



Fabiana Lanzillotta da Fonseca

**Manejo de águas pluviais com valorização
de curso d'água: simulação computacional
da Bacia do Rio Tintas**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Urbana e Ambiental

Orientador: Prof. Celso Romanel

Co-orientador: Prof. Ernani de Souza Costa

Rio de Janeiro

Fevereiro de 2018



Fabiana Lanzillotta da Fonseca

**Manejo de águas pluviais com valorização
de curso d'água: simulação computacional
da Bacia do Rio Tintas**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Celso Romanel

Orientador

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental - PUC-Rio

Prof. Ernani de Souza Costa

Co-orientador

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental - PUC-Rio

Dr.^a Thaís Cristina Campos de Abreu

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental - PUC-Rio

Prof. Elson Antonio do Nascimento

Departamento de Engenharia Civil - UFF

Prof Márcio de Silveira Carvalho

Coordenador Setorial do

Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 23 de fevereiro de 2018

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem a autorização da universidade, do autor e do orientador.

Fabiana Lanzillotta da Fonseca

Graduou-se em Engenharia Civil no Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ) em 2014. Trabalhou na área de projetos de infraestrutura urbana. Principais áreas de interesse: drenagem urbana, saneamento, engenharia ambiental.

Ficha Catalográfica

Fonseca, Fabiana Lanzillotta da

Manejo de águas pluviais com valorização de curso d'água : simulação computacional da Bacia do Rio Tintas / Fabiana Lanzillotta da Fonseca ; orientador: Celso Romanel ; co-orientador: Ernani de Souza Costa. – 2018.

156 f. : il. color. ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, 2018.

Inclui bibliografia

1. Engenharia Civil e Ambiental – Teses. 2. Drenagem urbana. 3. Valorização de cursos d'água. 4. Medidas compensatórias. 5. Resiliência. I. Romanel, Celso. II. Costa, Ernani de Souza. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. IV. Título.

CDD: 624

Agradecimentos

Primeiramente, a Deus, por seu amor infindável.

Ao meu pai, Paulo Luiz da Fonseca, por ser um exemplo de homem e profissional. Por me ensinar constantemente e contribuir grandemente com seus conhecimentos técnicos para esta dissertação, além de ser o maior incentivador dos meus estudos acadêmicos e das minhas escolhas na vida.

À minha mãe, Carla Lanzillotta da Fonseca, por seu amor incondicional, carinho e compreensão em todos os momentos.

Ao meu irmão, Pedro Luiz Lanzillotta da Fonseca e à toda a minha família por seu frequente apoio.

Aos meus amigos, incentivadores e companheiros durante esta jornada.

As minhas amigas da “célula” por todo o apoio, estímulo e orações.

Ao orientador Celso Romanel e ao co-orientador Ernani Costa por suas orientações, apoio e incentivo.

À PUC-Rio e aos meus colegas de mestrado, em especial minha amiga Patrícia Antunes por seu auxílio frequente durante o desenvolvimento desta dissertação.

À Fundação Rio Águas por disponibilizar os dados necessários para a realização do estudo de caso, assim como aos profissionais que me auxiliaram de forma atenciosa e técnica.

A todos aqueles que foram responsáveis pelo meu aprendizado.

Resumo

Fonseca, Fabiana Lanzillotta da; Romanel, Celso (Orientador); Costa, Ernani de Souza (Co-orientador). **Manejo de águas pluviais com valorização de curso d'água: simulação computacional da Bacia do Rio Tintas**. Rio de Janeiro, 2018. 156p. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O crescente processo de urbanização no Brasil se iniciou de forma rápida e desordenada causando inúmeros impactos sociais e no ambiente natural. As bacias hidrográficas vêm sendo modificadas com a expansão urbana, causando impactos negativos nas cidades, como a ocorrência de catástrofes associadas a eventos pluviais de alta intensidade. De forma a mitigar os danos de ordem social e ambiental advindos de enchentes, medidas compensatórias em manejo de águas pluviais tornam-se imperativas. O presente trabalho tem por objetivo apresentar técnicas de controle para a redução do escoamento superficial, integrando ações sustentáveis de valorização de cursos d'água na paisagem, e promovendo o aumento da resiliência em centros urbanos, acompanhado de um gerenciamento e monitoramento satisfatório. Em um estudo de caso na macrodrenagem, na bacia hidrográfica do rio das Tintas, localizado na zona oeste da cidade do Rio de Janeiro, foi avaliado o comportamento hidrológico-hidráulico da calha através do modelo *Storm Water Management Model* (SWMM), prevendo-se a implantação de reservatório para amortecimento de cheias com fins múltiplos. O reservatório projetado, *off-line*, promoveu uma redução do pico do hidrograma de cheia da ordem de 11,6%, de 74,8m³/s para 66,1m³/s na seção de deságue, no rio Sarapuí. Associado à implantação de medidas de baixo impacto (LID) e ações de valorização de cursos d'água comprovou-se um aumento da resiliência e a conseqüente redução dos impactos advindos de enchentes urbanas na área de intervenção proposta.

Palavras-chave

Drenagem urbana; valorização de cursos d'água; medidas compensatórias; resiliência.

Extended Abstract

Fonseca, Fabiana Lanzillotta da; Romanel, Celso (Advisor); Costa, Ernani de Souza (Co-advisor). **Stormwater Management with watercourse valorization: computational simulation of the Tintas River Basin.** Rio de Janeiro, 2018. 156p. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The increasing process of urbanization in Brazil began in a fast and disorderly way causing numerous social and natural impacts. Urban sprawl has modified the watersheds, causing negative impacts on the cities, such as the occurrence of catastrophes associated with storm events. In order to mitigate the social, environmental and financial damages caused by floods, associated with the promotion of watercourses in the urban landscape and increasing resilience in cities, compensatory measures in stormwater management become imperative.

The goal of this work refers to present alternatives and control techniques applied to drainage systems, contemplating sustainable actions to value the watercourses, integrating them to the landscape and promoting the increase of resilience in urban centers, followed by an effective management and satisfactory monitoring. Among the specific objectives of this work we have:

- Identify compensation measures for the control of urban floods based on a bibliographic review of the techniques of reservation and infiltration to demonstrate that the proper and planned use of these measures is aimed at enhancing watercourses and increasing the resilience of the cities;
- Address sustainable actions for the valorization of watercourses in urban areas;
- Apply stormwater management techniques, based on a case study in an urban area of the city of Rio de Janeiro, with an evaluation of the hydrological-hydraulic behavior in a maindrainage system, using a mathematical simulation model, associated with watercourses valorization;

The methodology adopted is an exploratory and bibliographical search, contemplating the following points:

- Hydrological Cycle and Urban Drainage;
- Urbanization and its impacts;
- Flood control measures;
- Resilience;
- Enhancement of water courses;
- Stormwater management guidelines and plans to be adopted;
- Computational simulation of urban drainage using the Storm Water Management Model (SWMM);
- For the case study, an on-site visit was made, and data was collected for the development of hydrological-hydraulic behavior in a maindrainage system, using the computational model SWMM to the simulation.

From this, starting with the concepts, is imperative to know that water is fundamental to the dynamics of nature and essential for life. With the urbanization process, the streets became waterproofed and the main rivers channeled. Thus, watersheds were changed and generated numerous negative impacts that resulted in the introduction of measures to mitigate them. Thereby, many parameters were established for hydraulic and hydrological studies to urban watersheds. In the city of Rio de Janeiro, Rio Águas Foundation defines some parameters for designing drainage systems through a technical instruction manual.

