Cd \times A \times \sqrt{2gH} \quad (7)$$

Onde:

Q = Vazão pelo conduto (m^3/s);

A = Área da seção transversal, no caso de seção circular $A = \frac{\pi D^2}{4}$ (m^2);

g = Aceleração da gravidade 9,81 (m/s^2);

H = Diferença entre cota do nível de água e o eixo do orifício de saída (m)

Cd = Coeficiente de descarga. Sugere-se $Cd=0,6$ o qual é um valor médio prático devido a perdas de velocidade e a seção contraída, o qual varia com a forma geométrica, as dimensões e o valor da altura da água. Igualmente devido à localização do orifício ao nível do solo na BD ocorre uma contração incompleta para o qual deve-se corrigir o valor de Cd (PORTO, 2006).

▪ **Vazão do vertedor com soleira**

Como este valor de vazão após urbanização eventualmente será superado, deve-se dispor vertedores com soleira acima da cota do nível de água máxima do reservatório, igualmente a galeria para entrada d'água deve ocorrer acima desse nível máximo e prever dispositivos para evitar processos erosivos. A diretriz Municipal para projetos de drenagem não menciona a metodologia a ser usada para o cálculo das dimensões do extravasor, porém, apresenta-se a metodologia proposta segundo o DAEE (2006) junto com os coeficientes recomendados.

A vazão sobre a soleira do vertedor é determinada pela seguinte equação:

$$Q = 4.43 \times \mu \times L \times H^{3/2} \quad (8)$$

Onde:

Q = Vazão sobre a soleira (m^3/s);

μ = Coeficiente de descarga. Para soleira espessa $\mu=0.35$; Perfil tipo Creager $\mu=0.45$

H = lâmina d'água sobre a soleira do vertedor (m);

L = largura do vertedor (m)

Como diretriz também se estabelece que no final dos pontos de lançamento para o córrego deverão ser previstos, dimensionados e apresentados dispositivos para evitar processos erosivos.

Para a aprovação do projeto da BD deverão ser apresentados cálculos hidráulicos, memorial descritivo do sistema, materiais a serem utilizados e demais especificações construtivas. Também deverá ser apresentada a planta da BD em escala no mínimo 1:1000, com curvas de nível a cada metro, indicação de dimensões e cotas do fundo e das tubulações, junto com os detalhes necessários para a sua implantação.

4 METODOLOGIA

4.1 Etapa 1 - Revisão da Literatura

A revisão da bibliografia foi a primeira etapa desenvolvida para o começo da atual pesquisa. Foram consultadas diferentes fontes de conteúdo sobre a temática da urbanização, sua evolução e seus impactos no ciclo hidrológico, passando através da revisão da gestão clássica e sustentável no manejo das águas pluviais, para finalizar numa revisão detalhada das BD, que representam a técnica compensatória objeto desta pesquisa. A seguir apresentam-se as temáticas que foram abordadas no capítulo 2 como base conceitual teórica para o desenvolvimento da pesquisa:

- **Urbanização:** Foi abordada a temática sobre o crescimento acelerado da urbanização tanto no contexto mundial como no Brasil, igualmente foram identificadas as causas dessa urbanização e suas consequências, especialmente detalhando os impactos dela na drenagem urbana e no manejo de águas pluviais. Como um dos principais impactos foram abordadas as inundações identificando suas causas e os tipos, as quais são o objetivo principal a controlar com a implantação das BD.
- **Drenagem Pluvial:** Como parte fundamental da pesquisa foi abordada a gestão da drenagem pluvial no Brasil. Foram mencionados os dois sistemas de drenagem pluvial, o sistema clássico e o sistema alternativo identificando os componentes de cada um deles, assim como a justificativa para a mudança de um para o outro.
No sistema clássico foram descritos seus componentes e a função de cada um deles. Quanto aos sistemas alternativos foram consultados e abordados aqueles mais conhecidos, fazendo um aprofundamento na BD como técnica compensatória em outro subcapítulo, por tratar-se da técnica a ser estudada na presente pesquisa.
- **Bacias de Detenção:** Em subcapítulo individual foi abordada a técnica centralizada conhecida como bacia de detenção, para a qual foi realizada uma pesquisa de maneira específica sobre diferentes aspectos envolvidos na sua análise. Os seguintes tópicos respeito das BD foram abordados: aspectos fundamentais, descrição da técnica, funcionamento, tipos de bacias, concepção, manutenção, custos e estudos feitos sobre sua inserção urbana.
- **Legislação:** Foram consultadas em diferentes leis vigentes tanto a nível Federal, Estadual e Municipal as diretrizes e obrigações com relação ao manejo de águas pluviais e os incentivos no Brasil visando uma abordagem sustentável com relação a drenagem urbana. Como parte fundamental da implantação de BD foi abordada de forma

específica a Lei municipal que menciona o controle que deve ser feito na vazão de projeto o qual pode ser obter por meio da implantação de BD.

4.2 Etapa 2 - Área de Estudo

Neste capítulo do trabalho foram abordadas informações relevantes do município de São Carlos em relação a aspectos físicos, urbanísticos e legais sob o foco da temática do manejo de águas pluviais da seguinte forma:

- **Aspectos físicos:** Abordaram-se aspectos como a localização do município, tanto a nível geográfico como dentro das Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI). Também se identificaram parâmetros demográficos e hidrográficos do município.
- **Aspectos urbanísticos:** Foi feita uma descrição da ocupação e expansão da área urbana no município de São Carlos em ordem cronológica, com um olhar sob papel que representaram as sub-bacias hidrográficas e os córregos na urbanização como elementos que formam parte do meio urbano.
- **Aspectos legais:** Foram revisados e sintetizados os artigos dentro das leis municipais que estabelecem as obrigações a respeito do manejo das águas pluviais, principalmente a Lei nº 13.691 de 25/11/2005, Plano Diretor Municipal que considera dentro da drenagem urbana a vazão a ser mantida pelas bacias de retenção de águas pluviais. Igualmente foi consultado o PMSSanCa junto com as problemáticas de inundações nas sub-bacias hidrográficas, assim como foi abordado o PDDUAS que estabelece diretrizes para mitigar os impactos das inundações no município e fornece especificações para o projeto e implantação de BD dentro do município.

Como documento atual usado para a aprovação dos projetos de BD a implantar no município, foi descrita a metodologia estabelecida na Diretriz Municipal para Projetos de Drenagem, para o cálculo do volume de detenção junto com outras considerações de projeto.

4.3 Etapa 3 - Estabelecer Variáveis e Parâmetros para Avaliação das BD

Para a avaliação e análise das BD implantadas no município de São Carlos, foram definidos dois grupos de variáveis conforme a revisão bibliográfica feita sob os aspectos a ter em conta na implantação de BD no meio urbano. A seguir são descritos os dois grupos de variáveis:

Grupo 1 – Aspectos de Observação *in loco* das BD

Baseado nos aspectos revisados na bibliografia quanto a pesquisa e análise da implantação de BD em outras localidades do interior do estado de São Paulo como os estudos feitos por Peroni (2018) e Vicente (2015) abordados no item 2.5.6, foram estabelecidas e adaptadas a realidade do município de São Carlos as seguintes variáveis a serem avaliadas por meio da observação *in loco* das BD:

Quadro 13 – Variáveis do Grupo 1 para avaliação das BD

Variável	Descrição
Posição relativa ao loteamento/condomínio	Indica a localização da BD em relação a uma área fechada como condomínio/loteamento, delimitada por barreiras físicas como muros ou cercas, sendo classificadas em “dentro” ou “fora” relativo a estas áreas.
Visibilidade	Determina quão visível é a BD para uma pessoa no entorno dela, posicionada ao nível do solo, classificando a BD com visibilidade “alta”(a pessoa pode ver a totalidade ou grande parte da BD), “média” (a pessoa só consegue identificar pequenas partes da BD), ou “baixa” (a pessoa não consegue identificar a existência da BD).
Acessibilidade	Indica a facilidade para uma pessoa chegar até a entrada da BD ou seus limites, dependendo dos obstáculos e a dificuldade para percorrer o caminho até ela. Esta variável classificará a BD com acessibilidade “fácil” (o percurso é plano e/ou não possui obstáculos), “moderada” (o caminho apresenta uma declividade moderada e/ou alguns obstáculos) ou “difícil” (o terreno é muito íngreme e/ou possui muitos obstáculos).
Isolamento	Estabelece se a BD conta com estruturas que impeçam a entrada nela como portões, ou delimitem o perímetro da BD com elementos como cercas ou alambrados, podendo-se classificar esta variável como “totalmente aberta” (sem estruturas), “parcialmente aberta” (estruturas incompletas) ou “totalmente fechada” (todas as estruturas).
Conservação	Determina o grau de manutenção observado na BD, identificando aspectos como vegetação alta, lâmina permanente de água, erosão, assoreamento, presença de animais e vetores. Segundo os anteriores aspectos a BD é classificada como “adequada” (nenhum aspecto observado), “parcialmente adequada” (até dois aspectos observados) ou “inadequada” (observados mais de dois aspectos).
Uso Observado	Com esta variável se estabelecerá se a BD tem a única função de amortecimento de cheias, ou tem usos adicionais como zona de lazer ou prática de atividades esportivas. Esta variável classificará a BD como uso “somente hidrológico” ou “outro uso”.
Enchimento	Indica se o nível d’água na BD devido ao evento de precipitação atingiu a altura do extravasor, sendo esta variável classificada como “sim” ou “não”, conforme foi verificada esta condição.
Esvaziamento	Esta variável determina se a BD “cumpre” ou “não cumpre” com a condição de apresentar o esvaziamento do volume de água retido dentro das 24 horas após o evento de precipitação.
Gestão	Identifica a cargo de quem está a manutenção da BD, como parte do correto funcionamento dela, sendo classificada esta variável como do poder “público” ou “privado”

Fonte: Adaptado de Peroni (2018) e Vicente (2015)

Para a avaliação das variáveis relacionadas com o evento de precipitação (enchimento e esvaziamento), foram realizadas visitas *in loco* durante ou nas horas seguintes ao evento de precipitação.

Grupo 2 – Aspectos de Projeto de Drenagem

Este grupo de variáveis foram definidas conforme revisão bibliográfica e segundo aspectos analisados por Peroni (2018), os quais buscam caracterizar e analisar considerações de projeto das BD, por meio dos relatórios, memoriais de cálculo, plantas e detalhes do projeto de drenagem das BD, e entrevistas realizadas. Os seguintes são os aspectos a ser analisados neste grupo:

- **Dimensionamento:** Este aspecto aborda a metodologia de cálculo utilizada, os parâmetros, as estimativas e considerações quanto ao volume de armazenamento e as dimensões adotadas nos diferentes projetos das BD.
- **Estruturas hidráulicas:** Caracteriza as estruturas hidráulicas que fazem parte da BD como os dispositivos de entrada d'água, dispositivos de saída d'água e lançamento final, analisando os tipos e detalhes construtivos destas estruturas nas BD estudadas.
- **Processo Construtivo:** Aborda as considerações quanto ao processo construtivo da BD, os aspectos a ter em conta e as dificuldades apresentadas.
- **Manutenção:** Define as considerações respeito a existência de manutenção, o tipo de manutenção, frequência, responsáveis e como é feita esta atividade nas BD.
- **Custos:** Caracteriza os custos envolvidos na implantação da BD como custos de construção e manutenção obtidos através de orçamentos e estimativas, apresentando estes custos por unidade de volume para estabelecer comparativos com outros autores.
- **Integração Urbana:** Este aspecto descreve se ao nível de projeto e na concepção da BD, ela foi considerada para outro uso além do controle hidrológico e as características que favorecem a integração urbana. Também aborda informações coletadas sob as opiniões e considerações da população que convive junto a BD.

4.4 Etapa 4 - Localização e Identificação das Bacias de Detenção

Para a localização das BD implantadas no município de São Carlos nos diferentes bairros, loteamentos e condomínios foram utilizados os seguintes recursos:

- Imagens do *software* Google Earth buscando principalmente loteamentos e setores perto dos córregos, zonas com um espaço vazio considerável e com uma forma quadrangular definida. Com ajuda da ferramenta *street view* do software Google Earth foi possível verificar a existência de uma BD no espaço vazio localizado previamente.
- Pesquisa na página web da Secretaria Municipal de Habitação e Desenvolvimento Urbano (SMHDU), onde se tem registro digital da maioria dos projetos de condomínios

e loteamentos aprovados, principalmente aqueles com número de processo depois do ano 2005 no qual foi estabelecida a obrigatoriedade para conservar a vazão pré-urbanização. Alguns deles contavam com uma planta digital do projeto onde identificava-se o espaço deixado para a BD. Igualmente se revisaram os documentos relativos aos decretos de aprovação disponibilizados para alguns empreendimentos onde se apresentam algumas obrigações a respeito do manejo das águas pluviais.

- Visitas *in loco* para confirmação das BD localizadas no Google Earth e nos projetos urbanísticos, bem como para realizar o registro fotográfico de cada uma das BD.

Cada uma das BD foram localizadas no município de São Carlos para identificar sua inserção no meio urbano e os córregos relacionados a cada uma delas, para tanto foi realizado um mapeamento de todas as BD dentro do município. Também cada uma das BD foram nomeadas conforme a área/loteamento/condomínio na qual estavam localizadas; foi identificada a zona dentro da qual estão localizadas, de acordo com os mapas de zoneamento e macrozoneamento estabelecidos dentro do Plano Diretor do Município de São Carlos 2016, e foi identificada a sub-bacia hidrográfica a qual pertence cada uma delas.

4.5 Etapa 5 - Caracterização das Bacias de Detenção

Esta fase do trabalho consistiu na caracterização de cada uma das BD por meio das visitas *in loco*, a análise dos projetos e entrevistas realizadas.

Uma vez identificadas e localizadas, se procedeu com a visita à zona onde estão implantadas cada uma das BD. Nestas visitas foram registrados diferentes aspectos a respeito das BD como as condições encontradas em relação à contaminação e resíduos sólidos tanto dentro como fora da BD, o estado atual da vegetação, as estruturas de entrada e saída d'água, as condições do solo e o entorno no qual a BD encontra-se localizada. As visitas se realizaram tanto em períodos de chuva como sem chuva e em diferentes datas, para verificar o funcionamento da BD conforme o evento de precipitação e para comparar o estado de conservação da BD transcorrido certo período de tempo.

Realizou-se a análise dos projetos com a informação obtida dos processos de aprovação dos loteamentos e condomínios, fornecidos pela SMH DU. Nestes processos foram abordados aspectos como os projetos urbanísticos, para descrição e caracterização do loteamento ou condomínio no entorno da BD; os estudos de impacto de vizinhança, identificando principalmente as considerações do impacto na drenagem urbana devido a implantação do empreendimento, e o memorial do projeto de drenagem urbana que relata os aspectos de

dimensionamento e construção da BD como parte do sistema de drenagem pluvial do empreendimento.

A última fase desta etapa consistiu na realização de entrevistas de forma pessoal com agentes envolvidos sob alguma das etapas de implantação, manutenção ou operação das BD para coletar as informações quanto a experiência e conhecimento de cada um destes agentes. Para isto foi escolhido o seguinte público visando abordar os aspectos mencionados anteriormente:

- **Projetista:** profissional, que tem desenvolvido trabalhos de dimensionamento e verificação de vários projetos de BD no município de São Carlos, e possui conhecimento sobre os parâmetros considerados no dimensionamento, a diretriz de drenagem urbana no município, assim como sobre a discussão entorno ao método de cálculo a ser adotado para o dimensionamento da BD.
- **Técnico de construtora:** engenheiro de uma construtora que tem executado vários projetos de BD em condomínios, por isto é conhecedor do processo construtivo, os aspectos relevantes, dificuldades apresentadas no canteiro de obras, assim como aspectos sobre especificações construtivas e materiais utilizados.
- **Técnico da SMOP:** engenheiro da SMOP, pelo seu conhecimento e experiência no processo de aprovação dos projetos de drenagem da BD apresentados no município, assim como dos parâmetros adotados, a metodologia usada e o critério de aceitação do projeto de BD.
- **Técnico da SMSP:** técnico que faz parte da SMSP, pelo seu conhecimento do processo da manutenção das áreas verdes públicas, das áreas ocupadas por BD que ficam sob responsabilidade do poder público e o pessoal disponível para realizar as práticas de manutenção das BD.
- **Gerente de condomínio:** gerente de condomínio pelo seu conhecimento quanto a aspectos como a manutenção e operação da BD como parte do condomínio, assim como da opinião dos moradores respeito ao espaço ocupado pela BD.
- **Síndico de condomínio:** síndico de condomínio pelo seu conhecimento sobre a manutenção e funcionamento da BD, os custos de manutenção e a opinião dos moradores respeito desta unidade.
- **Empreendedor:** técnico de empreendedora com conhecimento sobre a obrigatoriedade da implantação da BD, o seu funcionamento e como é apresentada esta unidade aos moradores como parte do condomínio no qual vão habitar.

No momento da entrevista foi explicado para o entrevistado o objetivo da mesma, deixando clara sua finalidade como pesquisa acadêmica. Além disso, foi assinado por cada uma das partes um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), o qual explica o objetivo da entrevista, como serão tratadas as informações coletadas, as condições da entrevista e o consentimento desta por parte do entrevistado. Este termo encontra-se no Apêndice I do presente trabalho.

Em total foram entrevistados 7 agentes, para o qual foi utilizado um roteiro com 15 perguntas gerais sobre o dimensionamento, construção, manutenção, integração e custos das BD como base guia na entrevista, porém, conforme cada entrevistado e seus conhecimentos, as perguntas não se limitaram ao conteúdo do roteiro. Para uma coleta das respostas e informações fornecidas pelos entrevistados foi solicitado e realizado registro de gravação de áudio da totalidade da entrevista, para único uso do pesquisador. O Roteiro utilizado encontra-se no Apêndice II do presente trabalho.

4.6 Etapa 6 - Avaliação e Análise das BD

Esta etapa consistiu na avaliação e análise das informações coletadas das BD implantadas no município de São Carlos por meio da aplicação dos dois grupos de variáveis descritos no item 4.3 do presente trabalho. Com isto obteve-se um panorama atual sobre a implantação e funcionamento das BD no município de São Carlos desde o ponto de vista do pesquisador como dos agentes envolvidos, caracterizando e apresentando as condições atuais das BD implantadas, assim como uma análise quanto as considerações respeito a legislação, dimensionamento, construção, manutenção e integração das BD no município.

4.7 Etapa 7 - Considerações Finais

Nesta última etapa da pesquisa foram identificados de forma sucinta os resultados obtidos da avaliação das BD quanto a seus parâmetros físicos segundo identificado na observação feita de cada uma delas. Igualmente foram estabelecidas conclusões respeito aos dados coletados dos projetos de drenagem das BD e das entrevistas realizadas. Com isto se apresenta um panorama integral da implantação da BD no meio urbano do município de São Carlos. Também nesta etapa foram apresentadas recomendações para a melhoria do estado atual das BD implantadas, assim como para futuras BD a implantar no município. Por último considerações de possíveis pesquisas futuras decorrentes do presente trabalho foram estabelecidas visando maior aprofundamento para a otimização da implantação da BD como técnica alternativa de drenagem urbana.

5 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados da pesquisa quanto à localização, identificação, caracterização, avaliação e análise das bacias de detenção (BD) e os sistemas de bacia de detenção (SBD) aos quais se obteve acesso no Município de São Carlos.

Para uma avaliação e análise integral de cada uma das BD foram fundamentais as visitas *in loco* junto com o registro fotográfico de cada uma delas para sua respectiva caracterização, assim como os projetos de drenagem pluvial aprovados pelo município para algumas destas BD e as entrevistas feitas com agentes relacionados com estas unidades.

A avaliação de cada uma das BD foi estabelecida de acordo às variáveis do grupo 1 descritas no subcapítulo 4.3 do presente trabalho. Também como parte da análise das BD conforme o grupo 2 de variáveis descritas no item 4.3, são apresentados dados dos projetos de drenagem das BD que foram identificadas, para realizar uma análise e estabelecer comparações com informações abordadas na revisão bibliográfica.

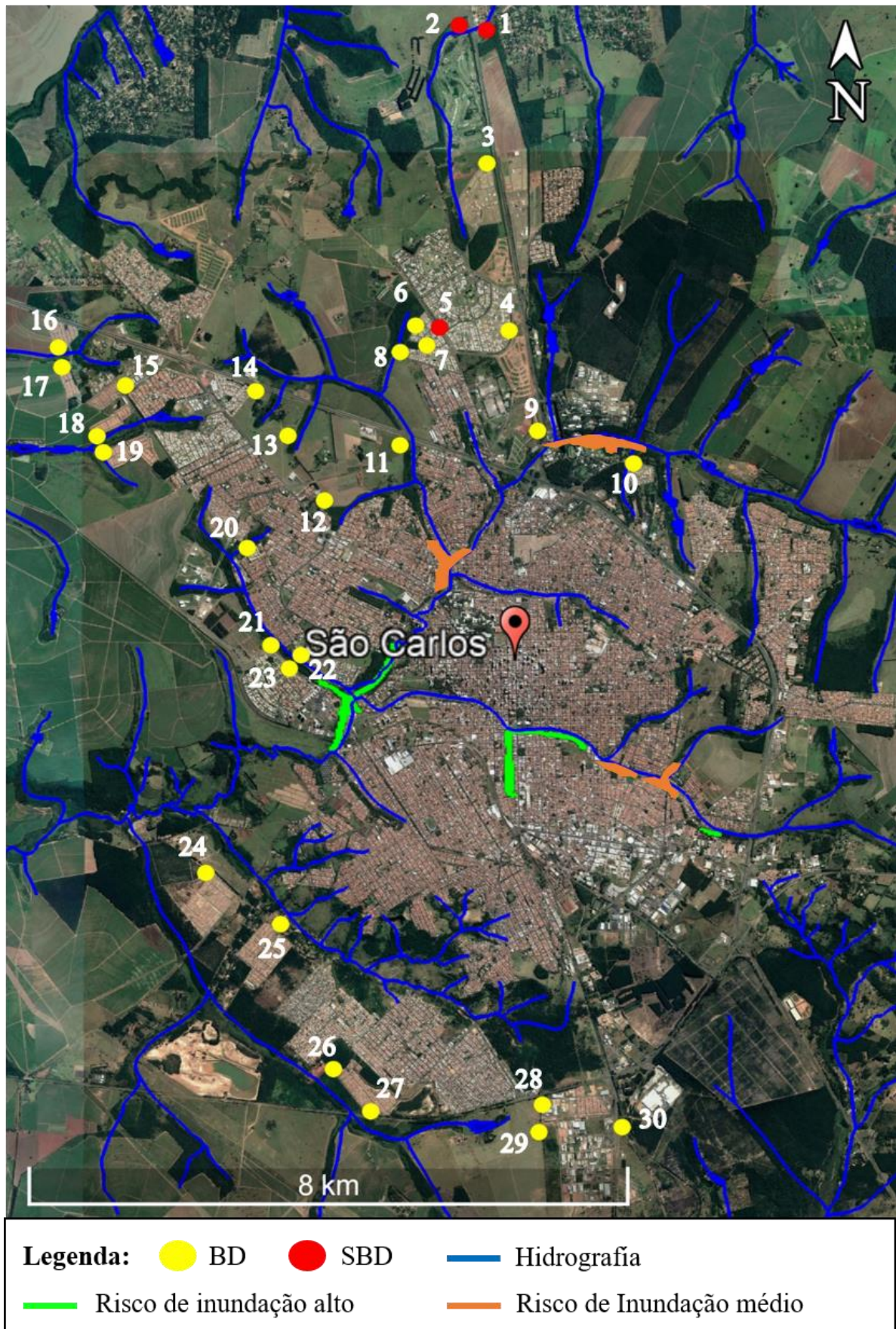
5.1 Localização e Identificação das Bacias de Detenção

No presente trabalho foram localizadas 27 BD e 3 SBD no município de São Carlos, como apresentado no mapeamento feito na Figura 33, onde se dispõem as BD e SBD em sua exata localização, a hidrografia na zona urbana e as zonas com risco médio e alto de inundação segundo (IPT, 2015).

Para a configuração deste mapeamento foi fornecida a hidrografia do município de São Carlos em escala 1:50000 por parte da SMH DU em formato *shape*. Também foi utilizado o arquivo digital em formato *shape* do relatório técnico do IPT (2015), que dispõe a delimitação das áreas de médio e alto risco de inundação no município de São Carlos.

Segundo as sub-bacias urbanas apresentadas na Figura 21, o zoneamento Municipal apresentado na Figura 27 e a região onde se localiza cada BD na Figura 33, o Quadro 14 apresenta a localização e identificação de cada uma das BD.

Figura 33 – Mapeamento das BD e SBD no município de São Carlos



Fonte: Adaptado de Google Earth (2018)

Quadro 14 – Identificação e localização das BD

Nº	NOME	ZONEAMENTO	SUB-BACIA	ZONA
1	Tibaia de São Fernando	7 - Proteção, regulação e ocupação específica	Jararaca*	Norte
2	Varjão	6C - Regulação e ocupação controlada de menor densidade	Jararaca*	Norte
3	Residencial Damha Golf	3- Ocupação condicionada	Jararaca*	Norte
4	Residencial Damha III	3- Ocupação condicionada	Monjolinho	Norte
5	Village São Carlos III	3 - Ocupação condicionada	Santa Maria do leme	Norte
6	Village São Carlos II	3 - Ocupação condicionada	Santa Maria do leme	Norte
7	Village São Carlos I - montante	3 - Ocupação condicionada	Santa Maria do leme	Norte
8	Village São Carlos I - jusante	3 - Ocupação condicionada	Santa Maria do leme	Norte
9	Saída norte UFSCar	3 - Ocupação condicionada	Monjolinho	Norte
10	Parque Espraiado	5A - Proteção e ocupação controlada – SUC Monjolinho-Espraiao	Monjolinho	Norte
11	Graal São Carlos	6B - Regulação e ocupação controlada de média densidade	Santa Maria do Leme	Norte
12	Parque Monte Logan	2- Ocupação Induzida	Santa Maria do Leme	Oeste
13	Sítio Paraíso	6B - Regulação e ocupação controlada de média densidade	Santa Maria do Leme	Oeste
14	Residencial Eldorado	2 - Ocupação Induzida	Santa Maria do Leme	Oeste
15	Parque Monte Everest	2- Ocupação Induzida	Cancã*	Oeste
16	Jardim Araucária – Fase 01	2 - Ocupação Induzida	Cancã*	Oeste
17	Jardim Araucária – Fase 02	2 - Ocupação Induzida	Cancã*	Oeste
18	Moradas São Carlos II	2 - Ocupação Induzida	Cancã*	Oeste
19	Moradas São Carlos III	2- Ocupação Induzida	Cancã*	Oeste
20	Recanto do Bosque	2- Ocupação Induzida	Mineirinho	Oeste
21	Passeio das Magnólias	2 - Ocupação Induzida	Mineirinho	Oeste
22	Reserva Aquarela	2 - Ocupação Induzida	Mineirinho	Oeste
23	Parque Faber III	2 - Ocupação Induzida	Mineirinho	Oeste
24	Eduardo Abdelnur	4 - Qualificação e ocupação controlada	Água Quente	Sul
25	Deputado José Zavaglia	4 - Qualificação e ocupação controlada	Água Quente	Sul
26	Planalto Verde - jusante	4 - Qualificação e ocupação controlada	Água Quente	Sul
27	Planalto Verde - montante	4 - Qualificação e ocupação controlada	Água Fria	Sul
28	Parque Novo Mundo	4 - Qualificação e ocupação controlada	Água Fria	Sul
29	CEAT	6C - Regulação e ocupação controlada de menor densidade	Água Fria	Sul
30	CEMOSAR	5B - Proteção e ocupação controlada – SUC Manancial do Feijão	São João	Sul

Legenda: (*) Não corresponde a sub-bacia urbana

Observa-se na Figura 33 e no Quadro 14 que a maioria das BD estão localizadas na zona norte e oeste do município, região pela qual direciona-se a expansão urbana no município, sendo

que nestas zonas estão sendo construídos os novos empreendimentos os quais devem atender o estabelecido no Plano Diretor Municipal do 2005, para a implantação das BD.