However, with the accelerated evolution of the urban population, the necessary planning for the adequate development of the cities was not carried out, so that the implementation of satisfactory infrastructures did not follow the urban growth. Population concentration in urban centers leads to the existence of a deficient infrastructure system and a social inequality.

Moreover, occur the reduction of soil infiltration due to unrestrained waterproofing, increasing the surface runoff. With the reduction of infiltration, the groundwater level tends to reduce due to its lack of feed.

Among other impacts, we have: the replacement of natural cover reduces the evapotranspiration phenomenon; the presence of water pollution, generated mainly by the depletion of sanitary sewage in canals and rivers; the inadequate disposal of solid waste; and the diffuse pollution. In addition, the implantation of drainage

networks causes the anticipation of the peak flow in time. In this way, floods occur, considering that stormwater reaches the outlet quickly and with a flow much greater than that would be generated if the natural environment had not been transformed.

Floods can occur due to several processes: floods of riparian areas, which are natural due to the extrapolations of the waters reaching the riverbed and floods due to urbanization that promote the acceleration of stormwater flow and the increase of peak flows. To prevent these floods from occurring, the implementation of several sustainable concepts is integrated with the application of legislation, management and control measures.

The term sustainability was presented in 1987 by the UN World Commission on Environment and Development (CMMAD), based on the Brundtland Report, and defined as the ability to meet current needs with a commitment not to harm future generations (Oliveira *et al.*, 2012). For the occurrence of the process of sustainable development must be encompassed three important pillars: economic growth, social equality and environmental sustainability (ONU, 2012).

In the urban context, the notion of sustainability has been fundamental for the management of cities, being a parameter for the elaboration of projects to increase urban resilience (Ascerlad, 1999). The term resilience refers to the ability of a system to absorb impacts and maintain its functions, which is the ability to survive in an uncertain environment (Herzog, 2013). Urban resilience is related to cities's propensity to adapt and thrive regardless of the shocks and stresses to which they are subjected (Rio Resiliente, 2016). For this, multifunctional projects must be carried out with long-term adaptive plans.

Resilience is a very comprehensive concept and involves economic, social, climate, behavioral and management issues (Prefeitura do Rio de Janeiro, 2016). The city of Rio de Janeiro, at the end of 2013, was selected to be part of the first group of the 100 Resilient Cities of the Rockefeller Foundation and in 2014 the city became the leader of the C40 group, starting to manage the Network of Risk Assessment Climate.

The Rio Operations Center (COR), created in response to the intense rainfalls that occurred in the city in April 2010, leaving fatal victims, is one of the city's resiliency tools, always in search of develop strategies to minimize any risk events that may occur (Prefeitura do Rio de Janeiro, 2015). The municipality of Rio de

Janeiro, based on the Rio Resilente project, uses risk concepts as the basis for the strategic planning of the city.

In recent years, several proposals have been developed with approaches related to sustainable urban drainage, pointing out the evolution of concepts regarding the interconnection of nature with the urban environment. Among these approaches, we have the BPM's (Best Management Practices), the term LID's (Low Impact Development), the SUD's (Sustainable urban drainage systems), the WSUD (Water sensitive urban design) and the green infrastructures.

According to Canholi (2005), control measures can be divided into structural and non-structural. Structural measures contemplate storage's and infiltration's alternatives while non-structural measures address aspects related to the proper management of the river basin, such as land use regulation programs, monitoring and alert systems and education environmental programs.

Storage works are intensive structural measures for quantity control and quality of drained rainwater. In this way, there are several possibilities of storage, like the retention and detention basins. Retention basins are surface reservoirs, that can be used for recreation, landscaping, water supply, basins for quantitative control after precipitation, besides performing functions that satisfy the water quality.

Detention basins are areas intended for the retention of surface water during the rainy season temporarily. Its main purpose is to control the quantity of urban stormwater and to reduce diffuse pollution. After the implantation of a detention structure, the hydrograph of the basin under analysis tends to reduce its peak flow, in the same way as a delay of the peak time, resembling the hydrograph before the modifications caused by urbanization.

In addition, the projects of detention reservoirs are linked to an urbanistic proposal, in order to allow multiple uses such as leisure and recreation activities, valuing the urban space. Another reserve strategy is the implementation of storage reservoirs in allotments. Regarding the infiltration measures, essential for the reduction of surface runoff, we have: infiltration trenches, bio-retention cell, rain gardens, permeable pavements, green roofs, infiltration wells, among others.

The valorization of watercourses is essential to planning projects which aims the flood control associated to a pleasant environment for society. The integration of urban and linear parks, establishing a green corridor with native vegetation is an example of interaction between nature and the urban environment. The structure of

stormwater masterplans are essential management tools for diagnosing problems in urban drainage. In addition, these studies are responsible for developing strategies that control quantitative and qualitative impacts in a watershed.

A case study was carried out in the Tintas river basin, located in the west zone of the city of Rio de Janeiro, where the hydrological-hydraulic behavior of the watercourse was evaluated through the SWMM model. Data were selected from the region and defined parameters for the application in the model. To perform the analysis of the results, two study scenarios were established: scenario 1 represents the current situation of the basin and scenario 2 reflects the future context of the basin with the insertion of solutions to mitigate floods.

In the first scenario, the results of the SWMM model simulation presented some nodes and conduits with floods and overloads. In the second scenario, it was proposed the implementation of a detention reservoir for flood dampening and proposals of multiple use. The detention reservoir designed in the Tintas river, off-line, promoted a reduction of the peak of the hydrograph of 11,6%, from 74,8m³/s to 66,1m³/s in its outfall, in Saruapuí river. Larger sections were also introduced in conduits that were still hydraulically insufficient, in addition to the inclusion of steps for speed reduction, when necessary.

Moreover, were included bio-retention cells (LID devices) along the Tintas river, in the main street. These measures, in addition to bringing green areas to the site, caused a reduction of the surface runoff in the places where they were implanted.

Actions were also implemented to enhance watercourses such as the introduction of cycle paths in both directions on the main road (Barão de Capanema Street), lighting, recreation spaces and green areas. In this way, the integration of all these measures increase the resilience in storm events, because there is a reduction in the impacts of urban flooding in the basin and in downstream sections.

It can be concluded that actions and techniques related to the valorization of watercourses in the landscape can perfectly integrate with the use of compensatory measures for the control and management of urban floods, contributing, in an associated way, to the construction of spaces and environments to surrounding communities. These actions also induce an increase in the resilience of cities to the storm events.

It is recommended to carry out future works, projects and actions related to this topic. Moreover, it is expected that the proposals adopted in the case study will be an important instrument for the execution of projects in the area. It is hoped that the present work will contribute to public agencies, urban planners, engineers, and other researchers to develop projects aimed at technical solutions integrated with ecological elements to achieve sustainable development.

Keywords

Urban drainage; valorization of watercourses; compensatory measures; resilience.