O zoneamento Municipal também define as zonas anteriormente mencionadas com maior concentração de BD, como zonas caracterizadas pela baixa densidade populacional e por possuir vazios urbanos que podem ser aproveitados para a construção de novos empreendimentos, porém, também é previsto que esta ocupação e adensamento deve ser de forma controlada e planejada pelo importante papel hidrológico das sub-bacias e a conservação ambiental que se deve considerar para estas regiões.

5.2 Caracterização das BD Identificadas

De acordo com a Figura 33, as BD foram numeradas para a sua identificação e localização, porém, por motivos como negação de acesso, não resposta para solicitação de acesso ou por encontrarem-se em fase de relocação, algumas delas não fazem parte do presente trabalho e não foram caracterizadas, apesar de incluídas no mapeamento inicial. Deste modo, foram caracterizadas uma totalidade de 23 BD e 3 SBD.

A seguir, serão apresentadas cada uma das BD visitadas, junto com a descrição das características observadas na visita *in loco* e algumas características do entorno ou do condomínio/loteamento que drena as águas pluviais até a correspondente BD. As visitas foram feitas em diferentes dias, sendo algumas em tempo seco sem chuva e outras durante e após o evento de precipitação, para assim poder descrever o funcionamento da bacia quanto ao armazenamento temporário da água pluvial. Especificamente o registo fotográfico foi realizado da seguinte maneira:

Com evento de precipitação

Neste caso são listados os dias onde foram feitas a visitas *in loco* e o registro fotográfico durante o evento de precipitação ou no máximo umas horas após o evento, para isto no Quadro 15 é apresentada a caracterização da chuva acumulada dos dias da visita conforme os dados de precipitação registrados pela estação convencional 83726 do município de São Carlos, consultados na página web do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET); os dados não registrados pela estação convencional foram consultados daqueles registrados pela estação automática.

Aclara-se que os valores de precipitação apresentados no Quadro 15 são para estabelecer uma ordem de grandeza, porém, ela não caracteriza a chuva de projeto, considerando que para esta deve se ter em conta a distribuição da chuva ao longo do tempo.

Quadro 15 – Caracterização da precipitação nos dias das visitas

Dia da visita	Hora	Precipitação diária (mm)
14 de Fevereiro de 2018	15:00 – 16:00	21,8
03 de Março de 2018	17:00 – 18:15	21,6*
06 de Maio de 2018	16:30 – 17:30	19,2*
15 de Maio de 2018	14:30 – 15:30	4,5
03 Agosto de 2018	14:00 – 14:30	40,6
14 de Setembro de 2018	15:30 – 16:00	15,3
25 de Outubro de 2018	14:30 – 16:30	19,2
10 de Novembro de 2018	18:30 – 19:00	5
24 de Novembro de 2018	16:30 – 18:30	40,9
5 de Janeiro de 2019	12:30 – 13:30	27,2

Nota: * Dados obtidos da estação automática A711 do município de São Carlos (INMET)

Sem evento de precipitação

No Quadro 16 apresentam-se os dias em que foram feitas as visitas *in loco* sem evento de precipitação, em primeira instância para verificar a existência da BD localizada e para poder realizar o primeiro registro fotográfico junto com a identificação de suas características físicas.

Quadro 16 – Visitas *in loco* sem precipitação

Dia da visita
13 de Agosto de 2017
22 de Novembro de 2017
15 de Março de 2018
07 de Maio de 2018
11 de Maio de 2018
12 de Maio de 2018
14 de Maio de 2018
29 de Agosto de 2018

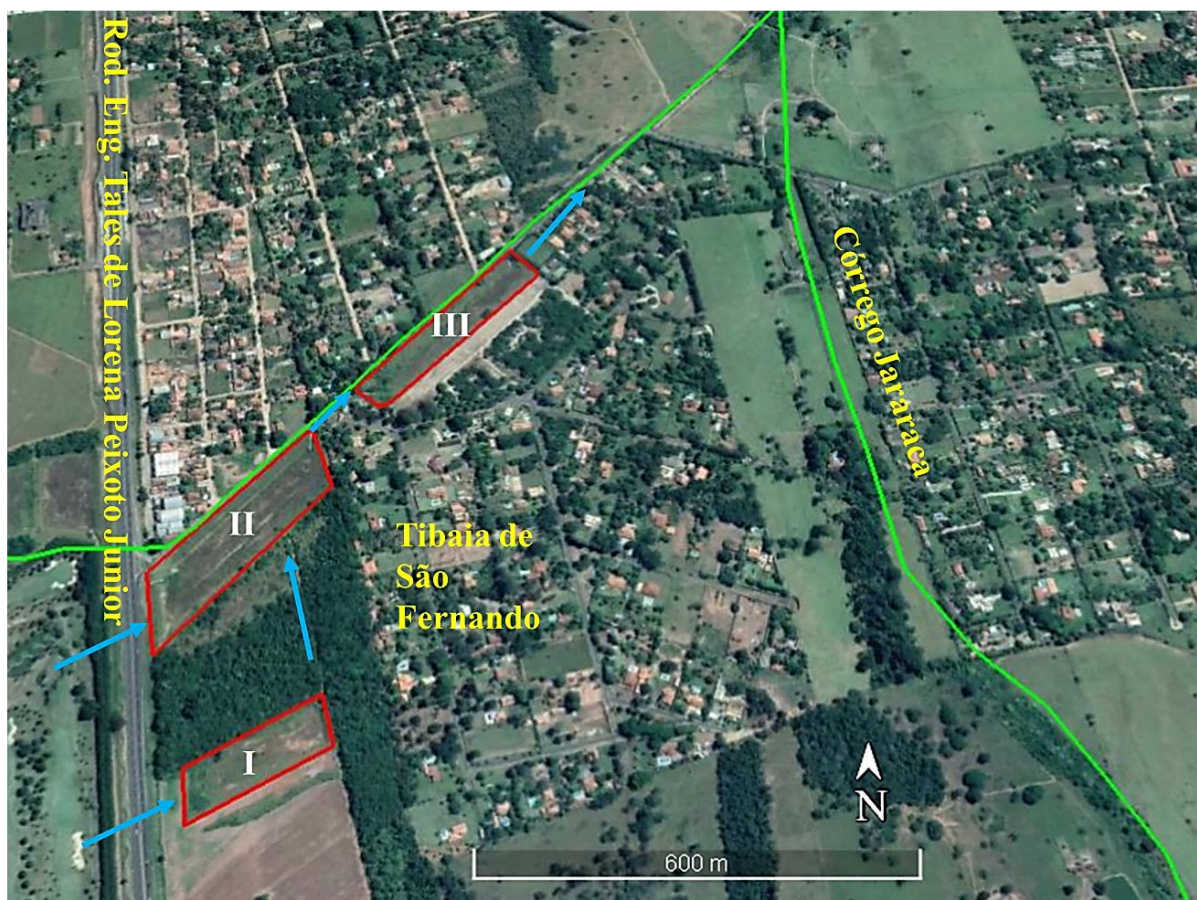
➤ **Sistema de Bacia de Detenção Tibaia de São Fernando:**

O SBD está localizado na região norte do município de São Carlos como apresentado no Quadro 14, fora do perímetro urbano, na região conhecida como Varjão. Segundo o zoneamento Municipal esta localização corresponde à Zona 7 Proteção, regulação e ocupação específica descrita no item 3.3 segundo o Plano Diretor Municipal de 2016.

Segundo entrevistas realizadas com técnicos da prefeitura de São Carlos, este SBD foi implantado devido a um Termo de Ajustamento de Conduta (TAC), firmado entre o Ministério Público Estadual e o empreendedor para fazer o controle sobre a vazão pico e evitar os episódios alagadiços que haviam ocorrido anteriormente.

A Figura 34 apresenta o SBD localizado numa zona rural na lateral direita da Rodovia Engenheiro Thales de Lorena Peixoto Junior sentido distrito Água Vermelha. No perímetro do SBD foram identificados condomínios de chácaras, com a particularidade de possuir uma área verde considerável, também foram observadas plantações de milho.

Figura 34 – Localização SBD Tibaia de São Fernando



Legenda: — BD → Sentido das águas pluviais

Fonte: Adaptado de Google Earth (2018)

O SBD está composto por 3 BD, onde a água pluvial entra na unidade I e na II, e por declividade do terreno, passa até a unidade III onde encontra-se a saída d'água, que é drenada até o córrego da Jararaca. A unidade I encontra-se conectada por meio de uma tubulação com a unidade II, ao igual que a unidade II com a III. Nas Figuras 35 e 36 apresentam-se fotos gerais das unidades III e I respectivamente.

**Figura 35 – Vista geral da unidade III SBD
Tibaia de São Fernando**



Fonte: Autor (Nov./2017)

**Figura 36 – Vista geral da unidade I
SBD Tibaia de São Fernando**



Fonte: Autor (Fev./2018)

Para a caracterização deste SBD foram realizadas visitas no dia 22 de Novembro de 2017 sem precipitação e no dia 14 de Fevereiro de 2018 com precipitação de altura caracterizada no Quadro 15. As unidades I e II contam cada uma com uma estrutura de entrada de água em concreto independente, sendo que na unidade II foi feita uma melhoria construtiva. As outras estruturas existentes são as de conexão entre as BD e uma única estrutura de saída também em concreto para todo o SBD está localizada na unidade III.

Todas as unidades possuem vegetação em toda sua superfície, sendo que, a vegetação menos densa foi identificada na unidade II. Nas visitas feitas não foi observada lâmina de água de altura considerável nem extravasão do SBD. Não foram observados resíduos sólidos nem sedimentos em quantidade considerável.

Quanto ao cercamento das 3 BD que compõem todo o SBD em geral, todas elas contam com alambrado e portão que delimita a BD; a unidade I apresenta o portão fechado com cadeado pelo que não foi possível o acesso ao interior dela.

➤ **Sistema de Bacia de Detenção Varjão:**

O SBD está localizado na região norte do município de São Carlos como apresentado no Quadro 14, fora do perímetro urbano, na região conhecida como Varjão. Segundo o zoneamento Municipal esta localização corresponde à Zona 6C Regulação e ocupação

controlada de menor densidade descrita no item 3.3 conforme o Plano Diretor Municipal de 2016.

Segundo entrevistas realizadas com técnicos da prefeitura este SBD foi implantado devido a um TAC, assinado entre o Ministério Público Estadual e o empreendedor nesta região para fazer controle sobre a vazão pico e evitar os episódios alagadiços que tinham-se apresentado em anteriores oportunidades.

A Figura 37 apresenta o SBD localizado numa zona rural na lateral esquerda da Rodovia Engenheiro Thales de Lorena Peixoto Junior depois do Damha Golf Club sentido distrito Água Vermelha.

Figura 37 – Localização SBD Varjão



Legenda: — BD — Sentido das águas pluviais

Fonte: Adaptado de Google Earth (2018)

O SBD está composto por três BD, onde a água pluvial entra na unidade I, passando pela unidade II e saindo pela III por declividade. A Figura 38 mostra a vista geral da unidade III, sendo que por dificuldade de acesso não foi possível fazer registro fotográfico das outras duas unidades.

Figura 38 - Vista geral da Unidade III SBD Varjão



Fonte: Autor (Nov./2017)

Para a caracterização deste SBD foram realizadas visitas os dias 22 de Novembro de 2017 sem precipitação e 14 de Fevereiro de 2018 com precipitação de altura caracterizada no Quadro 15. A unidade I conta com uma estrutura de entrada d'água em concreto; entre as unidades I, II e III existe uma estrutura de conexão para a passagem da água, e a unidade III possui uma estrutura de saída d'água também em concreto.

Todas as BD possuíam vegetação em toda sua superfície. Nas visitas feitas não foi observada lâmina d'água de altura considerável nem extravasão do SBD. Não foram observados resíduos sólidos nem sedimentos em quantidade considerável.

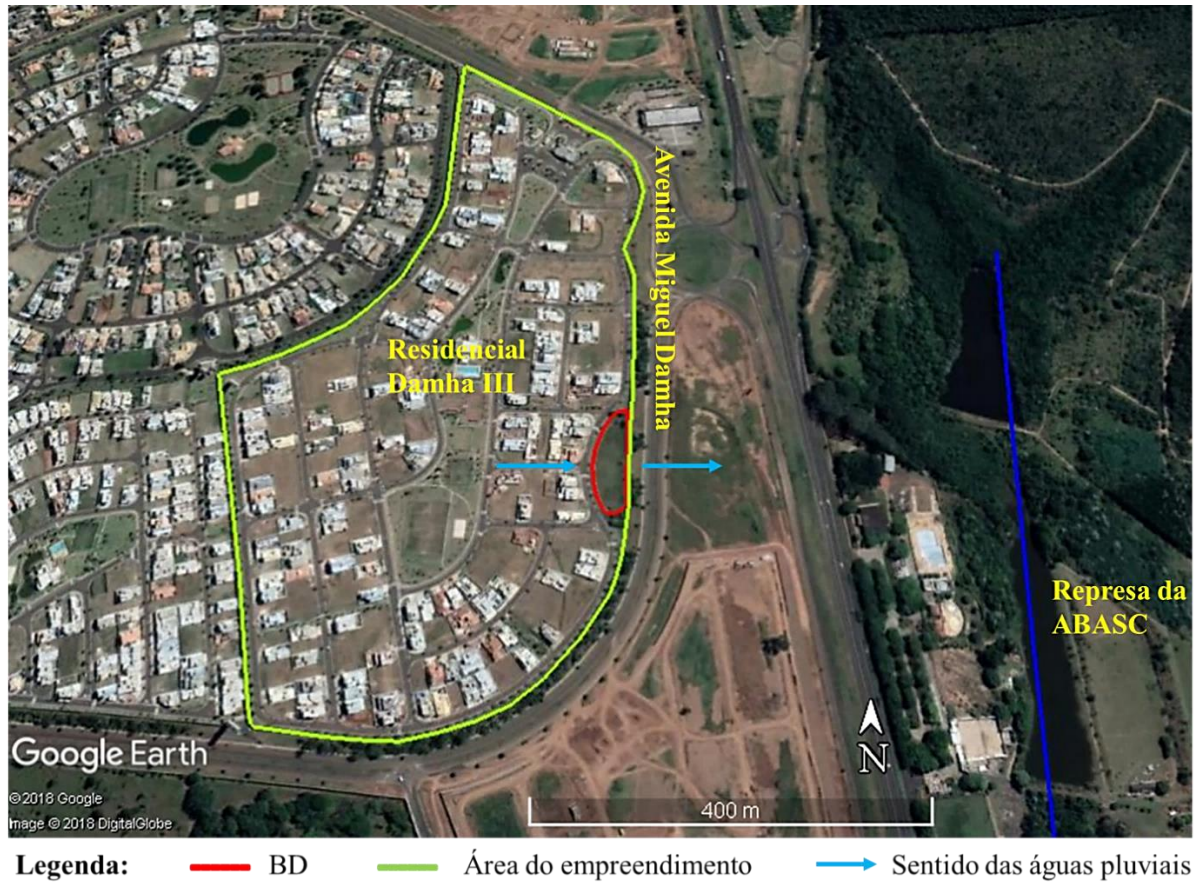
Quanto ao cercamento das 3 BD que compõem todo o SBD em geral, não existem elementos que separem cada uma das unidades, somente foi identificado que todo o SBD está separado da rodovia por uma cerca de arame farpado.

➤ **Bacia de Detenção Residencial Damha III:**

A BD está localizada na região norte do município de São Carlos como apresentado no Quadro 14, dentro do perímetro urbano. Segundo o zoneamento Municipal esta localização corresponde à Zona 3 Ocupação Condicionada descrita no item 3.3 conforme o Plano Diretor Municipal de 2016.

A Figura 39 apresenta a BD localizada em uma área denominada de uso comum, na zona a jusante dentro do condomínio Residencial Damha III, o qual conta com uma área do empreendimento de 289.291,5 m², e 332 unidades habitacionais, localizado junto à Avenida Miguel Damha.

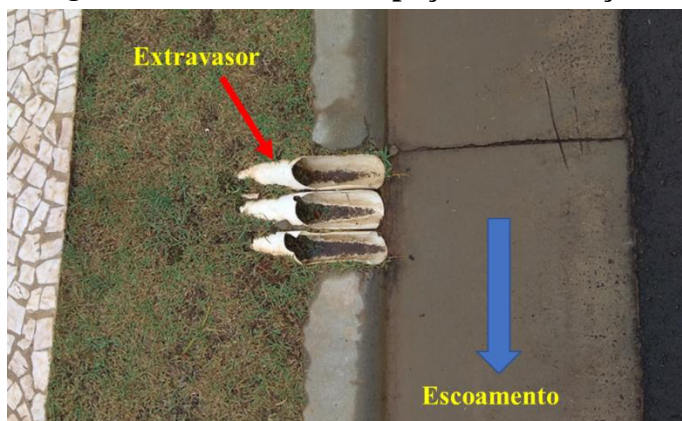
Figura 39 – Localização da BD Residencial Damha III



Fonte: Adaptado de Google Earth (2018)

Cada lote dentro do condomínio possui poço de infiltração de águas pluviais conforme a legislação Municipal, que libera o volume de água excedente nas sarjetas (Figura 40), as quais conduzem estas até as bocas de lobo (Figura 41), para no final conduzi-las até a BD.

Figura 40– Extravasor do poço de infiltração



Fonte: Autor (Set./2018)

Figura 41– Boca de lobo



Fonte: Autor (Set./2018)

A BD recebe as águas pluviais coletadas e transportadas por meio do sistema de microdrenagem do condomínio Residencial Damha III, encaminhando-as logo da detenção até a represa da Associação Beneficente dos Alfaiates de São Carlos (ABASC), diminuindo assim

o impacto gerado por esta urbanização sobre a sub-bacia do Monjolinho. Na Figura 42 apresenta-se uma vista geral da BD.

Figura 42 – Vista Geral da BD Residencial Damha III



Fonte: Autor (Set./2018)

Para a caracterização desta BD foi feita uma visita o dia 14 de Setembro de 2018 com evento de precipitação de altura caracterizada no Quadro 15. Durante a visita foram identificadas três estruturas de entrada d'água com escadas hidráulicas e defletor vertical para a dissipação de energia e uma estrutura de saída com grade no topo dela e orifício de fundo com forma quadrada. Também a BD possui uma rampa para o acesso no interior dela.

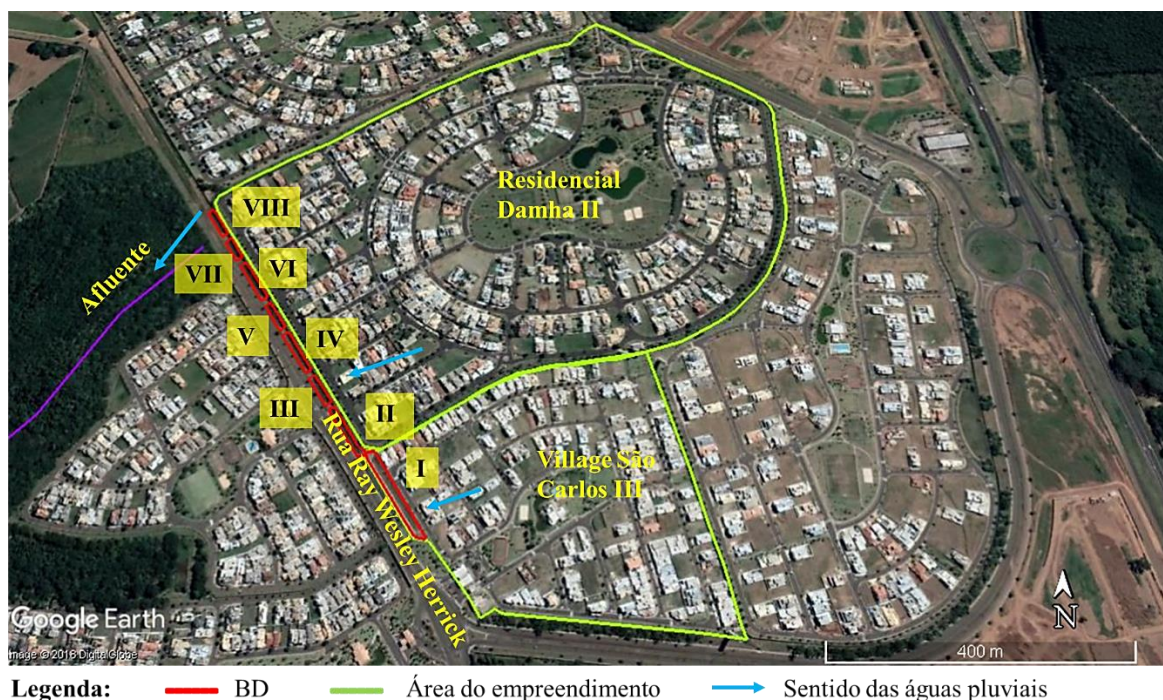
A BD tem vegetação gramada em toda a sua superfície, e cercamento em todo seu perímetro, com portão de acesso controlado pelo pessoal administrativo do condomínio. Foram observados poucos resíduos sólidos perto de uma das entradas de água possivelmente da chuva do dia da visita. Não foram evidenciados sedimentos em quantidade considerável.

➤ **Sistema de Bacia de Detenção Village São Carlos III:**

O SBD está localizado na região norte do município de São Carlos como apresentado no Quadro 14, dentro do perímetro urbano. Segundo o zoneamento Municipal esta localização corresponde à Zona 3 Ocupação condicionada descrita no item 3.3 conforme o Plano Diretor Municipal de 2016.

A Figura 43 apresenta o SBD localizado entre a Rua Ray Wesley Herrick e os condomínios Residencial Damha II e Village São Carlos III. A área total do empreendimento Village São Carlos III é de 140.994,5 m² com um total de 276 residências e a área do empreendimento Residencial Damha II é de 490.484 m² com um total de 510 residências, o que apresenta como área de contribuição do SBD um total de 631.478 m².

Figura 43 – Localização SBD Village São Carlos III



Fonte: Adaptado de Google Earth (2018)

Nas exigências construtivas dos condomínios é solicitado que as bacias de retenção devem ser cercadas com alambrado de altura mínima de 2,1 m, com baldrames de sustentação no solo, além de três fios de arame farpado na curvatura superior dos postes. Estes condomínios devem possuir construções de máximo dois pavimentos, onde para cada unidade residencial é exigida a construção de poço absorvente de águas pluviais.

O SBD está composto por um total de 8 BD com forma retangular onde a dimensão da largura é muito menor do que seu comprimento. Destas 8 bacias a unidade I, fica dentro dos limites do condomínio Village São Carlos III e as outras 7 ficam fora dos limites do condomínio Residencial Damha II, recebendo as águas pluviais do sistema de drenagem de cada um destes condomínios respectivamente. Nas Figuras 44 e 45 apresenta-se uma vista geral das unidades I e II respectivamente.

Para a caracterização deste SBD foi feita uma visita o dia 06 de Maio de 2018 com precipitação de altura caracterizada no Quadro 15. A unidade I possui 3 estruturas para a entrada d'água pluvial que vem do condomínio Village São Carlos III, as demais unidades possuem

estruturas de conexão entre elas para dar passo ao escoamento da água, até a saída final que fica localizada na unidade VIII, levando a água até o afluente do córrego Santa Maria do Leme.

Figura 44– Vista Geral Unidade I SBD

Village São Carlos III



Fonte: Autor (Maio/2018)

Figura 45– Vista Geral Unidade II SBD

Village São Carlos III



Fonte: Autor (Maio/2018)

Todas as BD possuem vegetação em toda sua superfície. Na visita feita foram observadas lâminas de água de baixa profundidade, sem apresentar extravasão de nenhuma unidade. Não foram observados resíduos sólidos nem sedimentos em quantidade considerável, a parte de alguma vegetação acumulada em algumas estruturas hidráulicas.

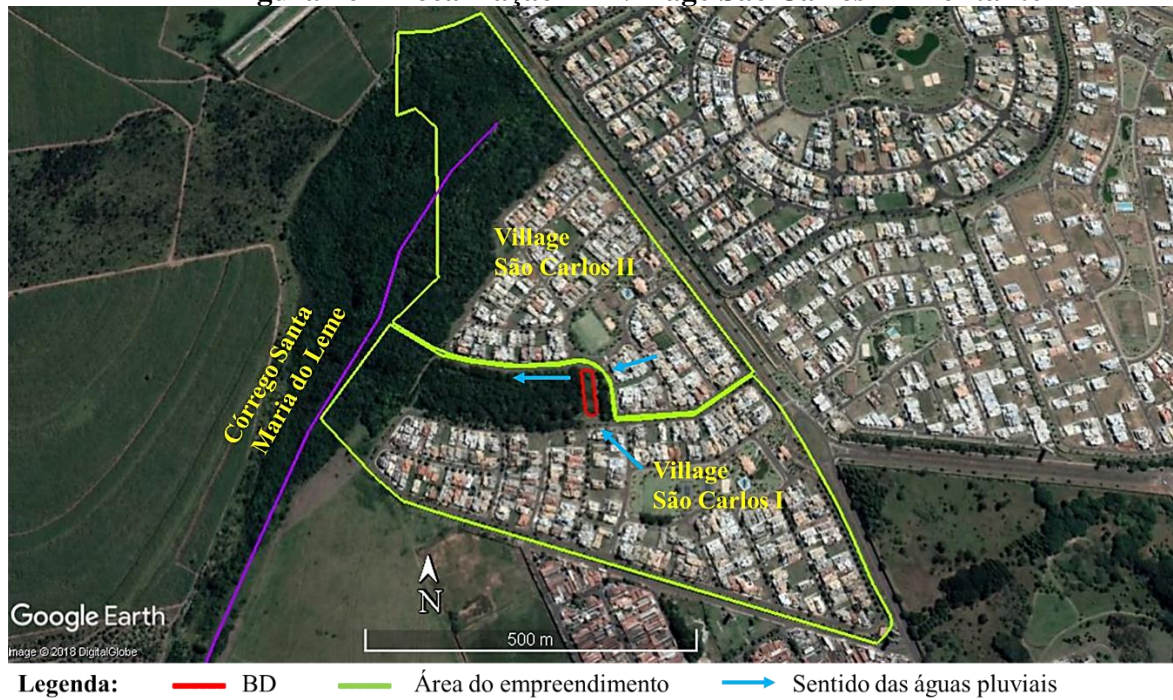
Quanto ao cercamento a unidade I está isolada das outras unidades pelo alambrado. A unidade II até a VIII estão isoladas por um mesmo alambrado, sem existir elementos que separem cada uma destas unidades. Existe um portão para acesso à unidade I por dentro do condomínio Village São Carlos III e dois portões localizados fora do condomínio para o acesso ao restante das unidades.

➤ **Bacia de Detenção Village São Carlos I – montante:**

A BD está localizada na região norte do município de São Carlos como apresentado no Quadro 14, dentro do perímetro urbano. Segundo o zoneamento Municipal esta localização corresponde à Zona 3 Ocupação condicionada descrita no item 3.3 segundo o Plano Diretor Municipal de 2016.

A Figura 46 apresenta a BD localizada dentro do condomínio Village São Carlos I, o qual possui uma área total do empreendimento de 229.354 m² com 313 unidades autônomas, onde para cada uma delas é obrigatório a construção de poço de infiltração de águas pluviais.

Figura 46 – Localização BD Village São Carlos I - montante



Legenda: — BD — Área do empreendimento — Sentido das águas pluviais

Fonte: Adaptado de Google Earth (2018)

A BD encontra-se dentro de uma área verde junto a uma área de reserva legal de 14.400 m², e recebe as águas pluviais de uma parte do condomínio Village São Carlos I e de outra parte do condomínio Village São Carlos II o qual possui uma área do empreendimento de 252.482 m². Nas Figuras 47 e 48 apresentam-se vistas gerais da BD.

Figura 47 – Vista geral fora da BD Village São Carlos I - montante



Fonte: Autor (Maio/2018)

Figura 48 – Vista geral dentro da BD Village São Carlos I - montante



Fonte: Autor (Maio/2018)

Para a caracterização desta BD foi feita uma visita o dia 06 de Maio de 2018 com precipitação de altura caracterizada no Quadro 15. Durante a visita foi identificada uma estrutura de entrada d'água e uma de saída, porém, o projeto urbanístico apresenta duas estruturas de entrada e duas de saída, pelo que possivelmente não foram observadas ao estar

ocultas pela vegetação. A água armazenada é levada até outra BD localizada no mesmo condomínio mais para a jusante.

A BD possui vegetação em toda sua superfície. Foram observadas lâminas d'água de baixa profundidade no dia da chuva, sem apresentar extravasão da unidade. Alguns resíduos sólidos foram observados perto da estrutura de entrada.

Quanto ao cercamento a BD está totalmente isolada com alambrado e tem um portão de acesso para o ingresso ao interior dela que fica com cadeado controlado pelo pessoal administrativo do condomínio.

➤ **Bacia de Detenção Village São Carlos I – jusante:**

A BD está localizada na região norte do município de São Carlos como apresentado no Quadro 14, dentro do perímetro urbano. Segundo o zoneamento Municipal esta localização corresponde à Zona 3 Ocupação condicionada descrita no item 3.3 conforme o Plano Diretor Municipal de 2016.

A Figura 49 apresenta a BD localizada na zona mais a jusante do condomínio Village São Carlos I, que possui uma área do empreendimento de 229.354 m² com 313 unidades autônomas, onde para cada uma delas é obrigatório a construção do poço de recepção das águas pluviais. A BD localiza-se fora dos limites do condomínio, porém sua entrada é controlada desde o interior dele.

Figura 49 – Localização BD Village São Carlos I - jusante



Legenda: ■ BD — Área do empreendimento → Sentido das águas pluviais

Fonte: Adaptado de Google Earth, (2018)

A BD encontra-se dentro de uma área destinada para ela de aproximadamente 916 m² ao lado de uma área verde de reserva legal de 27.741 m² por onde passa o córrego Santa Maria do Leme. Esta BD recebe as águas pluviais de outra BD localizada mais para montante no mesmo condomínio e do sistema de microdrenagem de uma parte do condomínio Village São Carlos I. Nas Figuras 50 e 51 são apresentadas vistas gerais desta BD.

Figura 50 – Vista geral BD Village São Carlos I - jusante



Fonte: Autor (Maio/2018)

Figura 51 – Interior da BD Village São Carlos I - jusante



Fonte: Autor (Maio/2018)

Para a caracterização desta BD foi feita uma visita o dia 06 de Maio de 2018 com precipitação de altura caracterizada no Quadro 15. Durante a visita foi identificada uma estrutura de entrada d'água, mas não foi possível identificar a estrutura de saída, provavelmente oculta pela vegetação, a qual deve drenar a água armazenada até o córrego Santa Maria do Leme.

A BD possui vegetação em toda sua superfície. Não foi observada lâmina d'água considerável depois do evento de precipitação. Igualmente não foram observados resíduos sólidos, destacando que a altura da vegetação não deixou identificar de forma certa estas características.

Quanto ao cercamento observou-se um alambrado em todo o perímetro da BD junto com um portão que fica trancado e controlado pela administração do condomínio, além disso, também é necessário atravessar outro portão para sair dos limites do condomínio e chegar até a BD.

➤ **Bacia de Detenção saída norte UFSCar:**

A BD está localizada na região norte do município de São Carlos como apresentado no Quadro 14, dentro do perímetro urbano. Segundo o zoneamento Municipal esta localização

corresponde à Zona 3 Ocupação condicionada descrita no item 3.3 conforme o Plano Diretor Municipal de 2016.

Segundo entrevista com Engenheiro da construtora que fez a implantação da BD, esta tem como objetivo coletar as águas pluviais do condomínio Village São Carlos IV, que atualmente está em processo de construção.

A Figura 52 apresenta a BD localizada entre a Rua Kenneth Gilbert Herrick e a Rodovia SP-318, numa área de frente à saída norte da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). A gleba onde se encontra localizada a BD está em processo de urbanização e o córrego mais perto dela corresponde ao córrego do Fazzari afluente do Monjolinho.

Figura 52 – Localização BD saída norte UFSCar



Legenda: — BD → Sentido das águas pluviais

Fonte: Adaptado de Google Earth, (2018)

A BD tem uma forma alongada com uma curvatura no meio e possui uma rampa em terra para o acesso ao interior dela. Nas figuras 53 e 54 são apresentadas vistas gerais da BD, cada uma corresponde a uma metade de sua totalidade.

Para a caracterização desta BD foram feitas duas visitas, o dia 07 de Maio de 2018 sem precipitação e o dia 15 de Maio de 2018 com precipitação de altura caracterizada no Quadro 15. Durante a visita foi identificada uma estrutura de entrada d'água e uma estrutura de saída com 3 orifícios de fundo com forma quadrada.

A BD possui vegetação gramínea nos taludes, porém seu fundo encontra-se sem cobertura vegetal. Não foi observada lâmina de água considerável depois do evento de precipitação, também não foram observados resíduos sólidos no interior da BD.

Figura 53 – Vista geral acesso BD saída norte UFSCar



Fonte: Autor (Maio/2018)

Figura 54 – Vista geral interior BD saída norte UFSCar



Fonte: Autor (Maio/2018)

Quanto ao cercamento observou-se que a BD está delimitada em todo seu perímetro por alambrado e possui um portão sem travas para o acesso nela. Nota-se processos erosivos em algumas partes do fundo e a rampa de acesso, também foi percebido que o terreno estava em condições de amolecimento devido a umidade.

➤ **Bacia de Detenção Parque Espraiado:**

A BD está localizada na região Norte do município de São Carlos como apresentado no Quadro 14, dentro do perímetro urbano. Segundo o zoneamento Municipal esta localização corresponde à Zona 5A Proteção e ocupação controlada – SUC Monjolinho-Espraído descrita no item 3.3 segundo o Plano Diretor Municipal de 2016.

A Figura 55 apresenta a BD localizada na zona mais a jusante do condomínio Parque do Espraído, o qual possui uma área total do empreendimento de 157.400 m² com 226 unidades habitacionais. Cada lote do condomínio conta com um poço de infiltração de águas pluviais. Vale salientar que a zona onde a BD está localizada faz parte do manancial de abastecimento do Monjolinho.

A BD encontra-se implantada numa área verde de 2.039,9 m² dentro dos limites do condomínio, e recebe as águas pluviais coletadas e transportadas pelo sistema de microdrenagem para encaminhá-las até o Córrego Monjolinho. Ressalta-se que esta BD é a que se encontra mais perto de uma das áreas de risco de inundação como apresentado na Figura 33.

Figura 55 – Localização da BD Parque do Espraiado



Fonte: Autor (2018)

Para a caracterização desta BD foram feitas duas visitas, o dia 14 de Maio de 2018 sem precipitação e o dia 15 de Maio com evento de precipitação de altura caracterizada no Quadro 15. Durante a visita foi identificada uma estrutura de entrada d'água e uma de saída com orifício de fundo circular e protegido por uma grelha. Apreciaram-se dentro dos limites da BD no perímetro dela algumas plantações de mamão e maracujá como uma atividade de aproveitamento da zona verde ocupada pela BD. Na Figura 56 é apresentada uma vista geral da BD.

Figura 56 – Vista geral da BD Parque do Espraiado



Fonte: Autor (Maio/2018)

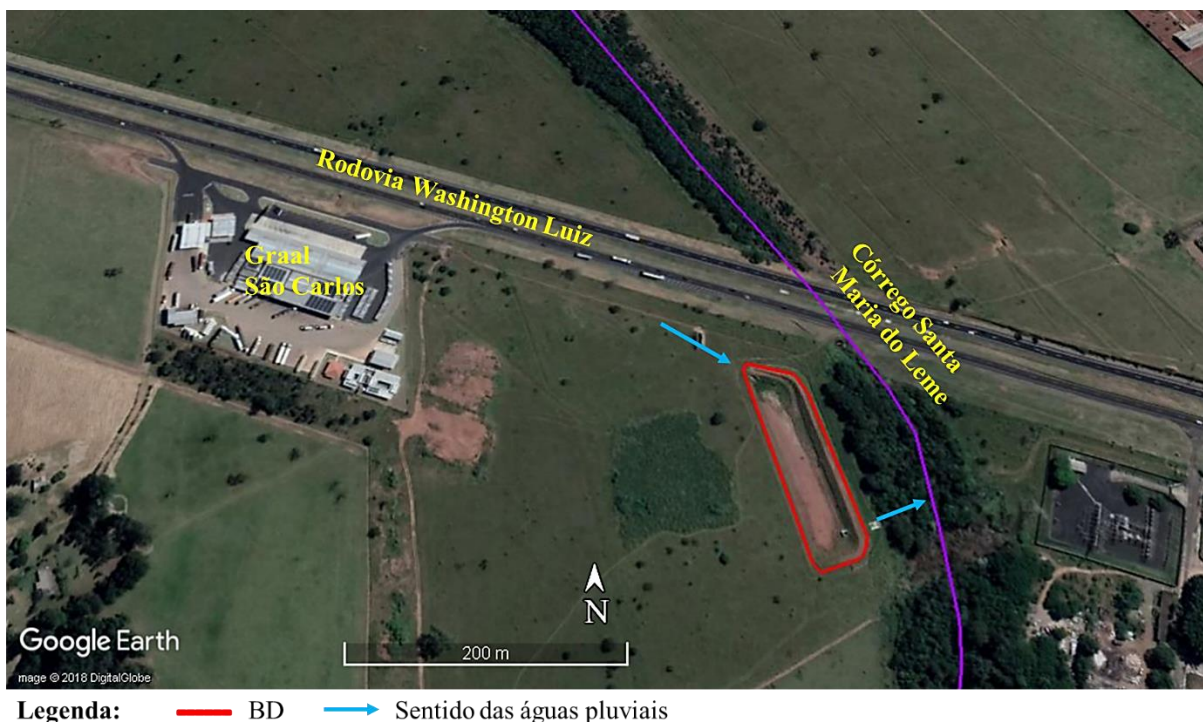
A BD possui vegetação em toda a sua superfície, com árvores no perímetro dela. Não foram observados resíduos sólidos nem sedimentos na BD. No dia da precipitação não foi observada lâmina de água com altura considerável dentro da unidade. Quanto ao cercamento observou-se que a BD está delimitada em todo o seu perímetro por cerca metálica e um portão de acesso controlado pelo pessoal administrativo do condomínio.

➤ **Bacia de Detenção Graal São Carlos:**

A BD está localizada na região norte do município de São Carlos como apresentado no Quadro 14, fora do perímetro urbano. Segundo o zoneamento Municipal esta localização corresponde à Zona 6B Regulação e ocupação controlada de média densidade descrita no item 3.3 conforme o Plano Diretor Municipal de 2016.

A Figura 57 apresenta a BD localizada na zona a jusante do posto Graal São Carlos, na lateral da Rodovia Washington Luiz; encontra-se muito perto do limite do perímetro urbano delimitado pelo córrego de Santa Maria do Leme no qual é drenada a água armazenada na BD.

Figura 57 – Localização da BD Graal São Carlos



Fonte: Adaptado de Google Earth (2018)

A BD encontra-se numa zona não edificada com predominância de área gramada, possui uma rampa em terra para o acesso ao interior dela. Nas figuras 58 e 59 são apresentadas vistas gerais da BD, em dia sem precipitação e com precipitação respectivamente. Observa-se a mudança na cor e quantidade na vegetação nas diferentes datas.

Figura 58 – Vista geral BD Graal São Carlos (estiagem)



Fonte: Autor (Ago./2017)

Figura 59 – Vista geral BD Graal São Carlos (precipitação)



Fonte: Autor (Mar./2018)

Para a caracterização desta BD foram feitas duas visitas, o dia 13 de Agosto de 2017 sem precipitação e o dia 03 de Março de 2018 com precipitação de altura caracterizada no Quadro 15. Durante a visita foi identificada uma estrutura de entrada d'água com escadas hidráulicas e uma estrutura de saída com 3 orifícios de fundo circulares, com dois deles em cota maior do que a cota do terreno.

A BD possui vegetação gramínea nos taludes, porém seu fundo tem principalmente cobertura em terra. Não foi observada lâmina de água considerável depois do evento de precipitação. Igualmente não foram observados resíduos sólidos no interior da BD, somente acúmulo de sedimentos na zona da estrutura de entrada.

Quanto ao cercamento observou-se que a BD está delimitada em todo o seu perímetro por alambrado e possui um portão para o acesso nela que se encontrava sem travar. Foi percebido a existência de 6 poços de inspeção ao redor da área de contribuição, apreciando-se a galeria subterrânea de águas pluviais chegando até a estrutura de entrada. Existe também uma estrutura para dissipação de energia antes de drenar a água para o córrego a qual por meio de uma parede separa o fluxo de água em duas linhas.

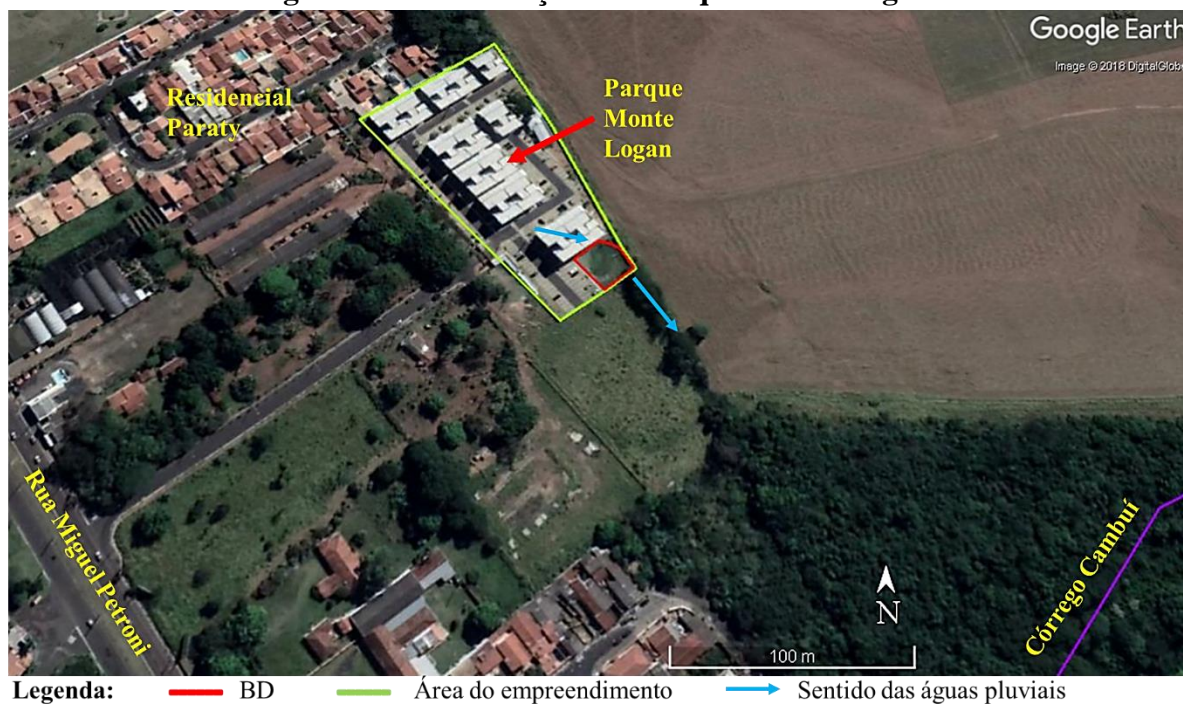
➤ **Bacia de Detenção Parque Monte Logan:**

A BD está localizada na região oeste do município de São Carlos como apresentado no Quadro 14, dentro do perímetro urbano. Segundo o zoneamento Municipal esta localização corresponde à Zona 2 Ocupação induzida descrita no item 3.3 conforme o Plano Diretor Municipal de 2016.

A Figura 60 apresenta a BD localizada na zona mais a jusante do condomínio Parque Monte Logan, o qual possui uma área total de 13.422,63 m² com 224 apartamentos, com acesso

pela Rua Miguel Petroni junto ao loteamento Residencial Paraty. No condomínio Parque Monte Logan ao invés da construção de poço de infiltração junto à cada bloco, foram implantados dispositivos de infiltração dentro da BD.

Figura 60 – Localização BD Parque Monte Logan



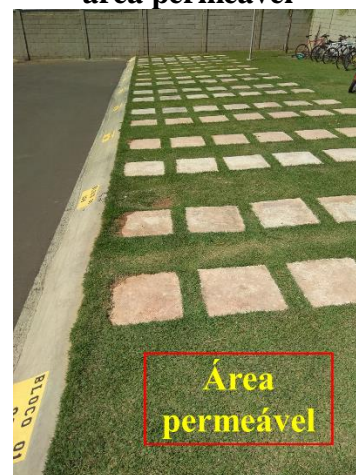
A BD está implantada dentro de uma área permeável de 1.154,4 m², esta recebe as águas pluviais coletadas por meio das bocas de lobo do sistema de drenagem do condomínio encaminhando a vazão afluyente até o córrego Cambuí o qual é um afluyente do córrego Santa Maria do Leme. Na Figura 61 apresenta-se a vista geral da BD, na Figura 62 mostra-se o estacionamento no entorno da BD que possui cobertura permeável.

Figura 61 – Vista geral interior da BD Parque Monte Logan



Fonte: Autor (Ago./2018)

Figura 62 – Estacionamento com área permeável



Fonte: Autor (Ago./2018)

Para a caracterização desta BD foi feita uma visita o dia 29 de Agosto de 2018 sem evento de precipitação e o dia 25 de Outubro de 2018 com precipitação de altura caracterizada no Quadro 15. Durante a visita foram identificadas duas estruturas de entrada d'água com escadas hidráulicas e defletor vertical, e uma estrutura de saída com orifício de fundo quadrado. Também a BD possui duas tubulações em policloreto de vinil (PVC) chegando nela, que coletam a água da superfície dos estacionamentos e de uma vala na lateral do condomínio.

A BD possui vegetação em toda a sua superfície, exceto nas áreas onde a água faz o primeiro contato na BD a qual está revestida com concreto. Não foram observados resíduos sólidos nem sedimentos na BD. Quanto ao cercamento observou-se que a BD está delimitada em todo o seu perímetro por alambrado e possui um portão para o acesso nela.

➤ **Bacia de Detenção Sítio Paraíso:**

A BD está localizada na região oeste do município de São Carlos como apresentado no Quadro 14, fora do perímetro urbano. Segundo o zoneamento Municipal esta localização corresponde à Zona 6B Regulação e ocupação controlada de média densidade descrita no item 3.3 conforme o Plano Diretor Municipal de 2016.

A Figura 63 apresenta a BD localizada numa área verde denominada sítio Paraíso, na lateral da Rua Miguel Petroni e de loteamentos como Jardim Ipanema, Arnon de Melo e o condomínio Residencial Montreal.

Figura 63 – Localização da BD sítio Paraíso



Legenda: — BD → Sentido das águas pluviais

Fonte: Adaptado de Google Earth (2018)

Esta BD foi implantada para amortecer o volume de água pluvial proveniente de toda macro região de Santa Felícia. A BD encontra-se numa zona não edificada com predominância de área gramada, por onde transitam animais como vacas e cavalos. Na figura 64 é apresentada uma vista geral da BD.

Figura 64 – Vista geral da BD sítio Paraíso



Fonte: Autor (Ago./2017)

Para a caracterização desta BD foram feitas duas visitas, o dia 13 de Agosto de 2017 sem precipitação e o dia 03 de Março de 2018 com precipitação de altura caracterizada no Quadro 15. Durante a visita foi identificada uma estrutura de entrada d'água e uma estrutura de saída.

A BD possui vegetação gramínea nos taludes, porém seu fundo tem principalmente cobertura em terra. Não foi observada lâmina de água considerável depois do evento de precipitação, excetuando acumulação de água na estrutura de entrada, que deu formação a uma vegetação diferente à observada nos taludes.

Foram observados alguns resíduos perto da estrutura de entrada de água, pelo que possivelmente foram carregados pelo escoamento pluvial. Quanto ao cercamento, observou-se que a BD está delimitada em todo seu perímetro por alambrado e possui um portão para o acesso , encontrando-se este sem travar.

➤ **Bacia de Detenção Residencial Eldorado:**

A BD está localizada na região oeste do município de São Carlos como apresentado no Quadro 14, dentro do perímetro urbano. Segundo o zoneamento Municipal esta localização corresponde à Zona 2 Ocupação Induzida descrita no item 3.3 conforme o Plano Diretor Municipal de 2016.

A Figura 65 apresenta a BD localizada na zona mais a jusante do condomínio Eldorado, o qual possui área total do empreendimento de 172.014 m² com 326 unidades autônomas, onde para cada uma delas é obrigatório a construção de poço de recepção das águas pluviais. A BD localiza-se fora dos limites do condomínio, a qual limita com a Rodovia Washington Luiz.

Figura 65 – Localização BD Residencial Eldorado



Fonte: Adaptado de Google Earth (2018)

A BD encontra-se dentro de uma área denominada como sistema de lazer com 8.727,6 m² com forma triangular, e recebe as águas pluviais do sistema de drenagem do condomínio Eldorado. Na Figura 66 é apresentada uma vista geral desta BD.

Para a caracterização desta BD foi feita uma visita o dia 14 de Maio de 2018 sem evento de precipitação e o dia 10 de Novembro de 2018 com precipitação caracterizada no Quadro 15, durante a visita foi identificada uma estrutura de entrada d'água e uma estrutura de saída com orifício de fundo de forma retangular.

A BD possui vegetação em toda sua superfície, com a presença de folhas secas que caem das árvores no seu perímetro. Não foram observados resíduos sólidos nem sedimentos no interior da BD, porém, foi evidenciada uma quantidade considerável de folhas secas dentro da BD. Quanto ao cercamento observou-se que a BD não conta com nenhuma estrutura de isolamento como alambrado ou portão.

Figura 66 – Vista geral da BD Residencial Eldorado



Fonte: Autor (Maio/2018)

➤ **Bacia de Detenção Parque Monte Everest:**

A BD está localizada na região oeste do município de São Carlos como apresentado no Quadro 14, dentro do perímetro urbano. Segundo o zoneamento Municipal esta localização corresponde à Zona 2 Ocupação induzida descrita no item 3.3 conforme o Plano Diretor Municipal de 2016.

A Figura 67 apresenta a BD localizada na zona a jusante dentro do condomínio Parque Monte Everest com uma área do empreendimento de 54.554,42 m², localizado na região do Jardim Ipanema, entre a Rua Antônio Novaes e a Avenida João Deriggi. O córrego do Cancã é o mais próximo no qual a água da BD é direcionada.

O Monte Everest é um condomínio residencial vertical com 532 unidades, o qual possui um 21,77% da área total do imóvel destinada como permeável, com a disposição de arborização ao interior do condomínio como nas zonas de lazer, os estacionamentos e entre os blocos, o qual favorece a infiltração da água no solo.

Figura 67 - Localização BD Monte Everest



Legenda: — BD — Área do empreendimento → Sentido das águas pluviais

Fonte: Adaptado de Google Earth (2018)

A BD recebe as águas pluviais coletadas por meio das bocas de lobo do sistema de drenagem do condomínio Parque Monte Everest diminuindo o impacto gerado por esta urbanização sobre o córrego cancã. Na Figura 68 apresenta-se uma vista geral da BD.

Figura 68 – Vista Geral da BD Monte Everest



Fonte: Autor (Maio/2018)

Para a caracterização desta BD realizou-se uma visita no dia 11 de Maio de 2018 sem evento de precipitação e no dia 25 de Outubro de 2018 com precipitação de altura caracterizada no Quadro 15. Durante a visita foram identificadas duas estruturas de entrada d'água com escadas hidráulicas e uma estrutura de saída com orifício de fundo de forma quadrada. Também a BD possui duas tubulações em PVC que coletam a água da superfície permeável dos estacionamentos e da área de lazer.

A BD possui vegetação em toda a sua superfície, excetuando as áreas onde a água faz o primeiro contato na BD a qual está revestida com concreto. Não foram observados resíduos sólidos nem sedimentos na BD. Quanto ao cercamento observou-se que a BD está delimitada em todo seu perímetro por alambrado e possui um portão para o acesso nela.

➤ **Bacia de Detenção Jardim Araucária – Fase 01:**

A BD está localizada na região oeste do município de São Carlos como apresentado no Quadro 14, dentro do perímetro urbano. Segundo o zoneamento Municipal esta localização corresponde à Zona 2 Ocupação induzida descrita no item 3.3 segundo o Plano Diretor Municipal de 2016.

A Figura 69 apresenta a BD localizada na zona a jusante do loteamento Jardim Araucária – Fase 01, lateral a Rua Dilce Beliasalma. A área total do empreendimento Jardim Araucária Fase 01 e Fase 02 é de 300.249 m² e possui uma totalidade de 692 lotes.

Figura 69 – Localização da BD Jardim Araucária – Fase 01



Legenda: — BD — Área do empreendimento → Sentido das águas pluviais

Fonte: Adaptado de Google Earth (2018)

A BD definida como equipamento urbano segundo projeto urbanístico, localiza-se circundada por um sistema de lazer de 3.240 m², junto a APP do córrego Cancã a qual possui uma área de 12.986,45 m². Esta BD recebe as águas pluviais coletadas por meio das bocas de lobo do sistema de drenagem do loteamento Jardim Araucária – Fase 01, diminuindo o impacto sobre o Córrego Cancã gerado por esta urbanização. Além do loteamento existem também cultivos de milho perto dos limites da BD. Nas Figuras 70 e 71 apresentam-se vistas gerais da BD.

**Figura 70 – Vista geral exterior da BD
Jardim Araucária – Fase 01**



Fonte: Autor (Ago./2017)

**Figura 71 – Vista geral interior da BD
Jardim Araucária – Fase 01**



Fonte: Autor (Mar./2018)

Para a caracterização desta BD foram feitas duas visitas, o dia 13 de Agosto de 2017 sem precipitação e o dia 03 de Março de 2018 com precipitação de altura de caracterizada no Quadro 15. Durante a visita foram identificadas duas estruturas de entrada d'água ambas com escadas hidráulicas e uma estrutura de saída.

A BD possui vegetação em toda a sua superfície. Não foi observada lâmina de água considerável depois do evento de precipitação, excetuando acumulação de água na zona perto da estrutura de entrada, que deu formação a uma vegetação com maior altura do que no resto da BD.