Sumário

1. Introdução	21
1.1. Motivação	23
1.2. Objetivo	23
1.2.1. Objetivo Geral	23
1.2.3. Objetivos Específicos	23
1.3. Metodologia	24
2. Drenagem urbana e os impactos da urbanização	26
2.1. O Ciclo hidrológico	26
2.2. Drenagem urbana	29
2.3. Impactos da urbanização	44
2.3.1. Poluição Hídrica	47
3. Sistema de Manejo Sustentável das Águas Pluviais	51
3.1. Sustentabilidade e Resiliência	51
3.2. Medidas de Controle de Inundações	55
3.2.1. Medidas Estruturais	59
3.2.1.1. Medidas de Reservação	59
3.2.1.2. Medidas de Infiltração	73
3.2.2. Medidas Não Estruturais	75
3.3. Valorização dos cursos d'água	78
3.4. Planos Diretores e a Gestão da Drenagem Urbana	84
4. Simulação computacional de cheias urbanas	87
4.1. SWMM	89
4.1.1. Modelo Hidrológico	93
4.1.2. Modelo Hidráulico	97

5. Estudo de caso	102
5.1. Poluição Hídrica na região	106
5.2. Aplicação do modelo SWMM	110
5.2.1. Coleta de dados e definição de parâmetros	110
5.2.2. Modelagem da bacia no SWMM	120
5.2.3. Apresentação e análise dos resultados	124
5.2. Valorização do Rio das Tintas	137
6. Conclusão e Recomendações	142
7. Referências bibliográficas	146
Apêndice A	154

Lista de Quadros

Quadro 1 - Tempo de recorrência conforme especificação da Rio Águas	31
Quadro 2 - Coeficiente C_k para aplicação da equação de Kerby	33
Quadro 3 - Tempo de Concentração conforme Fundação Rio Águas	33
Quadro 4 - Coeficiente de escoamento superficial (C)	34
Quadro 5 - Coeficientes da equação IDF no município do Rio de Janeiro	37
Quadro 6 - Métodos de dimensionamento de vazão segundo Rio Águas	38
Quadro 7 - Grupos Hidrológicos dos solos	41
Quadro 8 - CN para solos conforme condições hidrológicas	42
Quadro 9 - Infiltração Mínima	43
Quadro 10 - Principais fontes poluidoras	48
Quadro 11 - Evolução de ações para o desenvolvimento sustentável	52
Quadro 12 - Tipo de dispositivos de infiltração	74
Quadro 13 - Objetos de Modelagem no SWMM	90
Quadro 14 - Características da Onda Dinâmica e Cinemática	99
Quadro 15 - Características das sub-bacias	113
Quadro 16 - Tipo de solo e grupo hidrológico	114
Quadro 17 - Características dos nós e trechos	116
Quadro 18 - Índices do pluviômetro de Bangu para a equação IDF	118
Quadro 19 - Tipo de solo e grupo hidrológico	121
Quadro 20 - Mudanças de seções	129
Quadro 21 - Mudanças de seções	133
Quadro 22 - Inclusão de degraus para redução de velocidade	133
Quadro 23 - Características atribuídas as camadas do dispositivo LID	135
Quadro 24 - Redução gerada com a inserção do controle LID	136
Quadro 25 - Balanço Hídrico Final	137

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Diferenças entre Canalização e Reservação	72
Tabela 2 - Modelos Hidrológico-Hidráulico para drenagem urbana	88

Lista de Figuras

Figura 1 - Modelo de evolução das intervenções humanas nos cursos d'água	22
Figura 2 - Relação entre as variáveis de pesquisa	25
Figura 3 - Representação do ciclo hidrológico	27
Figura 4 - Exemplificação de bacias hidrográficas	28
Figura 5 - Mapa de Isozonas de Torrico	36
Figura 6 - Postos pluviométricos na cidade do Rio de Janeiro	37
Figura 7 - Hidrograma unitário sintético SCS	40
Figura 8 - Ciclo hidrológico x Fases do ciclo hidrológico em áreas urbanas	45
Figura 9 - Hidrograma vazão x tempo antes e depois da urbanização	46
Figura 10 - Relação do uso e ocupação do solo e fontes de poluição hídrica	49
Figura 11 - Modelo Conceitual referente aos impactos da urbanização	50
Figura 12 - Resiliência inserida no contexto social e ambiental	53
Figura 13 - Matriz de Gestão da Resiliência	54
Figura 14 - Fluxograma dos tipos de medidas compensatórias	55
Figura 15 - Evolução da gestão sustentável de drenagem urbana	56
Figura 16 - Relação entre as práticas de gestão das águas pluviais	58
Figura 17 - Reservatórios <i>on-line</i> e <i>off-line</i>	60
Figura 18 - Bacia de retenção na cidade de Lagord, França	61
Figura 19 - Reservação das águas em Back Bay Fens, Boston, EUA	62
Figura 20 - Hidrogramas hipotéticos de uma bacia	63
Figura 21 - Esquema do funcionamento de um reservatório	65
Figura 22 - Procedimentos para cálculo de um reservatório de detenção	68
Figura 23 - Fins múltiplos de um reservatório de detenção	69
Figura 24 - Esquema de um sistema de detenção de águas pluviais em lotes	71
Figura 25 - Sistema para a redução dos riscos na ocorrência de chuvas intensas	78
Figura 26 - Parque urbano das Nações indígenas em Campo Grande – MS	80
Figura 27 - Parque linear Nossa Senhora da Piedade, Belo Horizonte – MG	81
Figura 28 - Parque linear do Canivete, São Paulo – SP	82
Figura 29 - Projetos de revitalização urbana nas margens de cursos d'água	83

Figura 30 - Estrutura do plano diretor de drenagem urbana	86
Figura 31 - Diagrama do processo Hidrológico do SWMM	91
Figura 32 - Relação entre os módulos do SWMM	92
Figura 33 - Representação de uma sub-bacia conforme o SWMM	93
Figura 34 - Esquema conceitual do escoamento no SWMM	94
Figura 35 - Representação dos tipos de áreas em uma sub-bacia	95
Figura 36 - Parâmetros das sub-bacias após a introdução do LID	97
Figura 37 - Representação da ligação entre nós e trechos no SWMM	97
Figura 38 - Localização da Bacia do Rio das Tintas	102
Figura 39 - Histórico de Expansão Urbana de Bangu	103
Figura 40 - Sistema viário da área de estudo	104
Figura 41 - Principais ruas da bacia	105
Figura 42 - Enchente na Rua Tibagi	106
Figura 43 - Sistema de esgotamento sanitário na bacia do rio das Tintas	108
Figura 44 - Poluição hídrica por despejo de resíduos sólidos e esgoto	109
Figura 45 - Divisão das Sub-bacias	111
Figura 46 - Imagens dos canais da área de estudo	117
Figura 47 - Esquema analítico para a aplicação do modelo SWMM	120
Figura 48 - Definição do pluviômetro no SWMM	121
Figura 49 - Inserção dos dados de climatologia no modelo	122
Figura 50 - Opções de simulação do modelo	123
Figura 51 - Diagnóstico do Cenário 1	125
Figura 52 - Trechos e nós em sobrecarga no Cenário 1	127
Figura 53 - Área de Reserva escolhida para a intervenção	128
Figura 54 - Croqui do corte transversal da área de reserva	129
Figura 55 - Inserção da Unidade de armazenamento no modelo	131
Figura 56 - Representação do controle LID	134
Figura 57 - Área de Lazer e Ciclovias na região	138
Figura 58 - Intervenções urbanísticas na Rua Barão de Capanema	140
Figura 59 - Corte longitudinal esquemático (AA) da Rua Barão de Capanema	141

Lista de Gráficos

Gráfico 1 - Evolução da população urbana e rural no Brasil	29
Gráfico 2 - Hietograma para a precipitação de projeto	119
Gráfico 3 - Hidrograma nos trechos antes e após reservação	132

Lista de Abreviaturas e Siglas

ArcGIS - *Geographic Information System* (Sistema de Informação Geográfica)
BDMEP - Banco de Dados Meteorológico para Ensino e Pesquisa
BMP - *Best Management Practices* (Boas Práticas de Gestão)
BRT - *Bus Rapid Transit* (Transporte Rápido de Ônibus)
CN - *Curve Number* (Curva Número)
CNMMAD - Comissão Mundial de Meio Ambiente e Desenvolvimento
CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente
COR - Centro de Operações do Rio de Janeiro
DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte
Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPA - *Environmental Protection Agency* (Agência de Proteção Ambiental)
ETE - Estação de Tratamento de Esgoto
FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente
FMP - Faixa Marginal de Proteção
Fundação Geo-Rio - Fundação Instituto de Geotécnica
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDF - Intensidade-Duração-Frequência
INMET - Instituto Nacional de Meteorologia
IPP - Instituto Pereira Passos
LENHS - Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica de Saneamento
LID - *Low Impact Development* (Desenvolvimento de baixo impacto ambiental)
NBR - Norma Brasileira
NRCS - *Natural Resources Conservation Service* (Serviço de Conservação dos Recursos Naturais)
ONU - Organização das Nações Unidas
PDMAP - Plano Diretor de Manejo de Águas Pluviais
PH - Potencial Hidrogeniônico
SCS - *Soil Conservation Service* (Serviço de Conservação do Solo)

SUD - *Sustainable Urban Drainage Systems* (Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável)

SWMM - *Storm Water Management Model*

Tc - Tempo de Concentração

TR - Tempo de Recorrência

UTM - *Universal Transversa de Mercator*

WDSUD - *Water Sensitive Urban Design* (Design Urbano Sensível à Água)

HANDS - *Humanitarian Assistance and Needs for Disaster* (Assistência Humanitária e necessidades por desastres)

1.

Introdução

O processo de urbanização no Brasil se iniciou de forma rápida e desordenada causando inúmeros impactos sociais e no ambiente natural. As bacias hidrográficas vêm sendo modificadas com a expansão urbana e seu principal impacto negativo nas cidades são as grandes enchentes.

Os aspectos históricos de transformação da área urbana refletem como a sociedade deu início as inúmeras modificações nos corpos hídricos. As primeiras aglomerações urbanas se desenvolveram, preferencialmente, a beira dos cursos d'água, pois além da água ser um elemento essencial para o consumo humano e para o desenvolvimento de atividades agrícolas, os cursos d'água eram um meio de transporte, além de um local para disposição de dejetos (Recesa, 2007).

Porém esta proximidade da população com os cursos d'água acarretou o início de diversos problemas, como as inundações e as doenças de veiculação hídrica. A partir disto, foi inserido os princípios do higienismo, admitindo que deveria ser eliminado o mais rápido possível os dejetos domésticos e as águas paradas ou empoçadas das cidades. Desta forma, o abastecimento de água passou a ser realizado através de fontes seguras e os rios que antes eram utilizados como fonte para o consumo, passaram a ser canalizados pois estavam poluídos e precisavam escoar com rapidez para levar a causa das doenças o mais longe possível (Alves, 2005).

Além disto, foi iniciada a implantação de infraestruturas subterrâneas de água e esgoto associadas ao sistema viário, já que a era automobilística foi introduzida nas cidades trazendo com ela a impermeabilização do solo e a ocupação de grandes áreas, principalmente as de fundo de vale. A escolha deste espaço se deve a sua viabilidade econômica, evitando desapropriações, porém implicando na retificação de diversos cursos d'água e na consequente alteração drástica nas bacias hidrográficas naturais.

Com todas estas alterações no meio e a contínua expansão da urbanização, verificou-se que a solução adotada até então não era suficiente, pois as doenças continuaram a se manifestar e as inundações persistiam em ocorrer. Desta forma, verificou-se que a canalização dos rios era insustentável, já que a aceleração do tempo de escoamento e a falta de infiltração no solo acarretam em grandes inundações nas épocas de chuvas intensas.

A partir disso, foram introduzidos os conceitos da fase corretiva ou conservacionista das águas urbanas, na qual é verificada a necessidade do tratamento de esgoto doméstico e industrial, a introdução do sistema separador absoluto e propostas para o amortecimento do escoamento através de medidas compensatórias (Tucci, 2008).

Atualmente, tem-se buscado a política do desenvolvimento sustentável, através da infraestrutura verde, trazendo a valorização dos cursos d'água e procurando implementar práticas que possuem como intuito principal aumentar a resiliência do meio urbano. A Figura 1 é uma modelagem que demonstra as intervenções humanas na drenagem urbana, de forma a observar a evolução dos conceitos a partir dos erros e dos estudos aplicados. Com isto, estes conceitos são considerados paradigmas para o desenvolvimento de novos estudos e práticas em novos projetos.

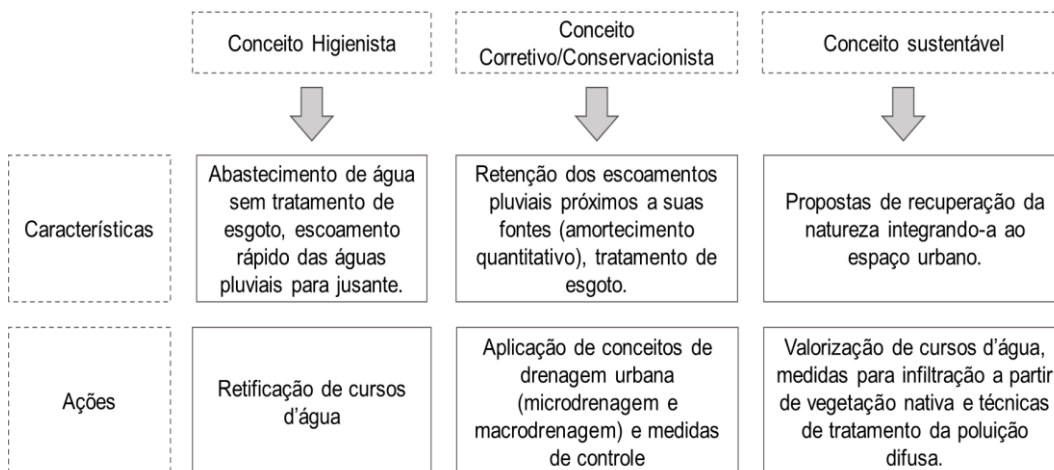


Figura 1 - Modelo de evolução das intervenções humanas nos cursos d'água

Fonte: Adaptado de Canholi (2005) e Tucci (2008).

1.1.

Motivação

As enchentes trazem inúmeros malefícios, dentre eles aponta-se os danos em infraestruturas e habitações, degradação do ambiente natural, desvalorização do ambiente construído, propagação de doenças de veiculação hídrica, perdas materiais e até mortes. Desta forma, é fundamental que ocorra o controle de enchentes em áreas urbanas de forma a reduzir alagamentos, controlar perdas e aumentar a resiliência das cidades.

Esse contexto, motiva a elaboração de uma dissertação que possui como objetivo principal demonstrar soluções que fomentam o controle de inundações através da adoção de medidas compensatórias no manejo de águas pluviais associada às ações sustentáveis e à valorização de cursos d'água, integrando-os à paisagem urbana.

1.2.

Objetivo

1.2.1.

Objetivo Geral

O presente trabalho tem por objetivo apresentar alternativas e técnicas de controle aplicadas aos sistemas de micro e macrodrenagem, contemplando ações sustentáveis de valorização de cursos d'água, integrando-os à paisagem e promovendo o aumento da resiliência em centros urbanos, acompanhado de um gerenciamento e monitoramento satisfatórios.

1.2.3.

Objetivos Específicos

- Identificar medidas de compensação para o controle das cheias urbanas a partir de uma revisão bibliográfica das técnicas de reservação e infiltração, de forma a demonstrar que o uso adequado e planejado destas

medidas visa a valorização dos cursos d'água e o aumento da resiliência das cidades;

- Abordar ações sustentáveis de valorização de cursos d'água em áreas urbanas;
- Aplicar técnicas de manejo de águas pluviais, a partir de estudo de caso em área urbana da cidade do Rio de Janeiro, com avaliação do comportamento hidrológico-hidráulico em sistema de macrodrenagem, através da utilização de modelo matemático de simulação, associado à valorização da calha de curso d'água;

1.3.