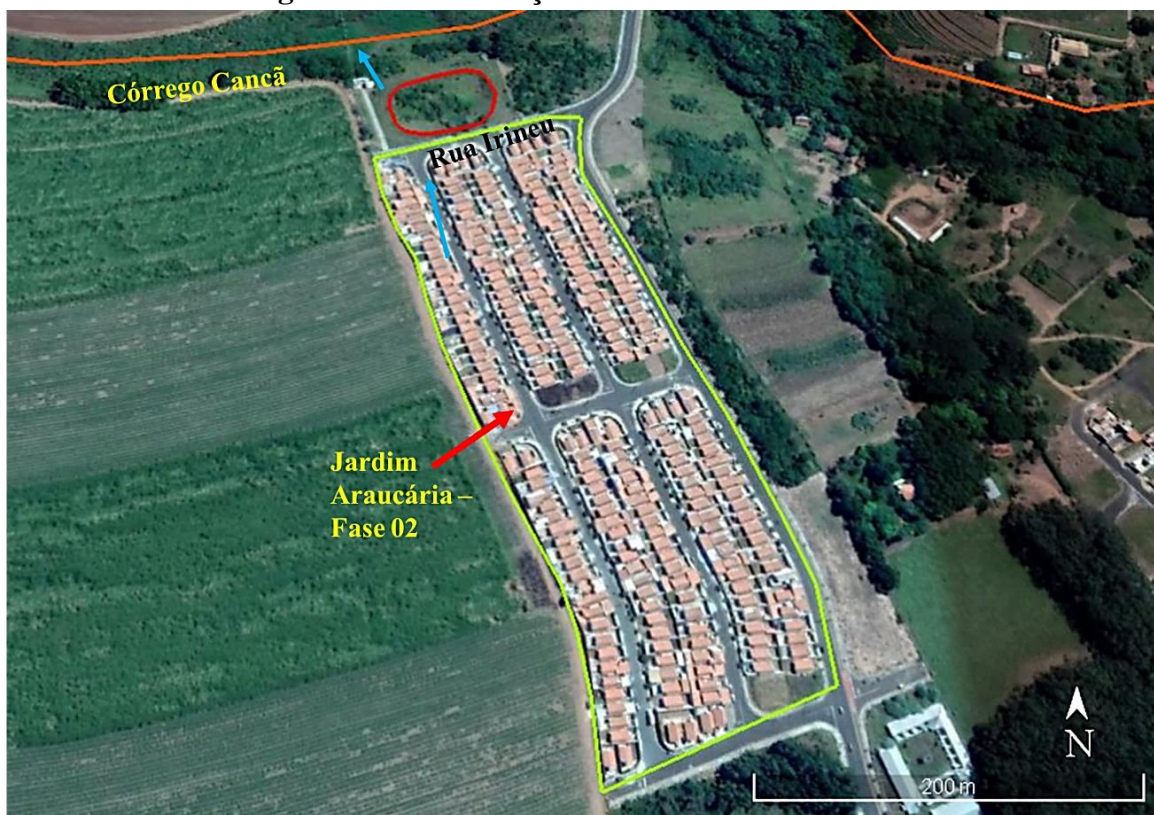
Não foram observados resíduos sólidos na BD, porém, foi observada a acumulação de sedimentos perto das estruturas de entrada d'água. Quanto ao cercamento observou-se que a BD está separada do loteamento por alambrado.

➤ **Bacia de Detenção Jardim Araucária – Fase 02:**

A BD está localizada na região oeste do município de São Carlos como apresentado no Quadro 14, dentro do perímetro urbano. Segundo o zoneamento Municipal esta localização corresponde à Zona 2 Ocupação induzida descrita no item 3.3 segundo o Plano Diretor Municipal de 2016.

A Figura 72 apresenta a BD localizada na zona a jusante do loteamento Jardim Araucária – Fase 02, lateral à Rua Irineu.

Figura 72 – Localização BD Jardim Araucária – Fase 02



Legenda: — BD — Área do empreendimento → Sentido das águas pluviais

Fonte: Adaptado de Google Earth (2018)

A BD definida como equipamento urbano segundo projeto urbanístico, localiza-se circundado por um sistema de lazer de 5.163,93 m², junto a APP do córrego Cancã. Esta BD recebe as águas pluviais coletadas por meio das bocas de lobo do sistema de drenagem do loteamento Jardim Araucária – Fase 02 diminuindo o impacto sobre o córrego Cancã gerado por esta urbanização. A BD apresenta uma rampa em concreto que leva até um quarto de bombas localizado no perímetro da BD. Nas Figuras 73 e 74 apresentam-se vistas gerais da BD.

Para a caracterização desta BD foram feitas duas visitas, no dia 13 de Agosto de 2017 sem precipitação e no dia 03 de Março de 2018 com precipitação de altura caracterizada no Quadro 15. Durante a visita foram identificadas duas estruturas de entrada d'água com escadas hidráulicas e uma estrutura de saída.

A BD possui vegetação em toda a sua superfície. Foi observada lâmina de água de baixa altura depois do evento de precipitação, em uma grande parte da área da BD. Não foram observados resíduos sólidos na BD, porém, foi observada a acumulação de sedimentos perto das estruturas de entrada d'água. Quanto ao cercamento a BD tem alambrado no perímetro externo impedindo a entrada da população e conta com um portão travado.

Figura 73 – Vista geral exterior da BD Jardim Araucária – Fase 02



Fonte: Autor (Ago./2017)

Figura 74 – Vista geral interior da BD Jardim Araucária – Fase 02



Fonte: Autor (Mar./2018)

➤ **Bacia de Detenção Moradas São Carlos III:**

A BD está localizada na região oeste do município de São Carlos como apresentado no Quadro 14, dentro do perímetro urbano. Segundo o zoneamento Municipal esta localização corresponde à Zona 2 Ocupação induzida descrita no item 3.3 segundo o Plano Diretor Municipal de 2016.

A Figura 75 apresenta a BD localizada na zona mais a jusante do condomínio Moradas São Carlos III, o qual possui 454 unidades habitacionais. O condomínio Terra Nova localizado mais para montante o qual tem 442 unidades habitacionais e uma área de 102.432 m², também faz parte da área de contribuição desta BD. Com isto a totalidade da área de contribuição é de 18,42 hectares.

Figura 75 – Localização BD Moradas São Carlos III



Legenda: — BD — Área do empreendimento → Sentido das águas pluviais

Fonte: Adaptado de Google Earth (2018)

A BD definida como equipamento urbanístico está implantada fora dos limites do condomínio Moradas São Carlos III. Esta recebe as águas pluviais coletadas pelo sistema de drenagem dos condomínios Moradas São Carlos III e Terra Nova São Carlos, encaminhando a vazão afluyente até o Córrego Fazenda Rancho Alegre o qual é afluyente do Córrego Cancã. Na Figura 76 apresenta-se uma vista geral da BD, na Figura 77 mostra-se o sistema de coleta das águas pluviais em cada lote.

Figura 76 – Vista geral BD Moradas São Carlos III



Fonte: Autor (Maio/2018)

Figura 77 – Drenagem dos lotes



Fonte: Autor (Maio/2018)

Para a caracterização desta BD foi feita uma visita o dia 11 de Maio de 2018 sem evento de precipitação e o dia 10 de Novembro com evento de precipitação de altura caracterizada no Quadro 15. Durante a visita devido à altura da vegetação não foi possível identificar a estrutura de entrada d'água, porém, segundo o projeto de drenagem pluvial ela conta com duas entradas. Foi observada uma estrutura de saída com grade no topo dela.

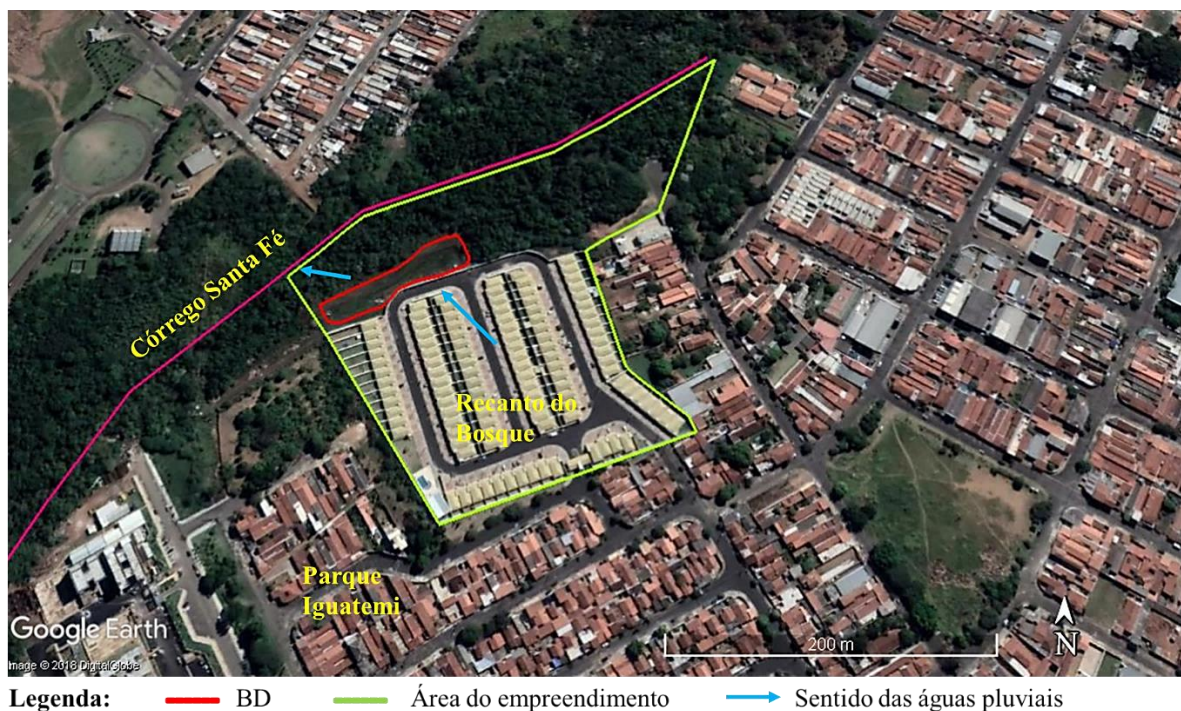
A BD possui vegetação em toda a sua superfície, com árvores dentro dela. Não foi possível a observação de resíduos sólidos ou sedimentos na BD, já que ela encontrava-se com o portão travado, sendo localizada fora do condomínio e o acesso não é controlado pela administração deste. Quanto ao cercamento observou-se que a BD está delimitada em todo seu perímetro por alambrado.

➤ **Bacia de Detenção Recanto do Bosque:**

A BD está localizada na região Oeste do município de São Carlos como apresentado no Quadro 14, dentro do perímetro urbano. Segundo o zoneamento Municipal esta localização corresponde à Zona 2 Ocupação Induzida descrita no item 3.3 conforme o Plano Diretor Municipal de 2016.

A Figura 78 apresenta a BD localizada na zona mais a jusante do condomínio Recanto do Bosque com área total do empreendimento de 56.809 m², sendo 46,44% desta área impermeável, onde a BD capta as águas pluviais deste condomínio, encaminhando-as para o Córrego Santa Fé, o qual é um afluente do Córrego Mineirinho. O condomínio também conta com sistema de poço de infiltração individual para cada lote, contribuindo para retardar o escoamento superficial dentro de cada unidade.

Figura 78 – Localização BD Recanto do Bosque



Fonte: Adaptado de Google Earth (2018)

Para o acesso na BD deve-se atravessar o sistema de lazer do loteamento Parque Iguatemi que possui uma área de 6.603 m². Ressalta-se que a BD está localizada fora dos limites do condomínio Recanto do Bosque. Na Figura 79 é apresentada uma vista geral da BD.

Para a caracterização desta BD foi feita uma visita, o dia 03 de Março de 2018 com evento de precipitação de altura caracterizada no Quadro 15. Durante a visita foram identificadas duas estruturas de entrada de água e uma de saída, todas em concreto. Como caso particular as estruturas de entrada desta BD possuíam orifício de fundo para o controle das águas pluviais que ingressam na BD, assim como orifício de fundo na estrutura de saída para controle da vazão efluente.

A BD possui vegetação com altura considerável de diferentes espécies em toda a sua superfície. Não foram observados resíduos sólidos nem sedimentos na BD. No dia da precipitação não foi observada formação de lâmina de água dentro da unidade.

Figura 79 – Vista geral BD Recanto do Bosque



Fonte: Autor (Mar./2018)

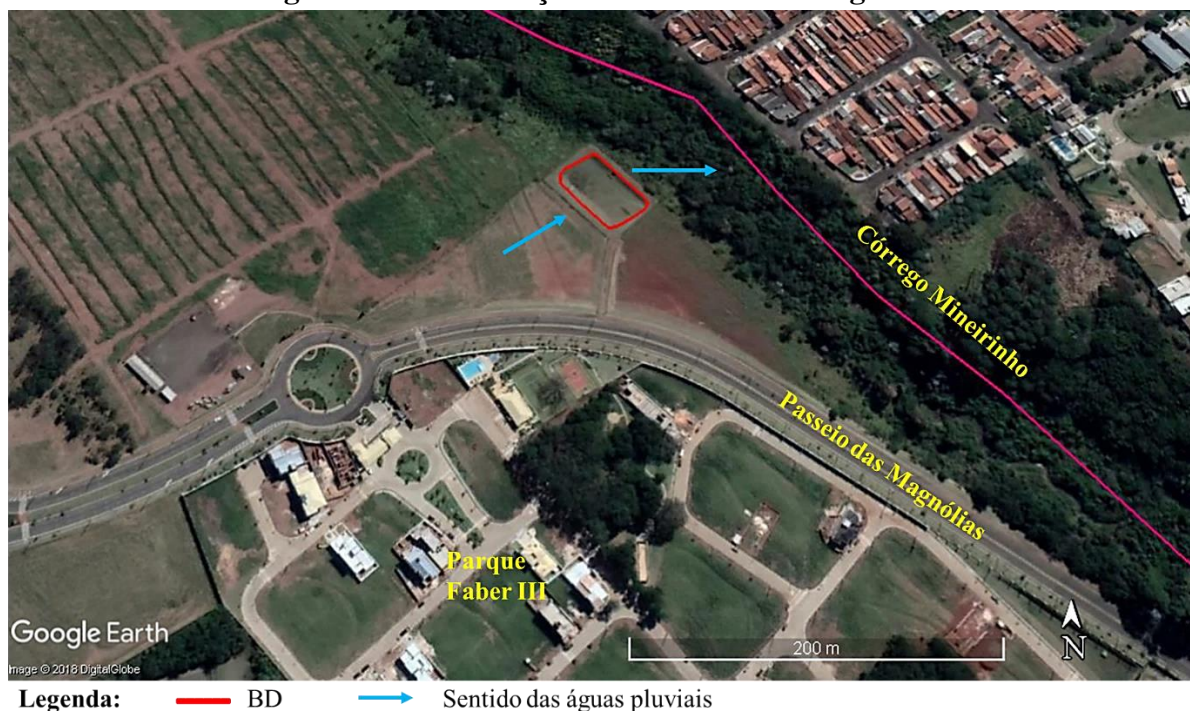
Quanto ao cercamento, observou-se que a BD não possui nenhum tipo de alambrado nem portão para o controle do acesso. E evidenciou-se uma forma irregular do terreno dentro da BD sem uma forma definida da depressão que forma o volume de armazenamento.

➤ **Bacia de Detenção Passeio das Magnólias:**

A BD está localizada na região Oeste do município de São Carlos como apresentado no Quadro 14, dentro do perímetro urbano. Segundo o zoneamento Municipal esta localização corresponde à Zona 2 Ocupação Induzida descrita no item 3.3 segundo o Plano Diretor Municipal de 2016.

A Figura 80 apresenta a BD localizada lateral à Rua Passeio das Magnólias, na jusante de um terreno que será usado possivelmente para a construção de uma nova urbanização. A BD capta as águas pluviais de uma área de aproximadamente um hectare do condomínio Parque Faber III, encaminhando-as até o Córrego Mineirinho.

Figura 80 – Localização BD Passeio das Magnólias



Fonte: Adaptado de Google Earth (2018)

Na Figura 81 é apresentada uma vista geral da BD. Na figura 82 observa-se o acesso para a BD o qual chega até o passeio em concreto e mostra-se também parte do terreno vazio no entorno dela.

**Figura 81 – Vista geral interior da BD
Passeio das Magnólias**



Fonte: Autor (Mar./2018)

**Figura 82 – Vista geral exterior da BD
Passeio das Magnólias**



Fonte: Autor (Mar./2018)

Para a caracterização desta BD realizou-se uma visita, no dia 15 de Março de 2018 sem evento de precipitação e uma no dia 25 de Outubro de 2018 com precipitação de altura caracterizada no Quadro 15. Durante a visita foi identificada uma estrutura de entrada d'água e uma de saída com orifício de fundo com forma quadrada. Também foi observado que a BD possui uma rampa para o acesso no seu interior.

A BD possui vegetação gramada em toda sua superfície. Foi observada uma quantidade mínima de resíduos sólidos e de acúmulo de sedimentos junto à estrutura de entrada. Quanto ao cercamento observou-se que a BD tem alambrado em todo seu perímetro e um portão para o acesso.

➤ **Bacia de Detenção Reserva Aquarela:**

A BD está localizada na região Oeste do município de São Carlos como apresentado no Quadro 14, dentro do perímetro urbano. Segundo o zoneamento Municipal esta localização corresponde à Zona 2 Ocupação Induzida descrita no item 3.3 segundo o Plano Diretor Municipal de 2016.

A Figura 83 apresenta a BD localizada dentro dos limites do condomínio fechado Reserva Aquarela o qual segundo o projeto urbanístico tem uma área total de 91.485,39 m² onde 20,82% dessa área é permeável. No condomínio existe uma totalidade de 240 unidades habitacionais, para as quais deve-se construir um poço de infiltração ao nível de lote para a retenção das águas pluviais. Este condomínio ainda possui uma quantidade grande de lotes sem ocupar pelo que a BD está recebendo somente uma porcentagem da totalidade de escoamento pluvial que receberá quando todos os lotes do condomínio estejam ocupados e construídos.

Figura 83 – Localização BD Reserva Aquarela



Fonte: Adaptado de Google Earth (2018)

A BD recebe as águas pluviais coletadas pelo sistema de drenagem do condomínio Reserva Aquarela, conduzindo-as até o Córrego Mineirinho. Na Figura 84 é apresentada uma vista geral do interior da BD. A Figura 85 mostra uma das bocas de lobo do sistema de drenagem

do condomínio, junto com a declividade característica das ruas conduzindo o escoamento superficial em direção à BD.

Figura 84 – Vista Geral interior da BD Reserva Aquarela



Fonte: Autor (Mar./2018)

Figura 85 – Vista Geral exterior da BD Reserva Aquarela



Fonte: Autor (Mar./2018)

Para a caracterização desta BD foram feitas duas visitas, no dia 15 de Março de 2018 sem precipitação e no dia 03 de Agosto de 2018 com evento de precipitação de altura caracterizada no Quadro 15. Durante a visita foram identificadas duas estruturas de entrada d'água com escadas hidráulicas e paredes de concreto para dissipar a energia, e uma estrutura de saída com dois orifícios de fundo com forma circular. Também foi observado que a BD possui uma rampa em concreto para o acesso no interior dela.

A BD possui vegetação gramada em toda sua superfície. Foi observada uma quantidade mínima de resíduos sólidos e de sedimentos junto à estrutura de entrada, retidos pela mesma estrutura. Quanto ao cercamento observou-se que a BD tem alambrado em todo seu perímetro e um portão para o acesso nela.

No dia que se apresentou o evento de precipitação observou-se lâmina d'água percorrendo desde as estruturas de entrada até a de saída, sendo esta lâmina pouco significativa em relação ao volume total de detenção da BD.

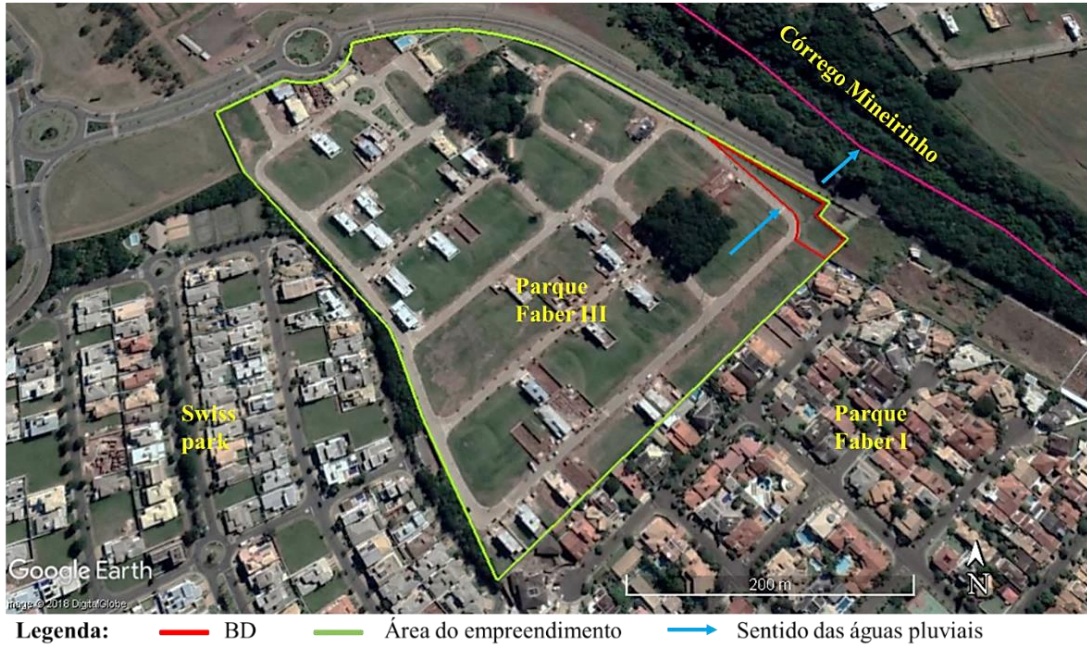
➤ **Bacia de Detenção Parque Faber III:**

A BD está localizada na região Oeste do município de São Carlos como apresentado no Quadro 14, dentro do perímetro urbano. Segundo o zoneamento Municipal esta localização corresponde à Zona 2 Ocupação Induzida descrita no item 3.3 segundo o Plano Diretor Municipal de 2016.

A Figura 86 apresenta a BD localizada dentro dos limites do condomínio fechado Parque Faber III o qual segundo o projeto urbanístico tem uma área total de 136.551,43 m² com 233 unidades habitacionais. A gleba onde o condomínio está implantado possui um solo consistente

argiloso, não tendo problemas quanto a erosões. Cada lote no condomínio deve ter um poço de infiltração de águas pluviais, porém o condomínio ainda possui baixa ocupação.

Figura 86 – Localização da BD Parque Faber III



Fonte: Adaptado de Google Earth (2018)

A BD recebe as águas pluviais coletadas pelo sistema de drenagem de uma área de aproximadamente 12,56 hectares do condomínio Parque Faber III, conduzindo-as até o Córrego Mineirinho. Na Figura 87 é apresentada uma vista geral do interior da BD.

Figura 87 – Vista Geral interior da BD Parque Faber III



Fonte: Autor (Mar./2018)

Para a caracterização desta BD foi feita uma visita no dia 15 de Março de 2018 sem precipitação e no dia 25 de Outubro de 2018 com precipitação de altura caracterizada no Quadro 15. Durante a visita foram identificadas duas estruturas de entrada d'água e uma de saída. Identificou-se que o fundo da estrutura de saída encontra-se mais baixo do que o nível do terreno. Também foi observado que a BD possui uma rampa gramada para o acesso no interior dela.

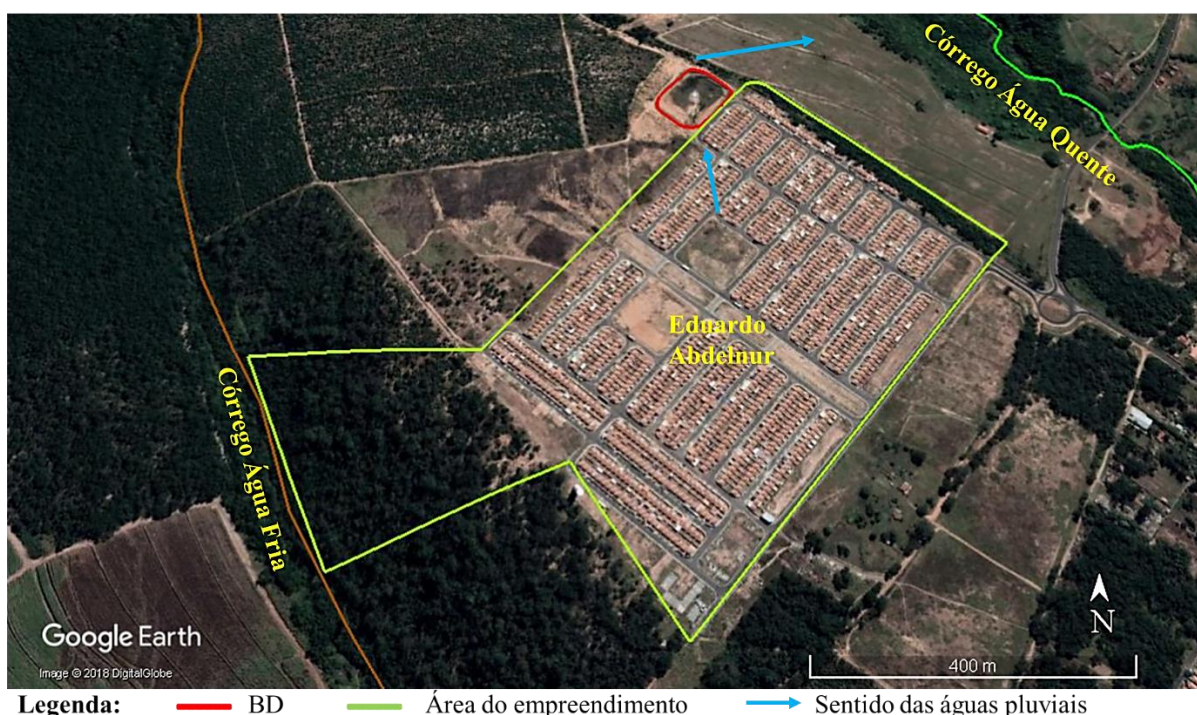
A BD possui vegetação gramada em toda sua superfície e não foram observados resíduos sólidos nem sedimentos dentro da BD. Quanto ao cercamento observou-se que a BD tem cerca metálica em todo seu perímetro e um portão para o acesso nela.

➤ **Bacia de Detenção Eduardo Abdelnur:**

A BD está localizada na região sul do município de São Carlos como apresentado no Quadro 14, dentro do perímetro urbano. Segundo o zoneamento Municipal esta localização corresponde à Zona 4 Qualificação e ocupação controlada descrita no item 3.3 conforme o Plano Diretor Municipal de 2016.

A Figura 88 apresenta a BD localizada na lateral a jusante do loteamento Eduardo Abdelnur, que possui um total de 1032 residências com área do empreendimento de 432.328 m² e fica entre os córregos Água quente e Água Fria, sendo que a BD dispõe as águas armazenadas no córrego Água Quente o qual fica mais perto dela.

Figura 88 – Localização da BD Eduardo Abdelnur



Fonte: Adaptado de Google Earth (2018)

A BD possui forma quadrada e recebe as águas pluviais do sistema de microdrenagem do loteamento Eduardo Abdelnur. Na Figura 89 apresenta-se uma vista geral da BD.

Figura 89 – Vista geral da BD Eduardo Abdelnur



Fonte: Autor (Maio/2018)

Para a caracterização desta BD foi feita uma visita no dia 12 de Maio de 2018 sem precipitação e no dia 24 de Novembro de 2018 com precipitação caracterizada no Quadro 15. A BD possui duas estruturas de entrada d'água com escadas hidráulicas e uma estrutura de saída com orifício de fundo de forma quadrada, ambas em concreto. A BD também possui uma rampa para o acesso ao interior dela.