Metodologia

Foi realizada uma pesquisa exploratória e bibliográfica, contemplando os seguintes itens:

- Ciclo Hidrológico e Drenagem Urbana;
- Urbanização e seus impactos;
- Medidas de controle de inundação;
- Resiliência;
- Valorização dos cursos d'água;
- Diretrizes e planos de manejo de águas pluviais a serem adotados;
- Simulação computacional de cheias urbanas através do modelo *Storm Water Management Model* (SWMM).

As pesquisas foram efetuadas conforme demonstrado na Figura 2, relacionando as principais variáveis para o tema. Para o estudo de caso, foi realizada uma visita de campo na bacia em questão, além de levantados dados para o desenvolvimento dos cálculos e análises da área de estudo. Dentre os dados obtidos, destacam-se:

- Definição da área de estudo;
- Levantamento de dados físicos, altimétricos e hidrológicos da área;
- Uso e Ocupação Urbana do solo;
- Dados do curso d'água;

- Redes de microdrenagem existentes nas áreas de estudo.

Dentre as limitações para a elaboração do estudo de caso estão as análises de custos, a avaliação de possíveis desapropriações referentes às ocupações irregulares, os índices técnicos da qualidade da água e os detalhamentos urbanísticos do projeto.

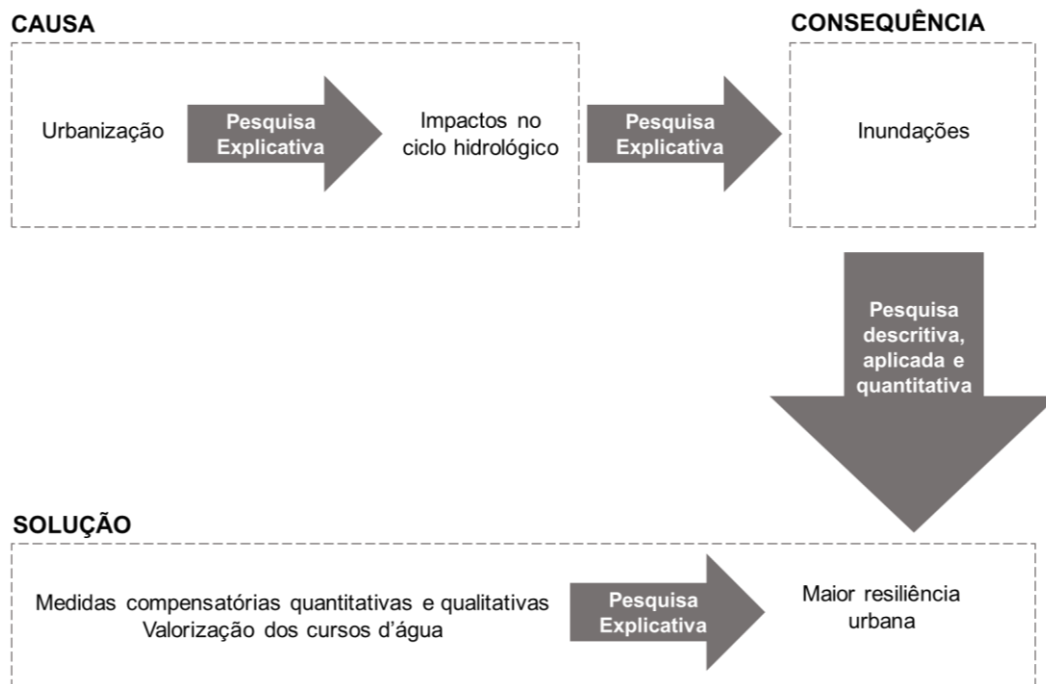


Figura 2 - Relação entre as variáveis de pesquisa

Após a obtenção dos dados necessários ao estudo, foram verificadas quais são as melhores técnicas para solucionar os problemas de cheias na região abordada. Desta forma, as medidas descritas durante o trabalho foram aplicadas na área de estudo de caso, a partir de simulação hidrológico-hidráulica da bacia com o auxílio do modelo matemático SWMM. Foram descritos os resultados obtidos através do estudo de caso e comparadas as condições hidráulicas e hidrológicas anteriores e posteriores à implantação do projeto, bem como pontuados os benefícios encontrados, além de avaliadas e indicadas a utilização de tais medidas em projetos de manejo de águas pluviais em áreas urbanas.

2.

Drenagem urbana e os impactos da urbanização

2.1.

O Ciclo hidrológico

A água é fundamental para a dinâmica da natureza, é essencial para a vida e impulsiona todos os ciclos. Conforme Tundisi (2003):

A água é o recurso natural mais importante e participa e dinamiza todos os ciclos ecológicos; os sistemas aquáticos têm uma grande diversidade de espécies úteis ao homem e que são também parte ativa e relevante dos ciclos biogeoquímicos e da diversidade biológica do planeta Terra.

O ciclo hidrológico é um fenômeno de circulação contínuo da água entre a superfície terrestre e atmosférica no qual a fonte fundamental é a energia solar associada a gravidade e a rotação da terra (Silva, 2015). A Figura 3 é uma representação do comportamento deste ciclo, que representa o movimento da água partir de diversos componentes como: precipitação, evaporação, transpiração, escoamento e infiltração (Miguez *et al.*, 2016).

Através da energia solar, ocorre a evaporação das águas da superfície dos espelhos d'água e da superfície terrestre, além da evapotranspiração das vegetações. As partículas evaporadas elevam-se na atmosfera até condensar-se, ganhando peso e precipitando em forma de chuva (Silva, 2015).

A parte precipitada que intercepta o solo pode escoar superficialmente ou infiltrar, dependendo da capacidade de infiltração do respectivo solo. A água infiltrada se destina para um aquífero ou escoar subsuperficialmente pelos canais internos do solo em direção a superfície ou aos cursos d'água (Tucci, 1997).

Ademais, parte da precipitação é retida na vegetação, pois quanto maior a superfície das folhas maior será o volume retido que posteriormente tenderá a evaporar e continuar com o ciclo. Além disto, através de suas raízes, as plantas retiram umidade do solo e perdem para o ambiente através da transpiração (Tucci, 1997).

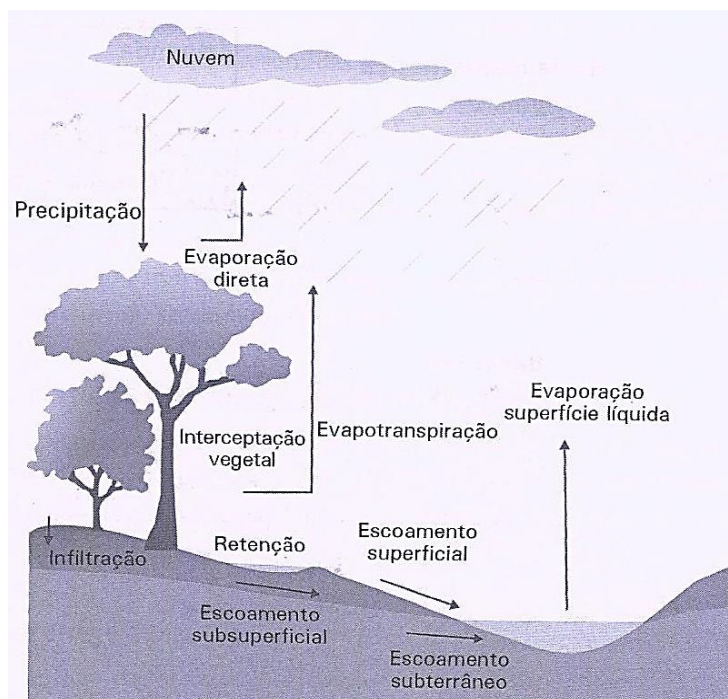


Figura 3 - Representação do ciclo hidrológico

Fonte: Miguez *et al.*, 2016.