A BD possui vegetação na maioria da superfície do fundo, porém, não possui a mesma quantidade nos taludes. Foram observados sedimentos dispostos no caminho desde a estrutura de entrada até a de saída, que é o mesmo caminho que segue água armazenada, como foi evidenciado o dia com precipitação. Também foram identificados resíduos sólidos no talude mais próximo aos lotes dos moradores, assim como a presença de processos erosivos neles.

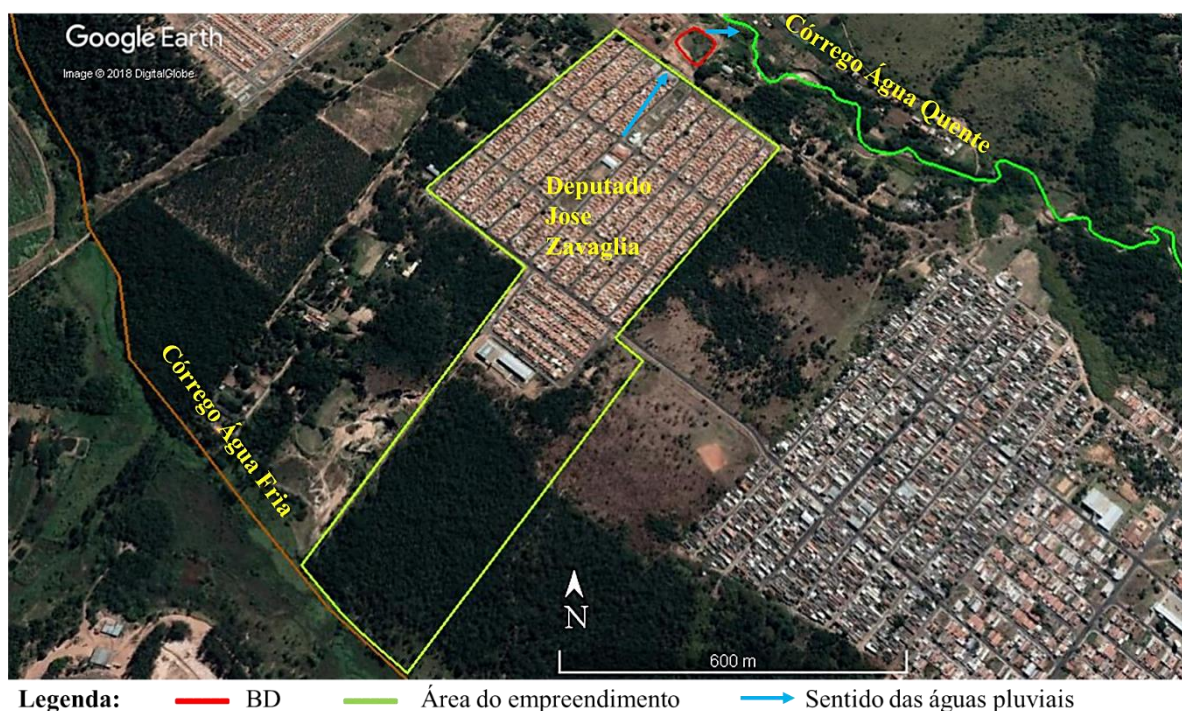
Quanto ao cercamento, a BD conta com alambrado de forma parcial, sem possuir portão de acesso. No perímetro fora dos limites do alambrado estão sendo plantadas algumas árvores de frutas pela comunidade.

➤ **Bacia de Detenção Deputado José Zavaglia:**

A BD está localizada na região Sul do município de São Carlos como apresentado no Quadro 14, dentro do perímetro urbano. Segundo o zoneamento Municipal esta localização corresponde à Zona 4 - Qualificação e ocupação controlada descrita no item 3.3 segundo o Plano Diretor Municipal de 2016.

A Figura 90 apresenta a BD localizada na zona a jusante do loteamento residencial Deputado José Zavaglia, o qual é um loteamento habitacional de interesse social com uma área do empreendimento de 469.970 m² para um total de 1019 lotes. A gleba onde se localiza o loteamento possui um terreno com declividade máxima de 5%, não possuindo alagadiços ou pontos geologicamente frágeis, esta gleba também possui uma parcela importante de área verde que corresponde a zona da APP do Córrego Água Fria.

Figura 90 – Localização BD Deputado José Zavaglia



Fonte: Adaptado de Google Earth (2018)

A BD recebe as águas pluviais coletadas pelo sistema de drenagem do loteamento Deputado José Zavaglia, conduzindo-as até o Córrego Água Quente. Na Figura 91 é apresentada uma vista geral do interior da BD. Na Figura 92 mostra-se uma vista do exterior da BD desde seu limite perimetral.

Figura 91 – Vista interna da BD Deputado José Zavaglia



Fonte: Autor (Nov./2018)

Figura 92 – Vista exterior da BD Deputado José Zavaglia



Fonte: Autor (Maio/2018)

Para a caracterização desta BD foi feita uma visita o dia 12 de Maio de 2018 sem evento de precipitação e o dia 24 de Novembro de 2018 com precipitação caracterizada no Quadro 15. Durante a visita foi identificada uma estrutura de entrada d'água e uma de saída. A BD possui vegetação na maioria de sua superfície com crescimento de árvores no centro dela, em algumas partes dos taludes foram identificados processos erosivos.

A BD possui uma quantidade de árvores do tipo Margaridão o qual é predominante no seu interior. Também foram percebidas quantidades significativas de resíduos sólidos e sedimentos em várias partes da área da BD. Quanto ao cercamento, observou-se que a BD possui alambrado incompleto no seu perímetro e não tem portão de acesso.

O dia da visita *in loco* sem precipitação foi observado um fluxo mínimo de água entrando na BD assim como saindo dela, destacando o aspecto avermelhado e o mau cheiro da água drenando no córrego Água Quente. O dia com precipitação foi observada água acumulada perto da estrutura de entrada d'água.

➤ **Bacia de Detenção Planalto Verde – Montante:**

A BD está localizada na região sul do município de São Carlos como apresentado no Quadro 14, dentro do perímetro urbano. Segundo o zoneamento Municipal esta localização corresponde à Zona 4 Qualificação e ocupação controlada descrita no item 3.3 conforme o Plano Diretor Municipal de 2016.

A Figura 93 apresenta a BD localizada dentro do conjunto habitacional de interesse social Planalto Verde, que possui um total de 887 unidades habitacionais e uma área do empreendimento de 358.368,25 m².

Figura 93 – Localização BD Planalto Verde



Fonte: Adaptado de Google Earth (2018)

A BD com forma triangular recebe as águas pluviais do sistema de drenagem de uma parte do conjunto habitacional Planalto Verde, sendo que a outra parte do conjunto leva suas águas pluviais para outra BD localizada mais para jusante. No perímetro fora da BD observou-se que a comunidade tem feito pequenas hortas. Nas Figuras 94 e 95 apresentam-se vistas gerais da BD desde costados opostos.

Figura 94 – Vista geral BD Planalto Verde (costado oeste)



Fonte: Autor (Maio/2018)

Figura 95 – Vista geral BD Planalto Verde (costado este)



Fonte: Autor (Maio/2018)

Para a caracterização desta BD foi feita uma visita o dia 12 de Maio de 2018 sem precipitação e o dia 24 de Novembro de 2018 com evento de precipitação caracterizado no Quadro 15. Durante a visita foram identificadas duas estruturas de entrada d'água e uma de saída, todas em concreto.

A BD possui vegetação em toda a sua superfície, com grande presença de vegetação tipo taboa sp. Não foram identificados resíduos sólidos nem sedimentos em quantidades consideráveis. Quanto ao cercamento observou-se que a BD está delimitada na maioria de seu perímetro por alambrado com algumas partes dele incompletas. Também tem um portão para o acesso, o qual encontrava-se com danos.

➤ **Bacia de Detenção Parque Novo Mundo:**

A BD está localizada na região Sul do município de São Carlos como apresentado no Quadro 14, dentro do perímetro urbano. Segundo o zoneamento Municipal esta localização corresponde à Zona 4 - Qualificação e ocupação controlada descrita no item 3.3 conforme o Plano Diretor Municipal de 2016.

A Figura 96 apresenta a BD localizada na lateral da Rodovia Deputado Vicente Botta, com acesso nela pela Rua Iracema Barbieri. A gleba do loteamento Parque Novo Mundo que é um dos que fica mais para o sul do município de São Carlos, está composta por um total de 639 unidades entre usos residenciais, industriais e comerciais. Esta gleba tem uma área total de 344.191,44 m².

Figura 96 – Localização BD Parque Novo Mundo



Legenda: — BD → Sentido das águas pluviais

Fonte: Adaptado de Google Earth (2018)

A BD está junto a uma área verde de 4.264,01 m² e recebe as águas pluviais coletadas pelo sistema de drenagem da gleba do Parque Novo Mundo, conduzindo-as até o Córrego Água

Fria. Nas Figuras 97 e 98 são apresentadas vistas do costado sul e norte do interior da BD respectivamente.

**Figura 97 – Vista geral da BD Parque
Novo Mundo (costado sul)**



Fonte: Autor (Maio/2018)

**Figura 98 – Vista geral da BD Parque
Novo Mundo (costado norte)**



Fonte: Autor (Maio/2018)

Para a caracterização desta BD foi feita uma visita no dia 12 de Maio de 2018 sem evento de precipitação e no dia 05 de Janeiro de 2019 com evento de precipitação caracterizado no Quadro 15. Durante a visita foram identificadas duas estruturas de entrada d'água e uma de saída, no entanto, esta estrutura de saída não possui orifício do fundo ao nível do solo e não está permitindo a saída pelo extravasor devido à obstrução dele por resíduos e vegetação. Isto significa que a água dentro da BD somente sairá por infiltração no solo.

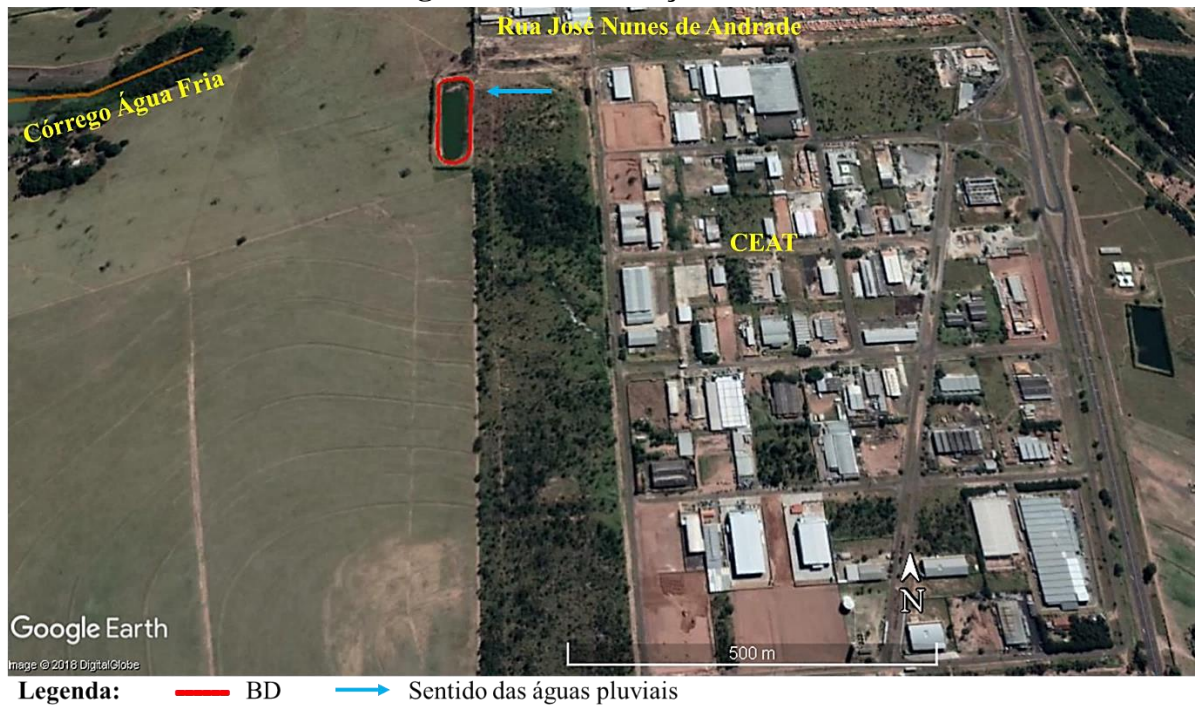
A BD possui vegetação na maioria de sua superfície com exceção de algumas partes dos taludes nos quais foram identificados processos erosivos. Foram identificadas quantidades significativas de resíduos plásticos assim como de material de construção, e várias zonas com depósitos de sedimentos na área dentro e no entorno da BD. Quanto ao cercamento observou-se que a BD não possui nenhum tipo de restrição para o acesso nela como alambrado ou portão.

➤ **Bacia de Detenção CEAT:**

A BD está localizada na região Sul do município de São Carlos como apresentado no Quadro 14, dentro do perímetro urbano. Segundo o zoneamento Municipal esta localização corresponde à Zona 6C - Regulação e ocupação controlada de menor densidade descrita no item 3.3 conforme o Plano Diretor Municipal de 2016.

A Figura 99 apresenta a BD localizada junto ao Centro Empresarial de Alta Tecnologia (CEAT) com acesso nela pela Rua Jose Nunes de Andrade. O CEAT conta com uma área total de 1.056.582 m², englobando 185 lotes.

Figura 99 - Localização da BD CEAT



Fonte: Adaptado de Google Earth (2018)

A BD está localizada junto a uma área de reserva legal de 223.677,76 m² e recebe as águas pluviais coletadas pelo sistema de drenagem de parte da gleba do CEAT, porém, não pode-se afirmar que encaminha as águas armazenadas até o Córrego Água Fria, já que não foi observada uma estrutura de saída da água e foi identificada uma lâmina de água em temporada de estiagem. Na Figura 100 é apresentada uma vista geral da BD.

Figura 100 – Vista Geral BD CEAT



Fonte: Autor (Ago./2017)

Para a caracterização desta BD foi feita uma visita no dia 13 de Agosto de 2017 sem evento de precipitação e no dia 05 de Janeiro de 2019 com evento de precipitação caracterizado no Quadro 15. Durante a visita foi identificada uma estrutura de entrada d'água, porém não existe estrutura de saída como projetada segundo o plano do projeto urbanístico desta zona. Isto significa que a água dentro da BD somente sairá por infiltração no solo, não sabendo o motivo pelo que não foi construída a estrutura de saída.

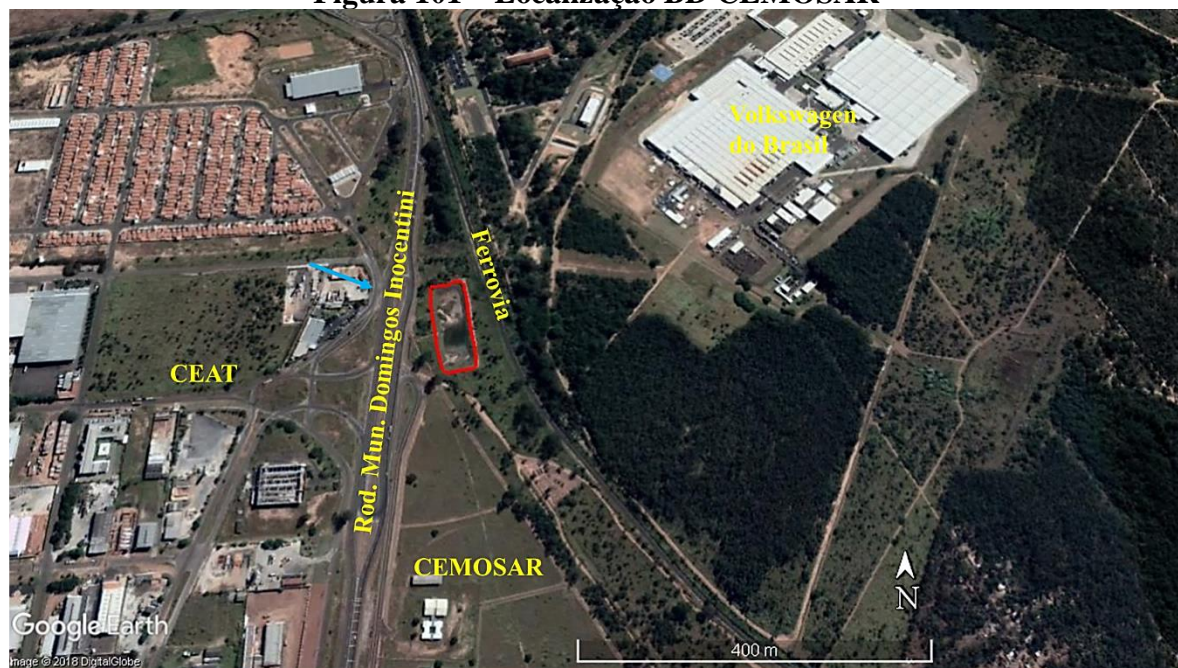
A BD em sua superfície interior possui terra no fundo com cobertura de vegetação, nos taludes, porém, esta vegetação encontrava-se com aspecto queimado. Foram encontrados depósitos de sedimentos e o solo com aspecto craquelado dentro da BD. Resíduos sólidos também foram identificados tanto na lâmina de água da BD como no entorno dela. Quanto ao cercamento, observou-se que a BD não possui nenhum tipo de restrição para o acesso, como alambrado ou portão.

➤ **Bacia de Detenção CEMOSAR:**

A BD está localizada na região Sul do município de São Carlos como apresentado no Quadro 14, dentro do perímetro urbano. Segundo o zoneamento Municipal esta localização corresponde à Zona 5B - Proteção e ocupação controlada – SUC Manancial do Feijão descrita no item 3.3 segundo o Plano Diretor Municipal de 2016.

A Figura 101 apresenta a BD localizada entre a Rodovia Domingos Inocentini, a ferrovia, e a gleba do Recinto de leilões do sindicato rural de São Carlos - CEMOSAR .

Figura 101 – Localização BD CEMOSAR



Legenda: — BD → Sentido das águas pluviais

Fonte: Adaptado de Google Earth (2018)

A BD recebe as águas pluviais coletadas pelo sistema de drenagem de parte da gleba do CEAT, porém, não pode-se dizer que conduz as águas armazenadas até um córrego em específico, já que não existe uma estrutura de saída d'água. Na Figura 102 é apresentada uma vista geral da BD.

Figura 102 – Vista geral BD CEMOSAR



Fonte: Autor (Maio/2018)

Para a caracterização desta BD foi feita uma visita no dia 12 de Maio de 2018 sem evento de precipitação e no dia 05 de Janeiro de 2019 com evento de precipitação caracterizado no Quadro 15. Durante a visita foram identificadas duas estruturas de entrada d'água, porém não foi observada a estrutura de saída como projetado segundo o plano do projeto urbanístico desta zona. Isto significa que a água dentro da BD somente sairá por infiltração no solo, não existindo a certeza do porque não foi construída a estrutura de saída.

A BD em sua superfície interior possui vegetação primordialmente nos taludes e na rampa de acesso dela. Foram encontrados depósitos de sedimentos no solo com pouca água estagnada nas depressões do terreno. Resíduos sólidos também foram identificados espalhados no interior da BD. Quanto ao cercamento observou-se que a BD possui alambrado incompleto em parte do seu perímetro sem portão para restringir o acesso.

5.3 Avaliação das Bacias de Detenção

Com base nas variáveis do grupo 1 estabelecidas e descritas no item 4.3 do presente trabalho foi realizada a avaliação das BD visitadas tanto em período seco como com chuva. Para a identificação de cada BD foi dada uma numeração aleatória, que não tem nenhuma relação com a numeração da Figura 33, apenas com a finalidade de avaliar a BD e seus componentes e não de avaliar o responsável pela sua construção, operação ou manutenção de cada BD em específico.

Esta avaliação foi estabelecida conforme o observado nas visitas *in loco*, tanto nos dias de chuva como sem chuva, com ajuda de registro fotográfico e anotações em campo, que permitiu avaliar cada uma das BD, levando em conta a consulta da bibliografia e a aprendizagem durante a pesquisa.

O Quadro 17 apresenta a valoração qualitativa de cada uma das variáveis. Ressalva-se que a coluna de gestão foi colocada para poder estabelecer um comparativo do poder a cargo da manutenção de cada BD com o observado nas visitas *in loco*. A informação disposta na coluna de gestão foi estabelecida conforme apreciações em comum dadas por parte dos agentes entrevistados relacionados com as BD implantadas.

De forma geral conforme a avaliação realizada observa-se que a maioria das BD estão localizadas fora dos limites de condomínios/loteamentos, possuem uma visibilidade alta e um fácil acesso para chegar até cada unidade de detenção. Grande parte das BD estão totalmente delimitadas, e predomina um estado de conservação das unidades parcialmente adequado, sendo a maioria das BD estão sob responsabilidade de manutenção pelo poder privado.

Todas as BD cumprem com sua função hidrológica, com exceção daquelas que, por motivos desconhecidos, não possuem estrutura de saída ou orifício de fundo, pelo que não estão habilitadas para o esvaziamento do volume armazenado, controlando a vazão de saída.

Quadro 17 – Avaliação das BD visitadas

Continua

Nº	Posição relativa ao loteamento/condomínio	Visibilidade	Acessibilidade	Isolamento	Conservação	Uso Observado	Enchimento	Eficiência Hidrológica	Gestão
SBD1	Fora	Media	Fácil	Totalmente Fechada	Parcialmente Adequada	Hidrológico	Não	Cumpre	Pública
SBD2	Fora	Baixa	Moderada	Parcialmente Aberta	Parcialmente Adequada	Hidrológico	Não	Cumpre	Pública
SBD3	Fora	Alta	Fácil	Totalmente Fechada	Parcialmente Adequada	Hidrológico	Não	Cumpre	Privada
BD1	Dentro	Alta	Fácil	Totalmente Fechada	Adequada	Hidrológico	Não	Cumpre	Privada
BD2	Fora	Alta	Fácil	Parcialmente Aberta	Parcialmente Adequada	Hidrológico	Não	Cumpre	Pública
BD3	Fora	Media	Fácil	Totalmente Fechada	Parcialmente Adequada	Hidrológico	Não	Cumpre	Privada
BD4	Fora	Baixa	Fácil	Totalmente Fechada	Parcialmente Adequada	Hidrológico	Não	Cumpre	Privada
BD5	Fora	Alta	Fácil	Totalmente Fechada	Parcialmente Adequada	Hidrológico	Não	Cumpre	Privada
BD6	Fora	Media	Fácil	Totalmente Aberta	Parcialmente Adequada	Hidrológico	Não	Cumpre	Privada
BD7	Fora	Baixa	Moderada	Totalmente Fechada	Parcialmente Adequada	Hidrológico	Não	Cumpre	Privada
BD8	Fora	Baixa	Fácil	Totalmente Fechada	Parcialmente Adequada	Hidrológico	Não	Cumpre	Privada
BD9	Fora	Alta	Fácil	Parcialmente Aberta	Parcialmente Adequada	Hidrológico	Não	Cumpre	Pública
BD10	Fora	Media	Moderada	Totalmente Fechada	Parcialmente Adequada	Hidrológico	Não	Cumpre	Pública

Quadro 17 – Avaliação das BD visitadas

Conclusão

Nº	Posição relativa ao loteamento/condomínio	Visibilidade	Acessibilidade	Isolamento	Conservação	Uso Observado	Enchimento	Eficiência Hidrológica	Gestão
BD11	Fora	Media	Moderada	Totalmente Fechada	Parcialmente Adequada	Hidrológico	Não	Cumpre	Pública
BD12	Dentro	Alta	Fácil	Totalmente Fechada	Adequada	Hidrológico	Não	Cumpre	Privada
BD13	Dentro	Alta	Fácil	Totalmente Fechada	Adequada	Hidrológico	Não	Cumpre	Privada
BD14	Fora	Baixa	Moderada	Totalmente Fechada	Parcialmente Adequada	Hidrológico	Não	Cumpre	Privada
BD15	Dentro	Alta	Fácil	Totalmente Fechada	Adequada	Hidrológico	Não	Cumpre	Privada
BD16	Fora	Baixa	Difícil	Totalmente Aberta	Parcialmente Adequada	Hidrológico	Não	Cumpre	Privada
BD17	Fora	Alta	Fácil	Totalmente Fechada	Adequada	Hidrológico	Não	Cumpre	Privada
BD18	Dentro	Alta	Fácil	Totalmente Fechada	Adequada	Hidrológico	Não	Cumpre	Privada
BD19	Dentro	Alta	Fácil	Totalmente Fechada	Adequada	Hidrológico	Não	Cumpre	Privada
BD20	Fora	Media	Moderada	Totalmente Aberta	Inadequada	Hidrológico	Não	Cumpre	Pública
BD21	Fora	Alta	Fácil	Totalmente Aberta	Inadequada	Hidrológico	Sim	Não Cumpre	Pública
BD22	Fora	Baixa	Moderada	Totalmente Aberta	Inadequada	Hidrológico	Sim	Não Cumpre	Pública
BD23	Fora	Baixa	Moderada	Parcialmente Aberta	Inadequada	Hidrológico	Sim	Não Cumpre	Pública

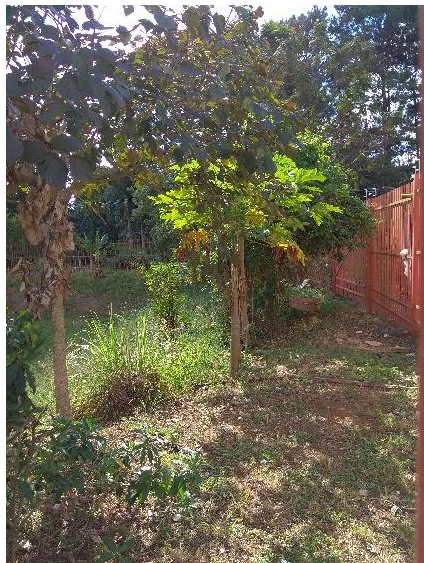
No Quadro 17 pode-se identificar que das 26 unidades de detenção avaliadas, 23% delas encontram-se dentro dos mesmos limites onde existe um grupo de moradores. Esta porcentagem é baixa e enfatiza o panorama do conceito em implantar a técnica na zona mais a jusante, afastada da maioria da população, com menor probabilidade para que seja vista, compreendida e aceita pela comunidade. Isto dificulta que os moradores de condomínios e loteamentos apresentem um interesse por saber como é exercida a drenagem pluvial da área onde estão morando e principalmente qual é o papel e objetivo da técnica que está sendo implantada na sua vizinhança para o amortecimento da vazão pico e para evitar problemas em zonas mais para jusante no município.

Outro aspecto a destacar é o fato que todas as BD estão sendo usadas plenamente para um controle hidrológico, atuando sobre a vazão pico, o que confirma o atendimento a legislação municipal, porém, tanto a legislação quanto a prática não enfatizam a necessidade da utilização da BD para outros fins como por exemplo espaços de lazer ou zonas para práticas esportivas nas temporadas de estiagem. Isto dá uma visão da atual função da BD no município de São Carlos, sendo ela uma obra de drenagem pluvial com ganho ambiental e maiores benefícios no controle hidrológico do que o sistema tradicional, compensando algumas das consequências da urbanização, porém, não atingindo o objetivo de integrar a população com a inserção desta técnica no meio urbano.

Um percentual de 65% das unidades avaliadas apresentam uma totalidade de estruturas de isolamento como alambrado e portão, as quais por motivos de segurança são colocadas no perímetro da BD evitando assim acidentes da população próxima e controlando o acesso, porém, isto também representa uma barreira física que impede uma melhor integração da comunidade com estes espaços; com isto o desafio no município está em projetar estas áreas para aproveitamento da comunidade em período de estiagem, com alternativas como quadras esportivas, área de contemplação paisagística, zona de lazer, etc.