As águas que escoam superficialmente vão em direção aos córregos, riachos, rios, lagoas, oceanos etc., sempre seguindo o fluxo natural da água. O território é dividido de acordo com a geografia nas denominadas bacias hidrográficas, as quais são áreas de captação natural dos fluxos d'água provindas a partir das precipitações, englobando as infiltrações e o escoamento superficial (Collischonn *et al.*, 2010). Os limites da bacia estão de acordo com o encontro dos pontos mais elevados do terreno, a chamada linha de cumeada, e as águas ali precipitadas convergem para um rio principal nos pontos baixos da bacia, denominados talvegues. Conforme as bacias são divididas, estas são denominadas sub-bacias destas.

Por meio de uma rede de drenagem, definida pelos cursos d'água, os escoamentos se destinam para o exutório, ponto de saída da bacia hidrográfica. Isto pode ser observado na ilustração da Figura 4 onde é esquematizado a divisão de duas bacias hidrográficas, demonstrando que a água precipitada percorre seu caminho até chegar a seu exutório, o qual pode ser um rio, um lago ou o oceano.

Para a quantificação dos elementos de entrada e saída do ciclo hidrológico em uma determinada bacia hidrográfica, pode ser utilizada a equação do balanço hídrico, onde as principais variáveis são a precipitação (P), a evapotranspiração

(ET), o escoamento superficial (ES) e a variação da infiltração (ΔS). Desta forma temos:

$$P = ET + ES + \Delta S \quad (2.1)$$

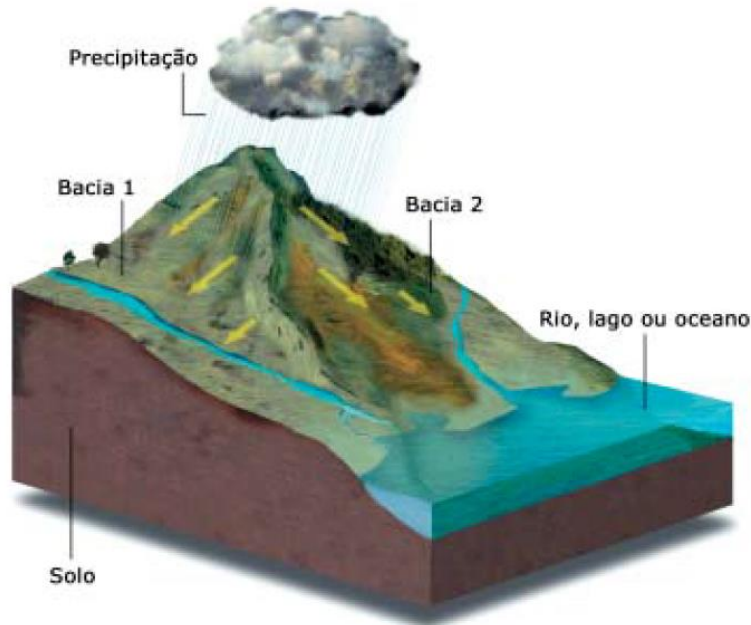


Figura 4 - Exemplificação de bacias hidrográficas

Fonte: FEAM, 2006.

Ou seja, a bacia hidrográfica é fundamental para analisar o ciclo hidrológico, pois possui como papel hidrológico principal distribuir o volume de água precipitada ao longo do tempo de acordo com as características da bacia (Brosato *et al.*, 2004). Para o conhecimento das diversas características de uma determinada bacia hidrográfica e como estas influenciam no meio, são realizados diversos estudos sobre a bacia contribuinte. Dentre as principais características de análise de uma bacia temos: sua forma geométrica e o relevo em que está inscrita, principalmente no que se refere a declividade dos cursos d'água e a geologia da área, de forma a diagnosticar sua cobertura vegetal e a permeabilidade do solo (FEAM, 2006).

Estas variáveis fornecem importantes elementos que possibilitam a determinação da parcela de chuva que escoar sobre a superfície do solo e a parcela na qual deve ser captada e conduzida ao seu deságue. Ressalta-se que estas características são individualizadas para cada bacia contribuinte, sendo, portanto,

necessário o estudo específico de cada situação, de forma a conhecer suas variáveis e suas respectivas influências no meio, de maneira a determinar as vazões geradas por cada sub-bacia.

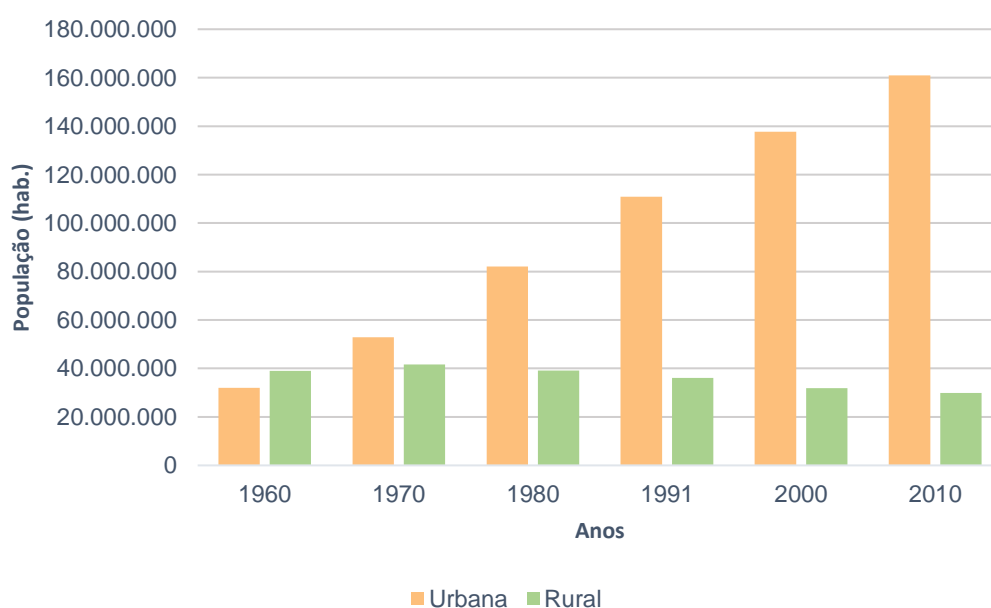
A partir disso, foram criados diversos métodos de estudo e diversas fórmulas empíricas que auxiliam a definição das características de uma bacia. Com a urbanização, as ruas passaram a ser impermeabilizadas e os principais rios canalizados, com isto, foram definidos alguns conceitos básicos para a implantação da drenagem urbana, definindo parâmetros para o estudo hidráulico e hidrológico da bacia modificada devido a urbanização.

2.2.

Drenagem urbana

O processo de urbanização no Brasil começou a se intensificar com o passar dos anos, conforme o avanço do desenvolvimento econômico, fazendo com que a população rural migre para os polos urbanos em busca de trabalho (Tucci, 1997). O Gráfico 1 demonstra a evolução da população brasileira tanto da quantidade populacional da zona urbana como rural, a partir da quantidade de habitantes considerada pelos Censos do IBGE de 1960 até 2010.

Gráfico 1 - Evolução da população urbana e rural no Brasil



Fonte: IBGE, dados até Censo de 2010.

Com isso, fica nítido o êxodo rural no Brasil desde a década de 60, além de que a população urbana, com o passar dos anos, cresceu exponencialmente. Junto com a urbanização iniciaram-se as modificações do espaço habitado, proporcionando vias que impermeabilizam o solo e desmatam a vegetação nativa.

Com a impermeabilização das ruas, se fez necessária a implantação de um sistema eficaz e eficiente para os escoamentos superficiais das águas pluviais que não conseguem infiltrar no solo devido as novas condições impostas pela urbanização.

A partir disto, o sistema de drenagem urbana foi dividido nos seguintes subsistemas:

- **Microdrenagem:** Sistema de drenagem de águas pluviais compreendido por condutos pluviais e acessórios (poços de visitas, ralos, bocas de lobo e ramais de ralo) nos quais são projetados para atender as diretrizes municipais quanto aos parâmetros hidráulicos e hidrológicos da área urbana. Possui como objetivo principal tentar substituir adequadamente a drenagem natural do ambiente que foi modificado a partir da impermeabilização das vias.
- **Macro-drenagem:** sistema de drenagem que apresenta uma área de bacia contribuinte significativa, geralmente superior a 1 km² e que é constituído por galerias de maior seção ou por cursos d'água.

As principais definições utilizadas para dimensionamento das estruturas projetadas em manejo de águas pluviais urbanas são apresentadas a seguir:

▪ **Tempo de Recorrência ou Retorno (TR)**

O tempo de recorrência ou período de retorno é o tempo médio que determinado evento hidrológico é igualado ou superado pelo menos uma vez (Righeto, 1998 *apud* Tomaz, 2002). Normalmente, a magnitude de uma inundação é apresentada conforme a probabilidade desta ser igualada ou superada, apresentando como base para este cálculo o tempo de recorrência do evento (Paiva *et al.*, 2003).

O tempo de recorrência pode variar dependendo do tipo de obra hidráulica a ser realizada, normalmente quando são realizadas obras perigosas em que existem riscos de perdas humanas ou econômicas, estas são projetadas com a precipitação

máxima possível, ou seja, com um alto tempo de recorrência. A partir da equação 2.2 pode-se calcular o risco (R) de uma obra dentro de sua vida útil em N anos, conforme a probabilidade de ocorrência de uma enchente em função do tempo de recorrência (TR) (Paiva *et al.*, 2003).

$$R=1-(1-(1/TR))^N \quad (2.2)$$

No município do Rio de Janeiro, a Fundação Rio Águas estabelece limites para a utilização do tempo de recorrência, de forma que os projetos estejam em conformidade com o Quadro 1.

Quadro 1 - Tempo de recorrência conforme especificação da Rio Águas

Tipo de dispositivo de drenagem	Tr (anos)
Microdrenagem - dispositivos de drenagem superficial, galerias de águas pluviais	10
Aproveitamento de rede existente - microdrenagem	5
Canais de macrodrenagem não revestidos	10
Canais de macrodrenagem revestidos, com verificação para Tr = 50 anos sem considerar borda livre	25

Fonte: Rio Águas, 2010.

▪ Tempo de Concentração (Tc)

Tempo necessário para que toda a área da bacia hidrográfica contribua para a seção de estudo (Paiva *et al.*, 2003). O tempo de concentração pode ser determinado a partir de muitas fórmulas, em geral, são funções da declividade do terreno ou dos canais naturais/artificiais e da rugosidade das superfícies.

Nas áreas urbanizadas, segundo o Manual de Instruções técnicas da Fundação Rio Águas, o cálculo do tempo de concentração pode ser dividido em duas parcelas:

$$t_c = t_{pr} + t_e \quad (2.3)$$

Onde t_{pr} é o tempo de percurso (minutos), responsável pelo deslocamento das águas pluviais nos condutos, desde a captação mais distante até a seção considerada.

Já t_e é o tempo de entrada (minutos), referente ao escoamento das águas pluviais até o primeiro dispositivo de captação. Para o tempo de percurso, utiliza-se o método cinemático, conforme demonstrado na equação 2.4, sendo a velocidade de percurso embutida no denominador através da fórmula de Manning.

$$t_{pr} = 16,67 \times \sum (L / (Rh^{2/3} S^{1/2} \eta^{-1})) \quad (2.4)$$

Onde L é o comprimento do talvegue, em trechos homogêneos (km); Rh é o raio hidráulico (m); S é a declividade do trecho (m/m); e η é coeficiente de rugosidade, dependente do tipo de material empregado.

O tempo de entrada, por sua vez, pode ser subdividido em duas parcelas conforme verificado na equação 2.5.

$$t_e = t_1 + t_2 \quad (2.5)$$

Onde t_1 refere-se ao tempo de escoamento superficial no talvegue, o qual pode ser calculado pela equação de George Ribeiro ou pela equação de Kirpich. No estudo de caso desenvolvido neste trabalho foi utilizada a equação de George Ribeiro, a qual está representada pela equação 2.6.

$$t_1 = 16 L_1 / (1,05 - 0,2 p) (100 S_1)^{0,04} \quad (2.6)$$

Sendo t_1 o tempo em minutos; L_1 o comprimento do talvegue principal (km); p a porcentagem da área coberta por vegetação da bacia contribuinte, em decimal; e S_1 a declividade média do talvegue principal.

O termo t_2 é o tempo de percurso do terreno natural, calculado pela equação de Kerby (2.7).

$$t_2 = 1,44 [L C_k (1/(S_2)^{0,5})]^{0,47} \quad (2.7)$$

Onde t_2 é o tempo sobre o terreno natural (minutos); L o comprimento do percurso (km); C_k o coeficiente determinado pelo Quadro 2; e S_2 a declividade média do terreno.

Em projetos de microdrenagem nos quais o divisor de águas de uma bacia hidrográfica, disposta em um local urbanizado, estiver a no máximo 60 metros de distância do primeiro dispositivo de captação, a Fundação Rio Águas recomenda o uso do tempo de concentração inicial conforme referenciado no Quadro 3.

Quadro 2 - Coeficiente C_k para aplicação da equação de Kerby

Tipo de superfície	C_k
Lisa e impermeável	0,02
Terreno endurecido e desnudo	0,1
Pasto ralo, terreno cultivado em fileiras e superfície desnuda, moderadamente áspera	0,2
Pasto ou vegetação arbustiva	0,4
Mata de árvores decíduas	0,6
Mata de árvores decíduas tendo o solo recoberto por espessa camada de detritos vegetais	0,8

Fonte: Rio Águas, 2010.

Quadro 3 - Tempo de Concentração conforme Fundação Rio Águas

Tipologia da área a montante	Declividade da sarjeta	
	< 3%	> 3%
Áreas de construções densas	10 min.	7 min.
Áreas residenciais	12 min	10 min
Parques, jardins, campos	15 min	12 min

Fonte: Rio Águas, 2010.

▪ Coeficiente de escoamento superficial (C)

Também denominado de coeficiente de deflúvio ou *run-off*, este parâmetro expressa a relação entre volume total escoado em uma bacia e o volume total precipitado desta. O coeficiente de escoamento superficial é variável, pois depende de diversos fatores como o tipo de solo, sua umidade e capacidade de infiltração, o uso e ocupação do solo, a rede de drenagem e entre outros parâmetros. (Paiva *et al.*, 2003).

Para as bacias que possuem superfícies distintas é utilizado o valor médio de C, o qual é obtido, conforme o Método Racional, a partir da média ponderada dos valores dos coeficientes da bacia contribuinte, tendo como pesos as áreas

correspondentes. Rio Águas (2010) apresenta, como base para dimensionamento, os coeficientes distribuídos no Quadro 4.