Destaca-se que no caso das BD2, BD9 e BD15 existem atividades como pequenas plantações e colocação de bancos pra sentar-se no entorno da BD (Figuras 103 e 104), motivadas por alguns moradores ou pelo responsável do cuidado da BD, que reflete a iniciativa por aproveitar o espaço verde que é ocupado pela BD, porém, somente em três casos da totalidade de 26 BD visitadas.

Figura 103 – Plantações dentro dos limites da BD



Fonte: Autor (Maio/2018)

Figura 104 – Plantações no entorno da BD



Fonte: Autor (Maio/2018)

Observa-se no Quadro 17 que a maioria das BD avaliadas apresentam um estado de conservação como parcialmente adequada, destacando-se que um elemento primordial dessa qualificação foi o excesso na altura e quantidade da vegetação; apesar da importância da cobertura vegetal retendo o escoamento pluvial, prevenindo a erosão e evitando o carregamento de sedimentos; o excesso desta vegetação desfavorece o correto funcionamento da BD ao entupir as estruturas de entrada e saída d'água e diminuir o volume útil de armazenamento de água pluvial.

Isto reflete a importância da manutenção das BD tanto no seu desempenho hidrológico, como na parte estética e na prevenção de atrair vetores transmissores de doenças, considerando que com uma melhor coordenação da manutenção com atividades como a roçagem da vegetação, a limpeza de lixo e sedimentos acumulados, que não são atividades de muita complexidade, existiria uma maior quantidade de BD em condições adequadas de conservação.

Outro aspecto importante com relação à importância da manutenção é a desvalorização da propriedade residencial, principalmente nos loteamentos onde o estado de conservação das BD não é o adequado, sendo que segundo Lee e Li (2009), o valor da propriedade é majoritariamente impactado nas residências de frente as BD que possuem vista em direção delas.

Considera-se a visibilidade das BD como variável que influencia na prática frequente de manutenção; sendo que um 30% das BD visitadas possuem uma baixa visibilidade, isto pode representar um fator para que a população no entorno dela não se preocupe pelo seu estado de conservação. Por outra parte somente uma BD foi identificada com uma localização com difícil

acessibilidade, o que representa que para as BD implantadas no município é fácil o acesso até elas para realizar as atividades de manutenção.

Fazendo uma comparação entre as unidades com estado de conservação adequada e inadequada, observou-se que as BD de gestão pública são as que encontram-se no pior estado de conservação, contrário das que estão em condições ótimas sob gestão privada. Isto evidencia que para o poder público a manutenção das BD no município ainda não representa uma atividade levada com a mesma prioridade do que outros serviços municipais.

Com relação ao funcionamento hidrológico, observa-se no Quadro 17 que as únicas BD que para os dias de chuva e as alturas de precipitação registradas, não cumprem com o objetivo de esvaziar o volume armazenado dentro das 24 horas após o evento de precipitação e possuem uma lâmina profunda de água são as Bacias BD21, BD22 e BD23, porém, verificou-se que estas não possuem orifício de fundo para a saída d'água uma vez que o exutório delas é por meio da infiltração no solo, denominando-as como Bacias de infiltração.

5.4 Análise de Aspectos de Projeto das Bacias de Detenção

Este item apresenta uma compilação de dados coletados sobre diferentes aspectos da implantação de BD no município, junto com uma análise destes conforme os aspectos definidos no grupo 2 descritos no item 4.3.

Para a análise das diferentes características consideradas no projeto de implantação das BD, foram procurados os projetos de drenagem pluvial nas pastas dos processos de aprovação de cada loteamento ou condomínio relacionado com a BD, os quais foram disponibilizados pela Prefeitura Municipal de São Carlos (PMSC), especificamente pela SMH DU.

Destaca-se que nem todos os projetos das BD identificadas foram encontrados, algumas vezes pelo fato da BD encontrar-se numa zona aberta sem pertencer a algum loteamento em particular pelo que não foi identificado como tal um número de processo de aprovação para verificar o projeto de drenagem pluvial. Em outros casos a informação do projeto de drenagem pluvial não estava ou encontrava-se incompleta dentro das pastas de cada processo de aprovação do loteamento/condomínio.

Os dados levantados sobre os projetos das BD consideram-se suficientes para fazer uma descrição, quanto a metodologia utilizada no dimensionamento, as considerações construtivas e de operação, o detalhamento das estruturas hidráulicas e o processo de aprovação de BD implantadas no Município de São Carlos.

Como complemento das informações encontradas nos projetos de drenagem, a realização de entrevistas aos envolvidos quanto as BD desde sua projeção e planejamento até o

diário conviver com elas, foi muito valiosa ao considerar a experiência neste campo de cada um dos entrevistados além de obter informações que não são descritas nos memoriais dos projetos de drenagem pluvial aprovados.

Para todos os projetos do sistema de drenagem urbana abordados nesta pesquisa foi identificado que a BD foi projetada e dimensionada para o seu uso plenamente hidrológico controlando o pico da vazão em atendimento a legislação municipal. Somente dois dos projetos mencionam na teoria a possibilidade do aproveitamento da BD para o desenvolvimento de atividades de lazer como quadras ou campo de futebol sendo que elas somente ficarão com água no período de chuvas, no entanto, foi verificado na visita *in loco* que as respectivas BD não estão sendo aproveitadas como zona de lazer nem estão nas condições adequadas para aquilo.

Importante mencionar que para todos os projetos de aprovação dos condomínios/loteamentos é exigido um estudo de impacto de vizinhança (EIV), o qual contém as propostas técnicas para compensar o dano gerado pela implantação do empreendimento. Neste sentido, quanto a drenagem pluvial e a afetação do empreendimento na bacia hidrográfica correspondente, é mencionada a implantação da BD conforme a legislação municipal vigente, que vai evitar danos ao meio ambiente, alagamentos e a sobrecarga dos sistemas de drenagem em operação na região.

5.4.1 Dimensionamento

Na revisão dos diferentes projetos de drenagem quanto ao dimensionamento da BD observou-se que existe clareza no memorial de cálculo quanto a determinação do volume de armazenamento da BD, seguindo o estabelecido no Plano Diretor Municipal com o objetivo de restringir a vazão da saída para jusante, mantendo esta igual ou menor a vazão pré-urbanização.

Destaca-se que previamente a abordagem do cálculo do volume de armazenamento da BD, os projetos de drenagem pluvial apresentavam o cálculo da verificação de escoamento do conjunto guia-pavimento-sarjeta e o dimensionamento da rede de captação pluvial composto pelas bocas de lobo e galerias, toda vez, que este sistema vai captar e transportar o escoamento superficial até a BD.

Em geral foi verificado nos diferentes projetos de drenagem pluvial que o dimensionamento da BD é o último aspecto a ser abordado sendo que previamente deve-se definir o sentido de escoamento das águas superficiais e determinar os parâmetros hidrológicos como tempo de concentração (T_c), tempo de duração da chuva (t) período de retorno (Tr), coeficiente de escoamento (C), intensidade da chuva de projeto (I), área de contribuição (A), vazão pré-urbanização (Q_{pre}) e vazão pós-urbanização (Q_{pos}), para assim poder determinar o

volume de detenção. No Quadro 18 são apresentados os parâmetros mencionados anteriormente consultados nos memoriais de cálculo e alguns deles determinados a partir das equações mencionadas em cada relatório do sistema de drenagem de águas pluviais.

Quadro 18 – Parâmetros para o cálculo do volume de detenção

N°	Tr (anos)	t (min)	Tc (min)	I (mm/h)	C (adimensional)		A (hectares)	Qpre (m ³ /s)	Qpos (m ³ /s)
					Pre	Pos			
BD1	10	18	11	105,18	0,3	0,7	28,17	2,5	6
BD9	10	10	10	124,32	0,3	0,6	15,58	1,61	3,23
BD10	10	60	10	65	0,2	0,8175	10,86	0,39	1,6
BD13	100	6	6	247,8	0,3	0,65	1,2	0,25	0,54
BD14	10	14	14	117,97	0,3	0,7	18,42	1,81	4,22
BD15	100	15	15	178,8	0,3	0,8	14,53	2,16	5,77
BD16	10	15	15	105,47	0,3	0,8	3,02	0,26	0,70
BD18	10	10	10	134,48	0,3	0,87	9,15	1,03	2,97
BD19	100	14	14	186,5	0,3	0,74	13,65	2,12	5,24

Identificou-se que para aprovação do projeto de drenagem pluvial, incluindo a BD como parte deste, a SMOP, utiliza a metodologia estabelecida na diretriz municipal descrita no item 3.4. Considerando isto foi verificado que o Método Racional para cálculo das vazões apresentadas no Quadro 18, foi usado por todos os projetos de drenagem consultados, sendo que nenhuma bacia de contribuição supera os 200 hectares de área.

Segundo o Quadro 18, observa-se que 3 BD usaram um período de retorno de 100 anos segundo o estabelecido pela diretriz municipal de drenagem, o restante adotou 10 anos, o que vai influenciar ao obter uma intensidade de chuva de projeto de menor magnitude conforme a equação 3 do item 3.4.

Alguns aspectos específicos respeito do cálculo do volume de detenção são descritos a continuação:

- No caso da BD9 e BD16, foi verificado que foi usada a equação 6 do item 3.4, que somente deveria ser usada no caso da BD localizar-se na sub-bacia do Santa Maria do Leme, porém, estas não encontram-se localizadas nesta sub-bacia hidrográfica e realmente o volume calculado foi o dobro do que deveria ser usando a fórmula correta, estabelecida na diretriz municipal.
- Identificou-se que foi usada a seguinte equação por alguns dos projetos para o cálculo da intensidade de chuva:

$$i_{t,T} = \frac{25,33 T^{0,236}}{(t+16)^{0,935}} \quad (9)$$

Onde:

i = intensidade da chuva *mm/min*

t =Duração da chuva *min*

T = período de retorno em anos

A anterior equação foi proposta por Righetto (1998) para a cidade de São Carlos, que diferencia-se nos coeficientes da equação proposta pela diretriz municipal, por isto é observada uma variação na intensidade de chuva em alguns projetos que consideram o mesmo tempo de duração da chuva e período de retorno, como no caso da BD9 e a BD18.

Também foi identificado que a pesar de que a equação da intensidade de chuva proposta na diretriz municipal faz referência ao Dr. Ademir Barbassa, esta apresenta o expoente no denominador diferente a equação apresentada para São Carlos segundo Barbassa (1991). Não foi possível estabelecer se esta diferença foi um erro de digitação ou uma equação modificada pela SMOP, já que esta não faz referência aos dados empregados ou registros históricos usados.

- Para o projeto da BD10, foi adotada uma duração da chuva de 1 hora, que, segundo observações locais, seriam causadoras de enchentes nas bacias urbanas. Este valor, entretanto, é diferente do tempo de concentração, o que implica um análise diferente ao diagrama triangular apresentado na diretriz municipal para o cálculo do volume de armazenamento.

Também foi usada a equação IDF da cidade de Araraquara (equação 10), sendo esta uma cidade próxima e com características semelhantes a São Carlos.

$$i_{t,T} = 32,4618 (t + 15)^{-0,8684} + 2,1429(t + 15)^{-0,5482} [-0,4772 - 0,9010 \ln * \ln \left(\frac{T}{T-1} \right)] \quad (10)$$

Onde:

i = intensidade da chuva *mm/min*

t =Duração da chuva *min*

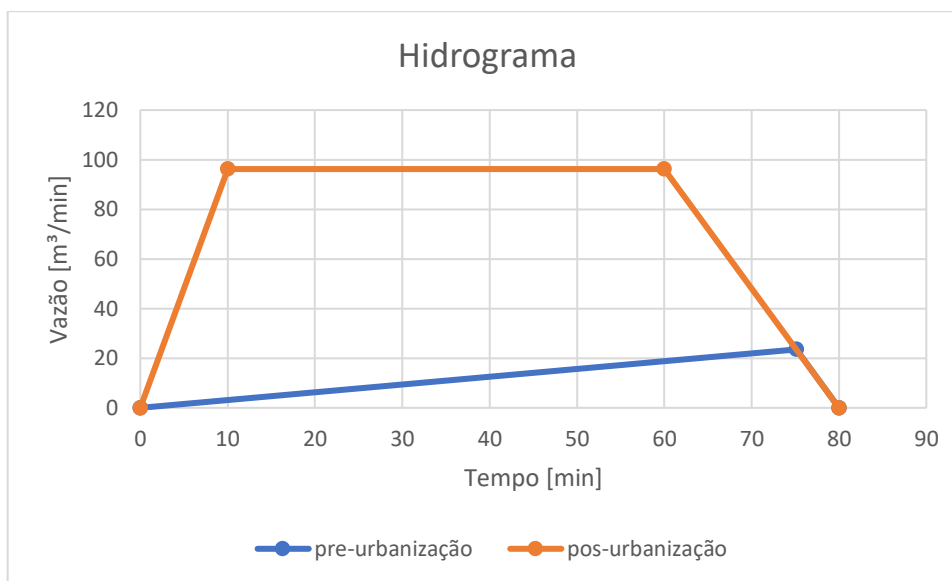
T = período de retorno em anos

A respeito da equação 10, destaca-se que ela é recomendada segundo PDDUAS (2016) para ser usada em São Carlos para o cálculo das estruturas hidráulicas, por ser esta a

mais próxima da cidade recomendada pelo DAEE, porém, difere da equação 3 proposta pela diretriz municipal.

Sob estas condições o hidrograma para o cálculo do volume de detenção da BD10 é apresentado na Figura 105, diferente do hidrograma triangular da Figura 31 proposto pela diretriz municipal.

Figura 105 – Hidrograma para cálculo do volume de detenção da BD10



No momento de considerar o hidrograma como apresentado na Figura 105 a diferença da área abaixo a curva que representa o volume de detenção vai ser maior do que adotando o hidrograma triangular proposto pela diretriz municipal do item 3.4.

Destaca-se que foi mencionado em entrevista realizada que quando a rede de drenagem passa embaixo da rodovia, é solicitado adotar uma chuva de maior duração sendo mais restritivo para evitar qualquer alagamento nela, porém, isto não é exigência da prefeitura, mas é solicitado pela administração da rodovia.

- Para o cálculo do volume de detenção da BD14, segundo observado no memorial do projeto de drenagem, usaram-se os parâmetros do Quadro 18, porém a área de contribuição considerada foi duas vezes a área usada para a verificação deste volume por parte da SMOP, com isto o volume de detenção do projeto é maior do que o calculado pela SMOP, órgão que aprova o projeto.

Os aspectos citados mostram que, embora todos os projetos usam o método racional para o cálculo das vazões, nem todos seguem as mesmas equações e parâmetros dispostos na diretriz municipal para projetos de drenagem.

Considerando os mesmos parâmetros físicos da área de contribuição (C, tc, A) apresentados no Quadro 18, um período de retorno de 100 anos e adotando o tempo de concentração igual ao tempo de chuva, foram calculados os volumes de detenção segundo todo o procedimento e as equações da diretriz do item 3.4. Estes volumes foram comparados com os volumes de detenção apresentados nos memoriais dos projetos de drenagem consultados. O Quadro 19 apresenta este comparativo, junto com o ano de aprovação do memorial de cálculo de cada BD, sendo que a diretriz municipal de drenagem foi divulgada até o ano 2010.

Quadro 19 – Comparativo dos volumes de detenção

Nº	Aprovação do projeto	Volume Diretriz (m ³)	Volume Projeto (m ³)	Diferença (%)
BD1	2011	6.365,38	5.670	89,08
BD9	2012	2.484,78	2.907,36	117,01
BD10	2012	3.567,08	5.313,21	148,95
BD13	2012	312,24	312,24	0
BD14	2011	2.605,5	3.042	116,75
BD15	2007	4.873,5	2.413,2	49,52
BD16	2012	945,17	1.195,29	126,46
BD18	2012	2.772,65	1.751	63,15
BD19	2014	3.920,89	2.521,49	64,31

Conforme o Quadro 19, identificou-se que as BD (BD1, BD15, BD18, BD19), possuem um volume de detenção de projeto menor (49% a 89%), do que se fossem consideradas todas as equações e parâmetros propostos na diretriz de drenagem municipal. Pelo contrário as BD (BD9, BD10, BD14, BD16), possuem um volume de detenção de projeto maior do que o cálculo feito conforme a diretriz de drenagem municipal (116% a 149%). Um único caso apresentou o volume de projeto igual ao volume da diretriz.

Foram consultadas algumas destas diferenças com técnico da SMOP e com projetista, onde foi relatado que a aplicação do período de retorno de 100 anos foi depois do ano 2010 exclusivamente para as BD, que os projetos sofrem muitas modificações pelo que é possível que o documento consultado na SMH DU não seja o último aprovado, e que é possível que por um breve período do ano 2012 as bacias dos empreendimentos puderam ser aprovadas com períodos de retorno de 10 anos por orientações naquela época.

Considera-se que a pesar da equação simplificada apresentada na diretriz de drenagem para cálculo do volume de armazenamento apresentar resultados satisfatórios, o tempo de concentração nem sempre representa o tempo crítico, sendo que este tempo deve ser encontrado

considerando a maior diferença entre o volume de entrada e de saída avaliando esta situação para diferentes tempos de chuva.

Na análise do período de retorno usado coloca-se na discussão o fato de considerar um período de 10 anos para o dimensionamento da rede de galerias do sistema tradicional de drenagem, e ao mesmo tempo é solicitado o uso de um período de 100 anos para o dimensionamento da BD; sendo que ambos conformam um mesmo sistema de drenagem, poderia-se buscar um único período de retorno sendo mais compatível considerar uma única chuva de projeto, já que a vazão máxima que vai chegar até a BD será a mesma suportada pela capacidade máxima das galerias.

Por outra parte também é de considerar que o risco em caso de falha da BD é maior do que o risco do sistema de microdrenagem, pelo que normalmente é adotado um período de retorno maior no caso da BD pelo se tratar de uma obra de macrodrenagem que pode gerar maiores afetações.

A pesar das diferenças destaca-se que a diretriz municipal para projetos de drenagem é o documento vigente usado para a aprovação dos projetos da BD, e a prefeitura tem o direito de exigir ela como obrigação para o loteador. Para isto cada dimensionamento é analisado e verificado pela SMOP para sua aprovação, segundo entrevista realizada com técnico da SMOP.

Alguns fatores como o fato de não ter visto em nenhuma visita *in loco* nos dias de chuva uma lâmina de água considerável (Figuras 106 a 109) nas bacias com orifício de fundo e serem mínimas as ocasiões relatadas sob enchimento considerável da BD nas entrevistas realizadas, possibilita a consideração de um possível sobredimensionamento ou uma insuficiência na restrição da vazão efluente.

Outro aspecto identificado foi que conforme apresentado na Tabela 2, existem eventos de inundações gerados por precipitações diárias de até 30 mm diários, segundo o Quadro 15 dois dias das visitas excederam este valor (03/08/2018 e 24/11/2018), porém, estes dias não foi evidenciado um enchimento nem do 30% da capacidade das unidades de detenção, mostrando que estas podem suportar eventos de precipitação dentro da ordem de grandeza daqueles que geram impactos como inundações e alagamentos, porém, sem considerar a distribuição desta chuva no dia.

Figura 106 – Lâmina de água (40,6 mm de chuva)



Fonte: Autor (03/Ago./2018)

Figura 107 – Lâmina de água (19,2 mm de chuva)



Fonte: Autor (06/Maio/2018)

Figura 108 – Lâmina de água (41,9 mm de chuva)



Fonte: Autor (24/Nov./2018)

Figura 109 – Lâmina de água (19,2 mm de chuva)



Fonte: Autor (25/Out./2018)

Apesar de não ser considerada a parcela de água infiltrada no fundo da BD no volume de retenção calculado, foi percebido que em alguns projetos foram considerados aspectos como, um tipo de solo favorável para a infiltração e a transição granulométrica na composição do solo para evitar a colmatação do fundo.

Uma vez obtido o volume de retenção segundo os cálculos feitos, a escolha da distribuição desse volume na área disponível é outra parte do processo de dimensionamento, para poder finalizar nas plantas e detalhes para a construção da BD. Tanto nas visitas *in loco* como nos memoriais de cálculo tem-se identificado diferentes profundidades e declividades nos taludes para a conformação deste volume o qual depende primordialmente do espaço disponível. O Quadro 20 apresenta como foi distribuído este volume nos projetos consultados.

Quadro 20 – Conformação do volume da BD

Nº	Volume útil da BD (m³)	Área da BD (m²)	Talude (H:V)
BD1	5.700	3.288,65	1:1
BD9	2.994,1	3.025,75	1:1
BD10	5.332,85	4.471,98	2:1
BD12	1.146	971,47	1:1
BD13	383	345,3	1:1
BD14	3.042	931	-
BD15	2.414,5	2.039,9	-
BD16	1.214,15	3.110,37	1:2
BD18	1.751	1.256,85	2:1
BD19	2.558,44	2.734,57	1:1

Fonte: SMH DU (2018)

Notas: (-) Dado indisponível

Uma das formas para diminuir a área ocupada pela BD segundo foi relatado por projetista é fazê-la totalmente impermeabilizada com revestimento em concreto, assim em menor área vai ser possível dispor maior volume no momento de não precisar a conformação de taludes, porém, o custo do concreto vai ser mais elevado.

Também como outro parâmetro para definir a profundidade identificaram-se duas considerações nos projetos de drenagem; a primeira que deve-se manter a borda livre da BD 20% acima do nível d'água máximo, a outra, considera uma margem de segurança de no mínimo 25 cm acima do nível d'água máximo.

5.4.2 Estruturas Hidráulicas

As estruturas que fazem parte da unidade de bacia de detenção, estão conformadas pela estrutura de entrada d'água, saída d'água e de lançamento final, as quais fazem o controle da vazão e evitam os danos decorrentes do escoamento como a erosão e o assoreamento.

Em geral identificou-se que a maioria de projetos de drenagem apresentavam detalhes de planta como perfil das estruturas hidráulicas com informações como dimensões, cotas e materiais de construção.

➤ Estruturas de entrada d'água:

As estruturas de entrada d'água são aquelas pelas que ingressam na BD as águas pluviais transportadas pelo sistema de drenagem tradicional do loteamento/área/condomínio a montante; sendo que este sistema tradicional de drenagem consiste em elementos de captação e transporte do escoamento superficial como sarjetas, bocas de lobo, caixas de passagem, poços de visita e galerias subterrâneas, onde por meio destes a água pluvial é conduzida desde a área de contribuição até a BD.

Nas visitas *in loco* foram identificadas diferentes tipos de estruturas de entrada, que foram agrupadas em quatro tipologias apresentadas nas Figuras 110 a 113.

Figura 110 – Estrutura de entrada Tipo I



Fonte: Autor (Out./2018)

Figura 111 – Estrutura de entrada tipo II



Fonte: Autor (Ago./2017)

Figura 112 – Estrutura de entrada tipo III



Fonte: Autor (Maio/2018)

Figura 113 – Estrutura de entrada tipo IV



Fonte: Autor (Mar./2018)

Todas estas tipologias de estrutura de entrada são em concreto reforçado, conformadas pela tubulação de entrada d'água, paredes de ala nas laterais para evitar a erosão na zona no entorno delas e dissipadores de energia como escadas hidráulicas e blocos de impacto para diminuir a velocidade com que a água chega na BD.

Observou-se que quando a cota da tubulação de entrada é maior do que o fundo da BD dispõem-se degraus. Outros casos faziam uso de blocos de impacto como paredes de concreto ou a combinação destes junto com escadas.

Foi identificado também que a disposição de rochas (Figura 114) ajudam na dissipação de energia toda vez que estes são obstáculos na trajetória da água. Em outros casos estas rochas eram substituídas por pequenos cilindros de concreto com mostrado na Figura 115. Também foi observada acumulação de sedimentos perto da estrutura de entrada, que segundo

Nascimento *et al.* (1999b), ajuda a uma remoção mais fácil, porém, estes têm que ser retirados de forma manual com regularidade para evitar o carregamento deles por outros eventos de precipitação.

Figura 114 – Disposição de rochas na estrutura de entrada d'água



Fonte: Autor (Fev./2018)

Figura 115 – Cilindros de concreto em estrutura de entrada d'água



Fonte: Autor (Maio/2018)

➤ Estruturas de saída d'água:

As estruturas de saída d'água foram identificadas na maioria das BD, observando que esta estrutura é feita em concreto armado ou em alvenaria revestida de cimento impermeabilizado. Foi identificado nas BD que a mesma estrutura de saída, faz o controle e restrição da vazão de saída por meio de um orifício de fundo, e ao mesmo tempo possui um vertedor que encontra-se no topo da estrutura e permite a saída de água para eventos de precipitação de maior magnitude, definindo a altura máxima do nível d'água e evitando o transbordamento na BD; alguns dos vertedores identificados possuíam grades para a retenção de resíduos sólidos ou por segurança.

As diferentes estruturas de saída de água observadas nas BD, foram agrupadas em quatro tipologias conforme suas características similares, as quais são apresentadas nas Figuras 116 a 119.

Observa-se nas figuras que o orifício de fundo que faz o controle e restrição da vazão de saída pode-se encontrar em seção retangular ou circular. Destaca-se a adaptação feita na estrutura da Figura 116 com a colocação de estacas de madeira para evitar o ingresso dos resíduos de maiores dimensões no orifício de saída, a qual tem funcionado de maneira eficiente segundo entrevista realizada com síndico do condomínio; esta mesma função é feita pela grelha da Figura 117.

Figura 116 – Estrutura de saída d'água tipo I



Fonte: Autor (Mar/2018)

Figura 117 – Estrutura de saída d'água tipo II



Fonte: Autor (Mai/2018)

Figura 118 – Estrutura de saída d'água tipo III



Fonte: Autor (Ago/2018)

Figura 119 – Estrutura de saída d'água tipo IV



Fonte: Autor (Mar/2018)

O vertedor da estrutura tipo I e tipo II é conhecido como tipo tulipa, observa-se que este encontra-se no topo da estrutura de saída onde a água pode entrar por todo o perímetro. O vertedor da estrutura de saída tipo III e tipo IV é conhecido como tipo soleira, onde a água sai pela abertura em forma de janela localizada na parte superior da estrutura, para ambos tipos de vertedores foram evidenciadas estruturas com e sem tampa superior.

Identificou-se que a tubulação que conduz a água desde a estrutura de saída até sua disposição final pode-se encontrar tanto na mesma cota do fundo da BD como abaixo desta, definido pela topografia do terreno e a distância entre a BD e o local para o lançamento da água pluvial.

➤ **Dispositivo de lançamento final:**

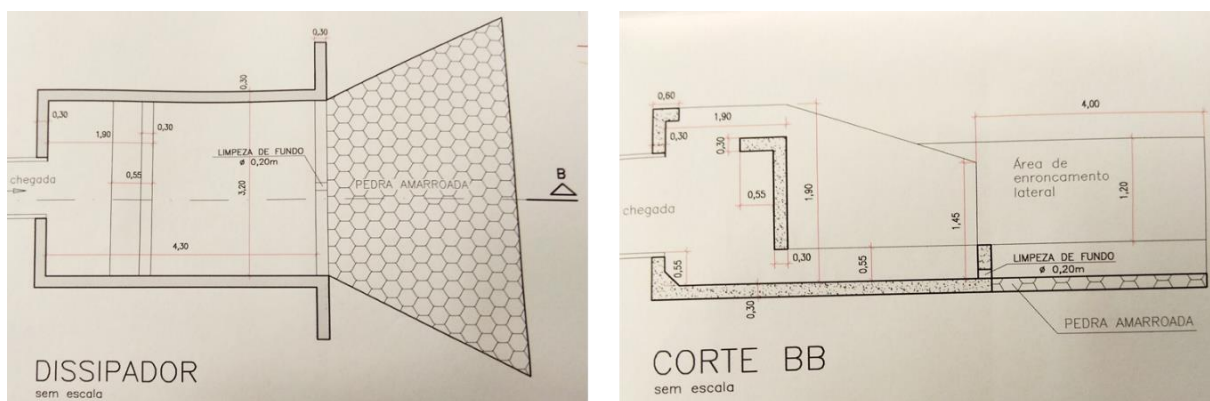
O dispositivo de lançamento final corresponde a um dissipador de energia, com função similar das estruturas de entrada d'água, evitando os processos erosivos nas margens dos córregos para onde são encaminhadas as águas pluviais.

Na maioria dos projetos de drenagem consultados o detalhe desta estrutura corresponde ao dissipador conhecido como dissipador de impacto (Figura 120) ou bloco de impacto segundo Tomaz (2015), que é uma solução prática e eficiente na saída de tubulações, recomendada pela prefeitura Municipal de São Paulo.

A parede de concreto (defletor vertical) e os blocos diminuem a energia com que a água chega pelo impacto, e a colocação de pedras de mão amarrada ou colchão reno sobre manta geotêxtil é recomendada para diminuir ainda mais a velocidade da água e espalhar melhor o escoamento na transição com o canal natural; a função da manta geotêxtil é de filtração da água e evitar a contaminação do lençol no momento de reter as partículas sólidas.

Não foi possível identificar nas visitas *in loco* o dispositivo de lançamento final de nenhuma das BD devido a que esta estrutura dispõe-se muito perto do córrego, numa zona de difícil acesso pela presença de abundante vegetação nas margens.

Figura 120 – Esquema de Dissipador de Impacto



SMH DU (2018)

No Quadro 21 apresentam-se as dimensões das estruturas hidráulicas das BD consultadas nos projetos de drenagem pluvial, as quais são solicitadas pela prefeitura no momento de apresentação do projeto, junto com plantas e detalhes gráficos.

Destaca-se que alguns projetos (BD12, BD14, BD18), não apresentavam o memorial de cálculo do orifício de fundo e do vertedor. No caso do orifício, não foi possível, portanto, fazer uma análise da metodologia usada e nem verificar a função hidrológica de restrição da vazão de saída pelas dimensões do orifício de fundo.

Identificou-se que para o cálculo das dimensões do orifício de fundo e do vertedor foram usadas as equações 7 e 8 do item 3.4 respectivamente, conforme a vazão a ser controlada e a altura máxima da lâmina de água. Apesar de estas equações não serem mencionadas na diretriz municipal de drenagem, esta dispõe a necessidade de executar o orifício de fundo e o vertedor.

Quadro 21 – Dimensões das estruturas hidráulicas

N°	Estrutura de entrada	Estrutura de saída				
	Ø do tubo de entrada na BD (mm)	Orifício do fundo		Vertedor		
		Circular (Ø m)	Retangular (□ m x m)	Retangular (□ m x m)	H ⁽¹⁾ (m)	Ø do tubo de saída da BD (mm)
BD1	1.200; 1.000 e 800	*	0,9x0,9	2,1x0,35 (3x) (soleira)	1,9	1.500
BD10	1.000 e 800	0,3	*	1,2x1,2 (tulipa)	2,05	1.000
BD12	250 e 600	*	0,45x0,45	2,05x0,35 (soleira)	1,55	800
BD13	200 e 300	*	0,1x0,1	0,4x0,35 (soleira)	1,2	600
BD14	1.200 e 800	0,6; 0,6 e 0,6	*	3x3 (tulipa)	3,5	1.500
BD15	-	0,3	*	1,5x1,5 (tulipa)	1,5	800
BD18	600 (2x)	0,3	*	1,9x1,9 (tulipa)	1,5	1.000
BD19	600 e 1.000	*	0,6x0,55	1,7x0,5 (2x) (soleira)	1,9	1.200

Fonte: SMH DU (2018) Notas: (-) Da do indisponível (*) Não se aplica (1) altura nível Max. d'água

Segundo entrevista realizada com técnico da SMOP e engenheiro de construtora, destaca-se que sempre é feito um recebimento da BD por parte da SMOP através de um termo de verificação de obra, que autoriza qualquer alteração em cada obra com respeito ao dimensionamento e especificações construtivas apresentadas.

Os erros mais comumente encontrados durante esta verificação correspondem a rede subdimensionada, diferenças na localização da BD, volume reduzido, problemas no extravasor, para o qual é enviado um “comunique-se” para corrigir os erros e poder dar aprovação ao projeto de drenagem.

5.4.3 Processo Construtivo

No levantamento de dados dos projetos de drenagem dos loteamentos, foram identificadas várias considerações quanto ao processo de implantação das bacias de detenção.

No primeiro momento prevê-se um controle do escoamento superficial através do direcionamento por declividade, por meio da identificação das curvas de nível, dando lugar às atividades da implantação da rede de condução de águas pluviais, evitando os processos erosivos ao se realizar os movimentos de terra e as escavações em períodos de estiagem. Da mesma forma os movimentos de terra são planejados para serem os estritamente necessários, assim como as áreas finalizadas são recobertas por vegetação.

Segundo percebido nas entrevistas e nos projetos de drenagem as atividades da comissão de topografia são muito importantes na construção da BD, quanto a exatidão na implantação e demarcação da BD conforme o dimensionamento, assim como no aproveitamento do volume de terra escavado para ser usado no mesmo local como aterro e evitar maior desperdício.

Em entrevista com engenheiro de construtora foi relatado que a BD é a primeira obra a ser executada. Assim, o conjunto do sistema de drenagem é construído de jusante para montante apesar de ser dimensionado de montante para jusante. Também foi descrito que a terraplenagem para a conformação da BD é feita de forma paralela com o sistema de saída e lançamento final, que consiste na estrutura de saída para o córrego junto com o dissipador de energia. Deste modo, a BD vai estar pronta junto com a tubulação para encaminhar as águas armazenadas até o córrego, e evitar a formação de lâmina d'água permanente durante a construção do restante sistema de microdrenagem. Também é deixada uma pequena declividade no fundo da BD, entre as estruturas de entrada e saída para evitar formação de lâmina d'água.

Na construção do fundo da BD, uma das considerações é colocá-lo o mais baixo possível, para poder levar a tubulação de saída até sua disposição final com a declividade regulamentar, porém deve-se ter o cuidado de não atingir o nível do lençol freático já que isto pode gerar lâmina de água dentro da BD gerando crescimento indesejável de vegetação ou uma possível contaminação do lençol freático pela infiltração de água poluída.

Quanto as dificuldades na construção da BD, o Engenheiro mencionou que depende muito do terreno onde será implantada a BD. O tipo de solo, por exemplo, às vezes precisa de um tipo de contenção, mudar as inclinações dos taludes, fazer proteções além da grama como gabiões ou terra armada, mas em geral o tipo de solo em São Carlos apresenta boas condições para a implantação da BD.

Uma das especificações construtivas que foi identificada em vários projetos de BD, foi a diretriz para executar calçamento em concreto em todo o entorno da BD. Porém, em nenhum projeto visitado foi executada esta disposição, possivelmente porque a BD sempre localiza-se numa esquina ou no perímetro do condomínio, pelo que não era necessário a construção da calçada. Além disso, a BD não é projetada para a caminhada da população ao seu redor.

Outro dos aspectos mencionados pelo engenheiro da construtora foi que normalmente os taludes são cobertos com grama para evitar a erosão, porém, o fundo normalmente é compactado e deixado sem cobertura, para evitar o crescimento de vegetação excessiva que pode afetar o funcionamento da BD, diminuindo seu volume útil, dificultando o escoamento e atraindo vetores transmissores de doenças, tendo em vista que a manutenção nem sempre é feita com a frequência devida, conforme os estados de conservação das BD apresentados no Quadro 17.

Por outro lado, evidenciou-se em alguns projetos a especificação construtiva para colocar cobertura tanto no fundo como nos taludes da BD. Nas visitas *in loco* foram evidenciadas BD com fundo com e sem grama (Figuras 121 e 122).

Figura 121 – Talude com cobertura, fundo sem cobertura



Fonte: Autor (Maio/2018)

Figura 122 – Talude sem cobertura, fundo com cobertura



Fonte: Autor (Maio/2018)

Um dos aspectos importantes a considerar é o tipo de grama que vai ser colocado especialmente nos taludes, um dos tipos que foi detalhado nas especificações de alguns projetos foi a grama tipo batatais, a qual possui características como folhas longas, volumosas e com coloração verde claro, que pode crescer até 30 cm e tem melhor desenvolvimento em lugares com pleno sol (CENTRAL DA GRAMA, 2016). Também este tipo de grama possui raízes densas e profundas que ajudam na contenção como no caso dos taludes nas BD prevendo com isso os processos erosivos gerados pelo escoamento superficial e minimizando o impacto visual das estruturas hidráulicas em concreto dentro da unidade.

Outra das especificações construtivas quanto as BD é de dotá-las com alambrado de mínimo 1,80 m de altura em todo o perímetro e portão de acesso (Figura 123), com função de segurança para evitar acidentes ou o ingresso de pessoal não autorizado ao interior da BD. Esta especificação confirma a concepção somente hidrológica com que são projetadas as BD no município de São Carlos sem integrá-las com o espaço urbano. Por outro lado, estas

especificações reforçam, a importância do isolamento das unidades, para evitar usos indevidos e acidentes, considerando que foram observadas BD com vários metros de profundidade.

Não foi identificado em nenhuma especificação construtiva nem por exigência da prefeitura a diretriz para a construção de rampa de acesso na BD, porém das 26 unidades visitadas, seis delas possuem rampa de acesso (Figura 124), que segundo entrevista com engenheiro de construtora são feitas como uma boa prática para facilitar o ingresso do pessoal ou de maquinaria no caso precisar para fazer as atividades de manutenção pertinente.

Figura 123 – Rampa de acesso na BD



Fonte: Autor (Mar./2018)

Figura 124 – Alambrado e portão de acesso na BD



Fonte: Autor (Maio/2018)

De forma geral, com respeito à construção da BD, são poucas as especificações construtivas evidenciadas nos relatórios dos projetos de drenagem pluvial, sendo que as principais são que as BD serão construídas em terra, compactando o solo e finalizando com cobertura em grama. Quanto às estruturas hidráulicas como as de entrada, saída e lançamento final, deve-se seguir o apresentado nas plantas e detalhes construtivos, garantindo as propriedades dos materiais como o concreto e o aço, respeitando suas dimensões e disposições.

Interessante destacar que o projeto de drenagem pluvial da BD13, previa a implantação de dispositivos de infiltração (poços circulares escavados a trado envoltos em manta geotêxtil e preenchidos com pedra britada) no interior da mesma, considerando que não era conveniente fazer poços de infiltração junto aos blocos residenciais pela característica do solo colapsível. Isto gera um melhor controle hidrológico ao combinar a técnica de retenção com infiltração como mencionado por Holman-dodds, Bradley e Potter (2003). Entretanto, não foi possível verificar *in loco* a implantação da tais dispositivos.

5.4.4 Manutenção

Conforme as entrevistas e os relatórios do sistema de drenagem pluvial consultados foi identificado que as atividades de manutenção não representam uma alta complexidade,

consistindo principalmente em práticas como roçagem, retirada de resíduos sólidos e de acumulação de sedimentos. Não deveria ser comum encontrar grande quantidade de resíduos sólidos na BD, uma vez que as bocas de lobo do sistema de drenagem ajudam a retê-los previamente.

Como parte da manutenção preventiva incluem-se o monitoramento quanto a eficiência na saída das águas pluviais, inspecionando entupimentos em ralos e na proteção do sistema, verificando o aparecimento de zonas com processos erosivos. Estas inspeções deverão ser realizadas com frequência, especialmente quando acontecer chuvas intensas.

A frequência da manutenção é um aspecto que varia muito para cada projeto de BD; têm se evidenciado considerações nos relatórios dos sistemas de drenagem pluvial que deve-se fazer manutenção diária na BD para evitar acumulação de resíduos e obstrução das estruturas hidráulicas; por outro lado nas entrevistas foram relatadas frequências desde 1 vez por semana até duas vezes por mês.

Devido a que a presença de sólidos no escoamento superficial depende muito da ocupação e uso do solo onde a BD encontra-se localizada, esta frequência de manutenção deverá ser estabelecida para cada BD de forma individual por meio do acompanhamento do seu funcionamento, principalmente no momento das chuvas, para assim poder determinar a quantidade de resíduos e sedimentos que recebe a BD conforme o evento de precipitação.

A acumulação de sedimentos foi evidenciada em grande parte das BD visitadas principalmente perto da estrutura de entrada d'água (Figura 125), podendo afetar o correto funcionamento. Em menor quantidade foram evidenciadas BD com resíduos sólidos dentro dela (Figura 126), gerando um aspecto visual desagradável, de abandono do espaço ocupado pela BD, além de contaminação e mau cheiro.

Figura 125 – Acumulação de sedimentos



Fonte: Autor (Maio/2018)

Figura 126 – Resíduos sólidos dentro de BD



Fonte: Autor (Maio/2018)

A outra parte da manutenção corresponde às atividades de roçagem que segundo entrevistas realizadas é feita de forma manual, aspecto que foi identificado como descuidado na maioria das BD pela altura considerável da vegetação, principalmente perto da estrutura de entrada d'água onde acumula-se água ocasionando um maior crescimento da vegetação (Figura 127).

Por outro lado, também foram evidenciadas outras poucas BD com a vegetação em bom estado podendo ser pela mesma natureza da grama que não atinge maior altura ou pela alta frequência na roçagem (Figura 128).

Figura 127 – Vegetação excessiva dentro de BD



Fonte: Autor (Maio/2018)

Figura 128 – Bom estado da grama dentro da BD



Fonte: Autor (Ago./2018)

Quanto a responsabilidade pela manutenção das BD segundo as entrevistas realizadas, os diferentes agentes concordam em que existe um acordo em que no caso da BD pertencer a um condomínio privado, a responsabilidade pela manutenção da BD é da administração do condomínio, que realiza esta atividade com pessoal de jardinagem próprio ou de empresas contratadas para aquilo. Por outro lado no caso da BD pertencer a uma área pública, a responsabilidade é da SMSP.

No caso da manutenção a cargo do poder público, foi relatado por parte de técnico da SMSP que não existe um plano de manutenção preventiva para as BD, sendo feita uma limpeza nas obras de drenagem na época de maiores eventos de precipitação, principalmente naqueles pontos da cidade que, por experiência, é sabido que costuma ter maior acúmulo de resíduos e assoreamento, sem ser específico para as BD.

Para fazer esta manutenção a SMSP conta com 8 pessoas entre pessoal próprio e contratado para manutenção em geral de toda a área do município. Os trabalhos de roçagem são

principalmente considerados quando a BD encontra-se perto de vias e áreas urbanizadas, já quando esta encontra-se inserida dentro de uma área de preservação que não implica a passagem de pessoas, não existe um serviço regular de roçagem. Outros trabalhos pontuais são executados sob demanda como reconstituição de taludes ou consertar galerias ou dissipadores de energia.

Um dos aspectos destacados pelo funcionário da SMSP foi que, considerando a implantação da BD como uma obrigação relativamente recente no município, uma falta de manutenção frequente ainda não representa maior problema, porém, vai ter que ser feito no futuro um plano para o controle da manutenção destas unidades.

De forma geral, identificou-se nas visitas realizadas às BD que existe uma melhor manutenção e melhor estado de conservação nas BD pertencentes aos condomínios fechados. Caso contrário acontece com algumas das BD localizadas em áreas públicas, evidenciando a falta de plano de manutenção pelo estado de conservação inadequada conforme visitas *in loco*.

5.4.5 Custos

Os custos envolvidos quanto às BD limitam-se ao custo pela implantação e o custo pela manutenção, já que a BD não precisa de outros gastos para poder funcionar, considerando que a entrada e saída d'água nela é por gravidade.

Nos projetos de drenagem pluvial consultados, somente para dois deles foram identificados dados sobre os custos das BD, devido a que como foi informado por projetista não é uma obrigação apresentar um orçamento detalhado para aprovação do projeto da BD, como acontece com o memorial de cálculo e os detalhes construtivos que devem ser apresentados. No Quadro 22 são apresentados os itens junto com sua unidade de medida que fizeram parte do orçamento da implantação da BD 15.

Quadro 22 – Itens no orçamento para implantação da BD

Item	Unidade
Limpeza de terreno c/bota fora	m ²
Escavação material	m ³
Aterro material	m ³
Compactação material	m ³
Dispositivos hidráulicos	un.
Plantio de grama	m ²
Alambrado e portão	un.
Calçamento e plantio de árvores	vb

Fonte: SMH DU (2018)

Aclara-se que os itens apresentados no Quadro 22 nem sempre são os mesmos para qualquer BD, dependendo estes das especificações e a concepção de cada projeto, como por exemplo o tipo do solo, o tipo de estrutura de isolamento, o tipo de estrutura hidráulica a colocar ou qual vai ser a grama de cobertura. Deste modo, o custo total para duas BD com o mesmo volume de detenção pode apresentar uma variação.

Como comparativo os custos de implantação por unidade de volume para as BD15 e BD18 são comparados com os custos abordados na revisão bibliográfica e apresentados no Quadro 23.

Quadro 23 – Comparativo dos custos de implantação da BD

Identificação	Custo de implantação [R\$/m ³]	Ano Base
BD15 * ¹	27,83	2007
BD18 * ¹	48,54	2012
BD Aberta gramada * ²	51,46	2007
BD Aberta gramada * ³	28,91	2003
BD Aberta gramada * ⁴	23,76	2012

Fonte: *¹ SMH DU (2018); *² NUCASE (2007); *³ Moura (2004); *⁴ Peroni (2018)

Observa-se do quadro anterior que existem dois intervalos de preços na implantação da BD por unidade de volume, o primeiro entre R\$/m³ 23,76 – R\$/m³ 28,91 e o segundo entre R\$/m³ 48,54 – R\$/m³ 51,46 o que representa uma variabilidade de quase o dobro no custo de implantação, considerando que cada projeto é único e tem suas próprias especificações, mesmo tratando-se todas de unidades abertas e gramadas.

Quanto aos custos de manutenção da BD, não foram encontrados dados específicos em nenhum dos projetos de drenagem consultados, somente nas entrevistas realizadas foi relatada uma noção do que corresponde aos custos de manutenção, toda vez que a BD é considerada como uma subárea dentro de uma totalidade de área verde de um condomínio a ser conservada por meio de atividades de manutenção da grama.

No caso da BD1 foi relatado pelo gerente de condomínio que existe um contrato anual com uma empresa para fazer a manutenção das zonas verdes de todo o condomínio, podendo-se fazer um estimativo do custo da manutenção para a área ocupada pela BD comparado com o custo total pago para a manutenção de cada lote como apresentado no Quadro 24.

Quadro 24 - Custos de manutenção da BD

Identificação	Área [m ²]	Custo de manutenção [R\$/mês]
Lote	450	110
BD1	3.288	804

Sabendo que o custo total da manutenção de todo o condomínio no qual está inserida a BD1 é de R\$/mês 15.600 o custo da manutenção da BD representa um 5% deste, o que evidencia a baixa porcentagem para a manutenção da BD dentro do orçamento total destinado para estas atividades pelo condomínio. Também foi relatado por vários dos agentes entrevistados o baixo custo que representam as atividades de manutenção na BD sendo que estas geralmente correspondem a capinação e retirada de detritos maiores.

Considerando que a BD1 segundo projeto de drenagem, apresenta uma área de contribuição de 28,17 ha, segundo o Quadro 24, pode-se calcular o valor da manutenção por hectare por ano, e comparar-se com os custos consultados na bibliografia, para uma BD aberta e gramada. No Quadro 25 apresenta-se este comparativo, encontrando-se um valor semelhante a uma das fontes.

Quadro 25 – Comparativo dos custos de manutenção da BD

Identificação	Custo de Manutenção [R\$/ha.ano]
BD1 * ¹	342,5
BD Aberta gramada * ²	312,44
BD Aberta gramada* ³	190

Fonte: *¹ SMH DU (2018); *² NUCASE (2007); *³ Moura (2004)

Ressalva-se que os custos de manutenção das fontes bibliográficas correspondem à atividade de retirada de resíduos sólidos, sem incluir a reconstituição da grama, no entanto, o custo calculado para a BD1, corresponde a uma atividade de manutenção como um todo, não sendo possível a diferenciação destas atividades.

5.4.6 Integração Urbana

Conforme os projetos de drenagem das BD consultados e suas especificações, não foi encontrada uma diretriz que visasse como uma das funções da BD a integração e o aproveitamento deste espaço por parte da comunidade. Somente a função de controle hidrológico e drenagem pluvial é priorizada sem abordar na concepção do projeto o multiuso.

Nas visitas *in loco*, foi evidenciado como a BD, na maioria dos casos, é afastada dos moradores e isolada, mesmo quando se localizam dentro da área do condomínio. Muitas vezes, são localizadas fora do alambrado que delimita a área privada do condomínio, ou inseridas próximas as APPs dos córregos.

Em entrevistas realizadas foi relatado que grande parte dos moradores ficam indiferentes com este espaço ocupado pela bacia de detenção, pelo que não faz parte de uma zona de convivência e lazer. Foram mencionados alguns casos onde o morador critica o fato da BD não

ficar cheia de água ou porque o espaço ocupado por ela não tem nenhum objetivo, evidenciando a falta de conhecimento sobre a sua função.

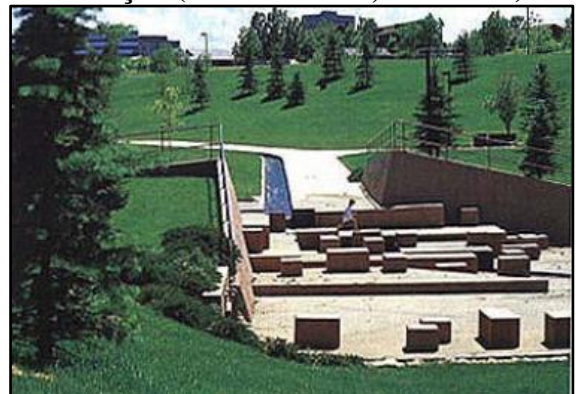
Como exemplos da possibilidade da integração urbana das BD, na Figura 129 observa-se um reservatório de contenção o qual pode ser usado também como campo de futebol na temporada de estiagem. Na Figura 130 apresenta-se um parque que tem a função de detenção de águas pluviais para períodos de retorno grandes, o qual é usado para outras atividades como jogar futebol e frisbee, além de possuir rochas em forma de bloco que diminuem a velocidade de escoamento e também funcionam como espaço de lazer para as crianças e como zona de comidas.

Figura 129 – Reservatório de contenção em São Bernardo do Campo/SP



Fonte: DAEE (2000)

Figura 130 – Parque como bacia de detenção (Wallace Park, Colorado)



Fonte: Shinde (2002 apud STRUTIN, 1991)

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foram caracterizadas e avaliadas uma totalidade de 23 BD e 3 SBD implantadas no município de São Carlos, evidenciando a escolha da construção desta técnica compensatória para os novos loteamentos/condomínios, com o objetivo de controle de drenagem pluvial e amortecimento de cheias.

A obrigatoriedade para a implantação de BD no município é relativamente recente, estabelecida pelo Plano Diretor Municipal do 2005, motivo do porque as BD estão implantadas nas zonas perimetrais do município onde estão sendo construídos os novos empreendimentos e é direcionado o vetor de expansão urbana.

A diretriz estabelecida pelo Plano Diretor de manter a vazão pré-urbanização, é complementada pela obrigatoriedade de construção de poço de infiltração ao nível de lote, estabelecendo assim duas técnicas atuando como sistema de drenagem pluvial sustentável.

Existem outras diretrizes em nível municipal que ajudam no propósito de diminuir o escoamento superficial, como o caso da conservação de uma porcentagem de superfície permeável por meio do estabelecimento de coeficientes de permeabilidade e de áreas mínimas de reserva legal. Por outra parte evidenciou-se uma falta de articulação nas legislações tanto ao nível Municipal como Estadual e Federal.

Uma grande parte das BD estão localizadas em áreas fora do entorno delimitado onde habita um conjunto de moradores, e principalmente perto dos córregos ou afluentes onde vão dispor a água armazenada temporariamente. Caracteriza-se, portanto, priorização (ou exclusividade) da função hidrológica da BD, sem considerar sua possível integração no espaço urbano. Destaca-se que uma forma de integração da comunidade no convívio junto com a unidade de detenção foi evidenciada em três BD, nas quais se apresentaram arborização e colocação de bancos para embelezamento e aproveitamento da área verde no perímetro da BD.

Em geral a acessibilidade para chegar na zona onde estas unidades de detenção estão localizadas é fácil, porém é necessário conhecer previamente a exata localização de algumas delas, sendo que apesar de que a BD é uma técnica centralizada de grandes dimensões, quase um terço das BD avaliadas possuem baixa visibilidade.

Com respeito ao isolamento, uma grande porcentagem das BD estão totalmente fechadas apresentando estruturas como alambrado e portão, que são colocadas por motivos de segurança evitando acidentes e o uso deste espaço para atividades diferentes do armazenamento de água.

Existe uma problemática quanto ao estado de conservação destas unidades, já que mais da metade delas não apresenta condições totalmente adequadas para estar inseridas numa zona urbana, principalmente por deficiências quanto à frequência de manutenção, caracterizada

principalmente pela vegetação excessiva e, em alguns casos, com evidências de resíduos sólidos, sedimentos, e processos erosivos. Estes aspectos aumentam a probabilidade de um incorreto funcionamento da unidade, junto com uma opinião negativa de população que habita no entorno da área.

Com relação à vegetação, embora ela ajude na melhoria da infiltração da água, na interceptação e evita a erosão e assoreamento tanto no solo como nos taludes dos reservatórios, o excesso tanto em sua altura como em quantidade possibilita a ineficiência na função hidrológica da unidade, ao obstruir as estruturas de entrada e saída d'água e diminuir o volume útil de armazenamento d'água. Além disto, pode gerar proliferação e abrigo de vetores e animais peçonhentos.

Um bom estado de conservação da BD ajudar a manter uma boa qualidade das águas armazenadas e posteriormente recebidas pelos córregos; aspecto fundamental no caso da BD localizada dentro de uma área de proteção e recuperação de mananciais do município, próxima à estação de captação de água do Espreado, e nas demais BD, para conservar a melhor qualidade dos corpos d'água.

Como aspecto em comum foi identificado que as BD sob gestão pública foram as que apresentaram as piores condições de conservação, indicando uma necessidade de melhoria na atenção destas unidades por parte dos agentes públicos para viabilizar a implantação da técnica e exaltar os benefícios dela na drenagem pluvial do município.

Mais da metade das BD estão localizadas na proximidade de zonas urbanas habitadas o que justifica a importância de uma boa conservação destas unidades em quanto as condições sanitárias e ambientais por parte dos agentes encarregados, além de uma educação da população próxima sobre o uso e cuidado destas áreas.

A totalidade das BD estudadas neste trabalho possuem uma função somente hidrológica, confirmando a observação de autores como Tucci (2005) e Baptista, Nascimento e Barraud (2015), sobre o uso de BD somente para o amortecimento do pico de cheias no contexto Brasileiro, assim como identificado por Peroni (2018) em Araraquara, outra cidade do interior do estado de SP. Deve-se ter em consideração a dificuldade de destinar estas áreas para outros usos como de lazer, se não é concebido desde a etapa do projeto para tal.

As BD cumprem com o objetivo de esvaziar a água armazenada dentro de 24 horas após o evento de precipitação, e não apresentaram um enchimento significativo do volume disponível no momento da chuva, para as alturas de precipitação registradas nos dias da visita. As exceções foram três BD as quais não possuíam orifício do fundo para a saída da água armazenada, onde o único exutório é por infiltração da água no solo.

Muitas das zonas onde as BD estão implantadas foram identificadas com sistemas de drenagem insuficiente, pelo que é de vital importância a função da BD para manter a vazão pré-urbanização e evitar a sobrecarga do sistema de drenagem pelo aumento do escoamento direto devido ao aumento da impermeabilização do solo.

Nos projetos de drenagem das BD coletados e analisados verificou-se a consideração de critérios para o controle da vazão pico e evitar a erosão e assoreamento tanto dentro da BD como nas margens dos córregos. Por outro lado, não foram evidenciadas considerações de critérios urbanísticos como o paisagismo ou a integração com a comunidade para usar estas áreas como espaços de lazer e convívio.

A análise da metodologia de dimensionamento permitiu identificar que todos os projetos seguem o conceito de conservar a vazão pré-urbanização, e utilizam o método racional para o cálculo das vazões máximas. Por outro lado, existem diferenças no cálculo das variáveis e o volume de armazenamento respeito as equações propostas pela Diretriz Municipal para Projetos de Drenagem Pluvial.

Foi possível também identificar que o volume de detenção é calculado considerando o fundo da BD impermeável, porém, na prática tem se observado que o solo natural das BD também pode ser um exutório além da estrutura de saída, o que pode dar maior segurança na prevenção de enchentes toda vez que o volume real de detenção seria maior do que o dimensionado.

Todas as estruturas hidráulicas das BD são de concreto ou alvenaria revestida evidenciando como uma característica comum a utilização de degraus ou blocos como dissipadores de energia e a disposição de enrocamento ou pequenos cilindros de concreto na base das estruturas de entrada para espalhar o fluxo d'água.

A maioria das estruturas de saída caracterizavam-se por possuir grades, seja para a proteção contra acidentes, como para a retenção de sólidos de maiores dimensões. Igualmente, foi verificado que a mesma estrutura é usada tanto para a saída d'água ao nível do solo, como extravasor por meio de uma cavidade numa cota maior.

O processo construtivo da BD não representa muita complexidade, toda vez que as atividades fundamentais correspondem a movimentação de terra, colocação de grama e disposição das estruturas de isolamento, seguindo o estabelecido no projeto de engenharia.

Apesar da BD implicar custos quanto a sua implantação, manutenção e da área ocupada por ela, existe um grande benefício tanto de caráter ambiental como hidrológico pela sua implantação, os quais não são dados pela construção de uma tubulação para o transporte da água como no caso do sistema tradicional de drenagem.

Observa-se um avanço na abordagem da drenagem urbana na implementação de medidas mitigadoras de inundações respeito a décadas anteriores, com a implantação de medidas estruturais como as BD e os poços de infiltração, e medidas não estruturais com a prevenção e alerta de inundações e legislações para uma correta ocupação e ordenamento do território.

Como uma melhoria na utilização da BD dentro do município, poderiam ser implantadas em vez de uma única bacia de grandes dimensões, várias bacias menores com o objetivo de espalhar a vazão efluente em diferentes pontos. Isto também facilitaria uma maior integração na implantação do projeto urbanístico, assim como no ponto de vista hidrológico segundo Loperfido *et al.*(2014), já que esta conformação assemelha-se mais as condições de escoamento pré-urbanização.

Para um correto funcionamento da BD, uma aceitação da população e uma integração da BD como técnica compensatória, recomenda-se um aumento na frequência das atividades de manutenção, assim como uma projeção dela para usos múltiplos, valorizando o espaço ocupado pela BD, assim como estabelecendo um sentido de pertença e conservação dela por parte da comunidade que mora no entorno.

Propõe-se para futuros trabalhos um estudo focalizado de maior profundidade sobre o dimensionamento atual das BD no município, considerando os diferentes métodos de cálculo de vazões máximas, e as equações das variáveis implícitas, para estabelecer comparações com a metodologia de cálculo proposta pela Diretriz Municipal de Projetos de Drenagem; toda vez que nas visitas *in loco* somente foram registradas lâminas de água de pouca profundidade nos dias com precipitação.

Por outra parte também pode-se quantificar em próximas pesquisas, o impacto na redução da vazão pico pela implantação das BD, na escala de sub-bacia hidrográfica, respeito a condição de pré-urbanização, isto considerando que na década atual com BD implantadas, ainda se apresentam impactos ocasionados pelas enchentes na zona urbana de São Carlos (MAROTTI *et al.*, 2014).

7 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. D. F. **Aplicação de técnicas compensatórias na drenagem urbana, sob a ótica dos usuários do espaço: estudo de caso em São Carlos - SP.** Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de São Carlos, 2014.

ALTEAURBANISMO. **Infraestrutura Verde - Sistema de drenagem ecológico.** Disponível em <<http://alteaurbanismo.blogspot.com.br/2010/04/infraestrutura-verde-sistema-de.html>>. Acesso em: 09 Abr. 2018.

AMORIM, L. M. de. **Ocupação de fundos de vale em áreas urbanas. estudo de caso: Córrego do Mineirinho, São Carlos, SP.** Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de São Carlos, 2004.

ASCE, American Society of Civil Engineers. **Stormwater Detention Outlet Control Structures.** In: Task Comitee on the Design of Outlet Structures. New York. 1985

BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. O.; BARRAUD, S. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana.** 2 edição Porto Alegre. Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2015. 318 p.

BARBASSA, A. P. **Simulação do efeito da urbanização sobre a drenagem pluvial da cidade de São Carlos, SP.** Tese (Doutorado), EESC/USP – SP, 1991.

BELO HORIZONTE. Lei nº7.166, de 27 de Agosto de 1996. Estabelece normas e condições para parcelamento, ocupação e uso do solo urbano no município.

BIDONE, F.R.A.; TUCCI, C.E.M. Microdrenagem. In: TUCCI, C.E.M.; PORTO, R.L.; BARROS, M.T.L. (Org.). **Drenagem Urbana.** Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade/UFRGS, 1995. 428 p.

BRASIL. Lei nº6.766, de 19 de Dezembro de 1979. Dispõe sobre o Parcelamento do solo Urbano e dá outras Providências.

BRASIL. Lei nº 10.257, de 10 de Julho de 2001. Estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 05 de Janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico

CENTRAL DA GRAMA. **Grama Batatais.** 2016. Disponível em:<<https://centraldagrama.com/grama-batatais>>. Acesso em: 10 Out 2018.

CEPAGRI. Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura. Disponível em: <<https://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos-municipios-paulistas.html>>. Acesso em: 01 Ago. 2018.

CORRÊA, T. H. P.; GUTIERREZ, L. A. R.; BARBASSA A. P.; TEIXEIRA B. A. do N.; MORUZZI R. B. *Aedes aegypti* proliferation in stormwater retained in Best Management

Practices. In: 12ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN DRAINAGE, 2011, Porto Alegre.

COSTA, C. W.; DUPAS, F. A.; PONS, N. A. D. Regulamentos de uso do solo e impactos ambientais: Avaliação crítica do Plano Diretor participativo do município de São Carlos, SP. **Geociências**, São Paulo, v. 31, n. 2, p. 143–157, 2012.

COSTA JÚNIOR, L. L. DA; BARBASSA, A. P. Parâmetros de Projetos de Microrreservatório, de Pavimentos Permeáveis e de Previsão de Enchentes Urbanas. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 1, p. 46–54, 2006.

CRUZ, M.; TUCCI, C.; SILVEIRA, A. Controle do Escoamento com Detenção em Lotes Urbanos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 3, n. 4, p. 19–31, Out/Dez 1998.

DAEE, Departamento de Águas e Energia Elétrica. O programa ambiental de controle das inundações no estado de São Paulo. **Revista Água e Energia**, Fevereiro/2000.

DAEE, Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Guia Prático para Projetos de Pequenas Obras Hidráulicas**. 2006.

DAEE, Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Precipitações Intensas no Estado de São Paulo**. DAEE – CTH. Maio 2018.

DECINA, T. G. T.; BRANDÃO, J. L. B. Análise de desempenho de medidas estruturais e não estruturais de controle de inundações em uma bacia urbana. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 1, p. 207–217, 2016

EPA, U. S. Environmental Protection Agency. **National Management Measures to Control Nonpoint Source Pollution from Urban Areas**. November 2005.

FISCHER, D.; CHARLES, E. G.; BAEHR, A. L. Effects of Stormwater Infiltration on Quality of Groundwater Beneath Retention and Detention Basins. *Journal of Environmental Engineering*, v. 129, n. 5, p. 464–471, 2003.

FISRWG. Federal Interagency Stream Restoration Working Group. **Stream Corridor Restoration: Principles, Processes, and Practices**. 1998.

GUARULHOS. Lei nº6.046, de 05 de Novembro de 2004. Estabelece o código de edificações e desenvolvimento urbano.

GUTIERREZ, L. A. R. **Avaliação da qualidade da água de chuva e de um sistema filtro-vala-trincheira de infiltração no tratamento do escoamento superficial direto predial em escala real em São Carlos-SP**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de São Carlos, 2011.

HOGAN, D. M.; WALBRIDGE, M. R. Best Management Practices for Nutrient and Sediment Retention in Urban Stormwater Runoff. **Journal of Environmental Quality**, v. 36, n. 2, p. 386–395, 2007.

HOLMAN-DODDS, J. K.; BRADLEY, A. A.; POTTER, K. W. Evaluation of hydrologic benefits of infiltration based urban storm water management. **Journal of The American Water Resources Association**, v. 39, n. 1, p. 205–215, 2003.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/sao-carlos/panorama>>. Acesso em: 18 Abr. 2018.

IGC. Instituto Geográfico e Cartográfico. Disponível em: <<http://www.igc.sp.gov.br/centraldownloads/index.html>>. Acesso em: 22 de Abr. 2018.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em:<<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 30 Jan 2019.

IPT, Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Mapeamento de áreas de alto e muito alto risco a deslizamentos e inundações do município de São Carlos, sp**. Relatório Técnico no 144.443-205, Casa Militar do Gabinete do Governador. São Carlos, 20 de Julho de 2015.

LAWRENCE, A. I.; MARSALEK, J.; ELLIS, J. B.; URBONAS, B. Stormwater detention & BMPs. **Journal of Hydraulic Research**, v. 34, n. 6, p. 799–813, 1996.

LEE, J. S.; LI, M. The impact of detention basin design on residential property value : Case studies using GIS in the hedonic price modeling. **Landscape and Urban Planning**, Texas, v. 89, n. 1–2, p. 7–16, 2009.

LIMA, A. P. **Análise de impactos associados à precipitação na cidade de são carlos/sp**. Dissertação (mestrado), Universidade Estadual Paulista, 2012.

LIMA, M. C. P. B. de. Processos urbanos em São Carlos, SP: duas bacias hidrográficas, dois momentos. In: XVII ENANPUR, 2017, São Paulo. p. 1-20.

LIMA, M. C. P. B. de; SCHENK, L. B. M. Estudo de infraestrutura verde na bacia hidrográfica do Córrego Monjolinho, São Carlos, SP. **Revista LABVERDE**, São Paulo, v. 9, n. 1, p. 50–72, 2018.

LOPERFIDO, J. V.; NOE, G. B.; JARNAGIN, S. T.; HOGAN, D. M. Effects of distributed and centralized stormwater best management practices and land cover on urban stream hydrology at the catchment scale. **Journal of Hydrology**, v. 519, p. 2584–2595, 2014.

LORANDI, R.; TAKEMOTO, F.; SALVADOR, N. N. B.; TORRESAN, F. E. Carta de potencial à erosão laminar da parte superior da bacia do Córrego Monjolinho (São Carlos, SP). **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 53, p. 111–117, Dezembro 2001.

MARICATO, E. The Future of Global Peripheral Cities. **Latin American Perspectives**, v. 44, n. 2, p. 18–37, 2017.

MAROTTI, A. C. B.; SANTOS, K. E. L.; MACERA, L. G.; NEVES, L.L.; GONÇALVES, J. C.; PUGLIESI, E. Levantamento histórico e relatos de inundações do córrego do Gregório na região central do município de São Carlos - SP. **Revista EIXO**, Brasília - DF, v. 3, n. 1, p. 25–37, 2014.

MARTINS, J. R. S. **Gestão da drenagem urbana : só tecnologia será suficiente ?**. 2012.

Disponível em:<
http://www.daee.sp.gov.br/outorgatreinamento/Obras_Hidr%C3%A1ulic/gestaodrenagem.pdf
>. Acesso em: 20 Fev 2018.

MENDES, H. C.; MENDIONDO, E. M. Histórico da Expansão Urbana e Incidência de Inundações : O Caso da Bacia do Gregório , São Carlos - SP. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 17–27, 2007.

METZGER, M. E. Managing Mosquitos in Stormwater Treatment Devices. **ANR Publication 8125, University of California**, p. 1–11, 2004.

MOURA, P. M. **Contribuição para a avaliação global de sistemas de drenagem urbana**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Minas Gerais, 2004.

MOURA, N. C. B.; PELLEGRINO, P. R. M.; MARTINS, J. R. S. Best management practices as an alternative for flood and urban storm water control in a changing climate. **Journal of Flood Risk Management**, v. 1, p. 243 - 254, 2015.

NAKAZONE, L. M. **Implantação de reservatórios de retenção em conjuntos habitacionais: a experiência da CDHU**. Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo, 2005.

NASCIMENTO, N. O.; BAPTISTA, M. B.; VON SPERLING, E. Problemas de Inserção Ambiental de Bacias de Detenção em Meio Urbano. In: 20° CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 1999a. p. 2242–2250.

NASCIMENTO, N. O.; ELLIS, J. B.; BAPTISTA, M. B.; DEUTSCH, J. -C. Using detention basins: operational experience and lessons. **Urban Water**, v. 1, p. 113–124, 1999b.

NEVES, J. A.; SOUZA, M, J. C. de.; LUZ, F. G. F.; DUPAS, F. A. Recuperação de Áreas de Preservação Permanente com Sistema Agroflorestal. In: XII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS, 2015, Poços de Caldas.

NUCASE, Núcleo Sudeste de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental. **Águas pluviais: Técnicas Compensatórias para o Controle de Cheias Urbanas: guia do profissional em treinamento: nível 2 e 3**. Ministerio das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org.). Belo Horizonte. ReCESA, 2007. 52 p.

OSTI, G. The Anti-Flood Detention Basin Projects in Northern Italy. New Wine in Old Bottles?. **Water Alternatives**, Trieste, v. 10, n. 2, p. 265–282, 2017.

PDDUAS. **Plano Diretor de Drenagem Urbana Ambientalmente Sustentável do Município de São Carlos**. Diário Oficial São Carlos, 2014. Lei N° 17.005 de 20 de Dezembro de 2013.

PELLISSARI, M. H. D. **Análise do manejo das águas pluviais no município de São Carlos - estudo da bacia do Córrego Santa Maria do Leme**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de São Carlos, 2016.

PELLEGRINO, P. R. M.; Guedes, P.P. ; PIRILLO, F. C. ; FERNANDES, S. A. Paisagem da borda: uma estratégia para a condução das águas, da biodiversidade e das pessoas. In: Costa,

Lucia M. S. A. (Org.). **Rios e paisagem urbana em cidades brasileiras**. 1ed. Rio de Janeiro: Viana & Mosley Editora/Editora PROURB, 2006, v. 1, p. 57-76

PERES, R. B.; SILVA, R. S. da. Análise das relações entre o Plano de Bacia Hidrográfica Tietê-Jacaré e os Planos Diretores Municipais de Araraquara, Bauru e São Carlos, SP: avanços e desafios visando a integração de instrumentos de gestão. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 25, n. 2, p. 349–362, 2013.

PERONI, C. S. L. **Avaliação do desempenho e da inserção urbana de Bacias de Detenção de águas pluviais implantadas em Araraquara, SP**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de São Carlos, 2018.

PIEL, C.; PEREZ, I.; MAYTRAUD, T. Three Examples of Temporary Stormwater Catchments in Dense Urban Areas : a sustainable development approach. **Water Science and Technology**, Great Britain, v. 39, n. 2, p. 25–32, 1999.

PMSSanCa. **Plano Municipal de Saneamento - São Carlos/SP**. Prefeitura Municipal de São Carlos, 2012.

PORTO ALEGRE. Decreto n° 18.611, de 09 de Abril de 2014. Regulamenta o controle da drenagem urbana.

PORTO, R. M. **Hidráulica Básica/Rodrigo de Melo Porto**. 4. Ed. São Carlos. EESC - USP, 2006, 540 p.

PMSC, Prefeitura Municipal de São Carlos. **Conferência da cidade: Processo de elaboração do Plano Diretor do Município de São Carlos**. São Carlos, 2002.

REIS, R. P. A.; ILHA, M. S. de O. Comparação de desempenho hidrológico de sistemas de infiltração de água de chuva: poço de infiltração e jardim de chuva. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 2, p. 79–90, 2014.

RIGHETTO, A. M. **Hidrologia e recursos hídricos**. EESC/USP: São Carlos - SP, 1998, 840p

RIGHETTO, A. M. **Manejo De Águas Pluviais Urbanas**. Rio de Janeiro. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), 2009. 396 p.

SÃO CARLOS. Lei n°13.246, de 27 de Novembro de 2003. Dispõe sobre a construção de reservatórios de detenção ou retenção de águas.

SÃO CARLOS. Lei n°13.691, de 25 de Novembro de 2005. Estabelece o Plano Diretor do Município de São Carlos (Revogado) (PMSC).

SÃO CARLOS. Lei n°13.944, de 12 de Dezembro de 2006. Dispõe sobre a criação das áreas de proteção e recuperação dos mananciais.

SÃO CARLOS. Lei n°15.958, de 29 de Dezembro de 2011. Dispõe sobre o código de obras e Edificações.

SÃO CARLOS. Lei n°18.053, de 19 de Dezembro de 2016. Estabelece o Plano Diretor do Município de São Carlos (PMSC).

SÃO PAULO. Lei nº7.663, de 30 de Dezembro de 1991. Estabelece normas de orientação à política Estadual de Recursos Hídricos bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

SÃO PAULO. Lei nº12.526, de 02 de Janeiro de 2007. Estabelece normas para a contenção de enchentes e destinação de águas pluviais.

SARAIVA, Maria da Graça Amaral Neto. **O rio como paisagem: gestão de corredores fluviais no quadro do ordenamento de território.** Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian e Fundação para a Ciência e Tecnologia, 1999. 512 p.

SEADE. **Fundação sistema estadual de análise de dados.** Disponível em <<http://www.perfil.seade.gov.br/#>>. Acesso em: 18 Abr. 2018.

SCHUELLER, T. R. **Controlling Urban Runoff : A Practical Manual for Planning and Designing Urban BMPs.** Department of Environmental Programs. Washington: Metropolitan Washington Council of Governments, 1987. 229 p.

SHINDE, P. S. **Multi-use of stormwater detention ponds in parks and open spaces.** Dissertação (mestrado), Universidade de Georgia, 2002.

SILVA, S. R. M.; SIQUEIRA, B. V.; BRENDA, T. V.; SILVA, R. S. **Mutações nas dinâmicas socioespaciais das periferias urbanas: reflexos na diversidade urbana e na composição social.** Cadernos da Faculdade de Arquitectura da Universidade Técnica de Lisboa - Ur, v. 1, p. 18-25, 2015.

SMHDU, Secretaria Municipal de Habitação e Desenvolvimento Urbano. **O novo Plano Diretor do município de São Carlos.** São Carlos, 2016. Disponível em <<http://www.saocarlos.sp.gov.br/index.php/habitacao-morar/166049-plano-diretor-estrategico.html>>. Acesso em: 20 Ago. 2018.

SMHDU, Secretaria Municipal de Habitação e Desenvolvimento Urbano. **Projetos de drenagem pluvial de condomínios e loteamentos do Município de São Carlos.** Consultados em 2018.

SMOP, Secretaria Municipal de Obras Públicas. **Diretrizes para drenagem urbana.** Prefeitura Municipal de São Carlos. 2010.

SOBRINHA, L. A. **Monitoramento e Modelagem de um Poço de Infiltração de Águas Pluviais em Escala Real e com Filtro na Tampa.** Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de São Carlos, 2012.

SOUSA, C. S. de; MORAIS, L. R. de; ALMEIDA, F. Estudo sobre Técnicas Compensatórias de Drenagem Urbana: um estudo de caso na revitalização do Córrego Cascavel. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, Tupã, v. 3, n. 19, p. 111–134, 2015.

STRUTIN, M. Two Parks that Quiet the Storm. **Landscape Architecture**, v. 81, n. 10, p. 84 - 87, 1991.

TOMAZ, P. **Dissipador Tipo VI do USBR modelo FHWA**. 2015. Disponível em:<http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos_livros/livro_dissipadores/capitulo107.pdf> . Acesso em: 20 Out 2018.

TOMINAGA, E. N. S. **Urbanização e cheias: medidas de controle na fonte**. Dissertação (Mestrado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2013.

TREVISAN, D. P.; MOSCHINI, L. E.; MELLO, B. M. de. Avaliação da naturalidade da paisagem do município de São Carlos, São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 2, p. 359 - 370, 2017.

TUCCI, C. E. M. Água No Meio Urbano. In: REBOUÇAS, A. da C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas Doces no Brasil**. IPH/UFRGS, 1997. cap. 14, p. 475-508.

TUCCI, C. E. M. **Gestão das Inundações Urbanas**. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Porto Alegre, 2005. 175 p.

TUCCI, C. E. M. **Gestão da Drenagem Urbana**. Brasília, DF: CEPAL - IPEA, 2012. 50 p.

VICENTE, T. Z. de. **Análise de uso, apropriação e integração urbana das técnicas compensatórias em drenagem na cidade de Ribeirão Preto-SP**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de São Carlos, 2015.

WLA. **World land scape architect. Redfern Park – creating a different playground experience**. Disponível em: <http://worldland_scapearchitect.com/redfern-park-creating-playground-experience/#.WRyHrOvyuM8>. Acesso em: 17 mai. 2017

APÊNDICES

APÊNDICE I - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Você está sendo convidado para participar da pesquisa "Avaliação de bacias de retenção de águas pluviais implantadas no município de São Carlos, SP". Esta pesquisa tem por objetivo avaliar o desempenho e a inserção urbana das bacias de retenção de águas pluviais implantadas no meio urbano do município de São Carlos, SP.

As informações abaixo são necessárias para o seu esclarecimento:

1. Você foi selecionado para ser um participante voluntário e sua participação **não** é obrigatória.
2. A qualquer momento você pode tirar dúvidas, desistir de participar e retirar seu consentimento.
3. Sua recusa **não** trará nenhum prejuízo em sua relação com o pesquisador ou com a instituição.
4. Sua participação nesta pesquisa consistirá em participar de uma entrevista cujas questões referem-se ao dimensionamento, construção, manutenção e custos envolvidos com a implantação das bacias de retenção.
5. Em relação ao conteúdo do roteiro da entrevista, ele foi elaborado buscando clareza e objetividade das questões, de modo a evitar possíveis constrangimentos ou desconfortos aos participantes, como estresse, irritação, incômodo pessoal, entre outros. O pesquisador perguntara para o entrevistado sobre a aceitação de registro de áudio da entrevista para facilitar na coleta de informações, esclarecendo que este material será de uso pessoal do pesquisador. Caso algum desconforto ocorra, você pode solicitar auxílio ao pesquisador, e pode se recusar a responder ou mesmo interromper a sua participação a qualquer momento, sem qualquer prejuízo à sua relação com a instituição de ensino ou com o pesquisador ou seu ambiente de trabalho (Prefeitura, Construtora, Consultora, Condomínios etc).
6. A realização da entrevista será realizada pelo pesquisador de modo a minimizar possíveis riscos ao participante (exemplos: dano físico, material, psicológico, etc.), buscando fazer a abordagem em local visível e seguro, de maneira objetiva, com autorização e agendamento prévios. Não há obrigatoriedade em responder caso a situação seja expositiva e gere lembranças negativas, dentre outras medidas.
7. Em caso de eventuais despesas tidas pelos participantes em decorrência da pesquisa, haverá o direito ao ressarcimento. Bem como, haverá garantia de indenização diante de eventuais danos causados ao participante, decorrentes da pesquisa.
8. Os benefícios relacionados à sua participação são: identificação de aspectos positivos e negativos em relação ao tema, ampliação de informação sobre as bacias implantadas,

contribuição no aprimoramento da pesquisa científica, auxílio para futuros estudos e obras correlatas, dentre outros.

9. Você poderá ter acesso aos resultados da pesquisa por meio dos artigos científicos publicados em congressos e/ou solicitá-los através do contato com o pesquisador pelo e-mail **ing.carlosamartinez@gmail.com**.

10. As informações sobre sua identificação obtidas por esta pesquisa são confidenciais e está assegurado o sigilo sobre sua participação.

11. Você receberá uma cópia deste termo onde consta o telefone e o endereço do pesquisador principal, podendo tirar suas dúvidas sobre o projeto e sua participação agora ou a qualquer momento posterior.

O presente Termo de Consentimento Livre e Esclarecido cumpre as exigências contidas no item IV.3 da Resolução CNS Nº 466 de 12 de dezembro de 2012.

Eng. Civil Carlos Andrés Martínez Rodríguez – pesquisador
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana – PPGEU
Universidade Federal de São Carlos – UFSCar
Contato – Instituição: Rodovia Washington Luiz, km 235A.
Caixa Postal 676 13565-905. São Carlos-SP. Tel.: 16-33518626 / 8028

Declaro que entendi as informações aqui expostas sobre minha participação na pesquisa, e concordo em participar.

São Carlos, 08/11/2018.

Assinatura do participante da pesquisa ou do seu Responsável

APÊNDICE II – Roteiro de Entrevistas

O seguinte roteiro de entrevista a ser apresentado, faz parte de uma pesquisa de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana – PPGEU, do Departamento de Engenharia Civil da UFSCar.

Este roteiro contém uma série de questões como guia na entrevista prevista com síndicos, representantes de associação de moradores, empreendedoras, construtoras, consultoras ou técnicos da prefeitura, com a finalidade de obter respostas e informações relacionadas com o dimensionamento, a construção, a implantação, a operação e os custos relacionados com as bacias de detenção implantadas no Município de São Carlos/SP.

Dependendo da ocupação ou cargo do entrevistado o pesquisador vai realizar as perguntas pertinentes, porém, podem ser feitas perguntas não incluídas neste roteiro conforme o avanço da entrevista.

1. Qual é o seu cargo?
2. Qual sua relação com a bacia de detenção?
3. Porque são implantadas as bacias de detenção no Município?
4. Qual é a metodologia usada para o dimensionamento da bacia de detenção?
5. Quais informações são apresentadas no projeto final da bacia de detenção?
6. Como é aprovado o projeto de drenagem da bacia de detenção?
7. Quais são os fatores mais frequentes que impedem a aprovação do projeto de drenagem da bacia de detenção?
8. De quem é a responsabilidade da construção da bacia de detenção?
9. Como é o processo construtivo da bacia de detenção?
10. Quais os custos envolvidos com a implantação da bacia de detenção?
11. Quem é o responsável pela manutenção da bacia de detenção?
12. Com que frequência e quais são os custos da manutenção da bacia de detenção?
13. Quais as recomendações a seguir quanto a construção e manutenção da bacia de detenção?
14. Os moradores são informados sobre a existência da bacia de detenção?
15. É feita alguma fiscalização sobre as bacias de detenção e suas condições de conservação?