Quadro 4 - Coeficiente de escoamento superficial (C)

Tipologia da área de drenagem	C (runoff)
Áreas Comerciais	0,70 – 0,95
áreas centrais	0,70 – 0,95
áreas de bairros	0,50 – 0,70
Áreas Residenciais	
residenciais isoladas	0,35 – 0,50
unidades múltiplas, separadas	0,40 – 0,60
unidades múltiplas, conjugadas	0,60 – 0,75
áreas com lotes de 2.000 m ² ou maiores	0,30 – 0,45
áreas suburbanas	0,25 – 0,40
áreas com prédios de apartamentos	0,50 – 0,70
Áreas Industriais	
área com ocupação esparsa	0,50 – 0,80
área com ocupação densa	0,60 – 0,90
Superfícies	
asfalto	0,70 – 0,95
concreto	0,80 – 0,95
blocket	0,70 – 0,89
paralelepípedo	0,58 - 0,81
telhado	0,75 – 0,95
solo compactado	0,59 - 0,79
Áreas sem melhoramentos ou naturais	
solo arenoso, declividade baixa < 2 %	0,05 – 0,10
solo arenoso, declividade média entre 2% e 7%	0,10 – 0,15
solo arenoso, declividade alta > 7 %	0,15 – 0,20
solo argiloso, declividade baixa < 2 %	0,15 – 0,20
solo argiloso, declividade média entre 2% e 7%	0,20 – 0,25
solo argiloso, declividade alta > 7 %	0,25 – 0,30
grama, em solo arenoso, declividade baixa < 2%	0,05 - 0,10
grama, em solo arenoso, declividade média entre 2% e 7%	0,10 - 0,15
grama, em solo arenoso, declividade alta > 7%	0,15 - 0,20
grama, em solo argiloso, declividade baixa < 2%	0,13 - 0,17
grama, em solo argiloso, declividade média 2% < S < 7%	0,18 - 0,22
grama, em solo argiloso, declividade alta > 7%	0,25 - 0,35
florestas com declividade <5%	0,25 – 0,30
florestas com declividade média entre 5% e 10%	0,30 -0,35
florestas com declividade >10%	0,45 – 0,50
capoeira ou pasto com declividade <5%	0,25 – 0,30
capoeira ou pasto com declividade entre 5% e 10%	0,30 – 0,36
capoeira ou pasto com declividade > 10%	0,35 – 0,42

Fonte: Rio Águas, 2010.

▪ Intensidade das chuvas

As intensas chuvas são as principais responsáveis por diversos impactos negativos para o meio ambiente e para a população como a erosão dos solos, as inundações, perdas materiais e humanas, dentre outros. Assim, faz-se necessário o conhecimento da relação entre intensidade, duração e frequência das chuvas, que pode ser definida a partir das denominadas curvas IDF, as quais relacionam estas variáveis para um tempo de retorno pré-determinado (Basso *et al.*, 2016). As equações IDF tem a seguinte forma:

$$I = \frac{aTr^b}{(tc + c)^d} \quad (2.8)$$

Onde I é a intensidade máxima da precipitação (mm/h); Tr o tempo de recorrência (anos); tc o tempo de concentração (minutos); e os coeficientes (a, b, c, d) variam de acordo com o posto pluviométrico de influência na região.

No Brasil, Pfafstetter em 1956 desenvolveu um estudo em que apresentou as equações IDFs de 98 postos pluviográficos e pluviométricos do país, este estudo foi publicado no livro denominado “Chuvas intensas no Brasil”. Muitas destas equações são utilizadas até os dias de hoje, porém a maioria delas estão dispostas nas capitais brasileiras e em cidades nas regiões sul e sudeste. Desta forma, resultou-se a necessidade da realização de extrapolações, utilizando, por exemplo, os métodos das isoietas e de Thiessen, para desenvolver projetos em regiões próximas as das zonas de estudo de Pfafstetter (Basso *et al.*, 2016).

Com isto, Torrico em 1974 verificou, se baseando nos postos de Pfafstetter (1956), que o país pode ser dividido em oito regiões microclimáticas, denominadas isozonas. Desta forma, foi elaborado um mapa que especializa as equações IDFs por isozona no Brasil. Este mapa encontra-se disposto na Figura 5, de forma a demonstrar a área de influência das isozonas de Torrico (A a H). Com a duração da chuva de até 24 horas, são determinados coeficientes para cada isozonas em função do tempo de retorno escolhido para o cálculo (Basso *et al.*, 2016).

Além disto, outros métodos foram definidos para obter a intensidade da chuva em uma determinada duração e período de retorno. Dentre estes, tem-se a equação geral proposta por Bell em 1969, as distribuições de probabilidades determinada

por Gumbel, e a definição dos coeficientes para as equações IDF's que foram desenvolvidos, ao longo do tempo, por pesquisadores e órgãos municipais, a partir dos dados obtidos em pluviômetros e pluviógrafos (Paiva *et al.*, 2003).

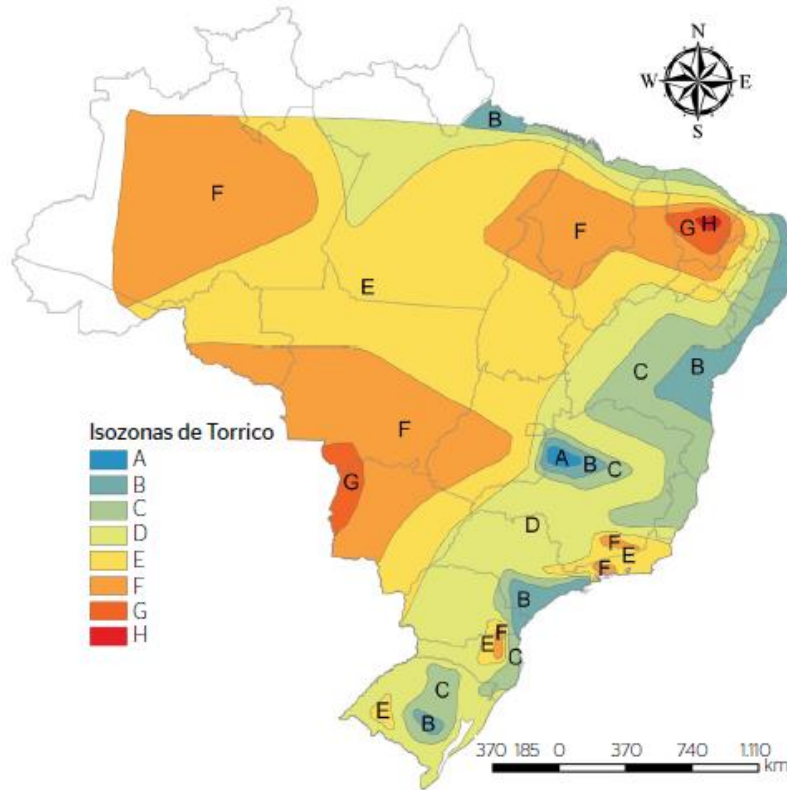


Figura 5 - Mapa de Isozonas de Torrico

Fonte: Adaptado de Basso *et al.*, 2016.

No município do Rio de Janeiro, a Fundação Rio Águas dispõe de um mapa que posiciona os diferentes postos pluviométricos existentes na cidade. Para cada posto foram definidos, através de estudos específicos, os coeficientes necessários para o cálculo da intensidade da chuva a partir da equação IDF. Este mapa, ilustrado na Figura 6, apresenta as áreas de influência de cada posto pluviométrico. Os coeficientes da equação IDF para cada posto estão dispostos no Quadro 5.

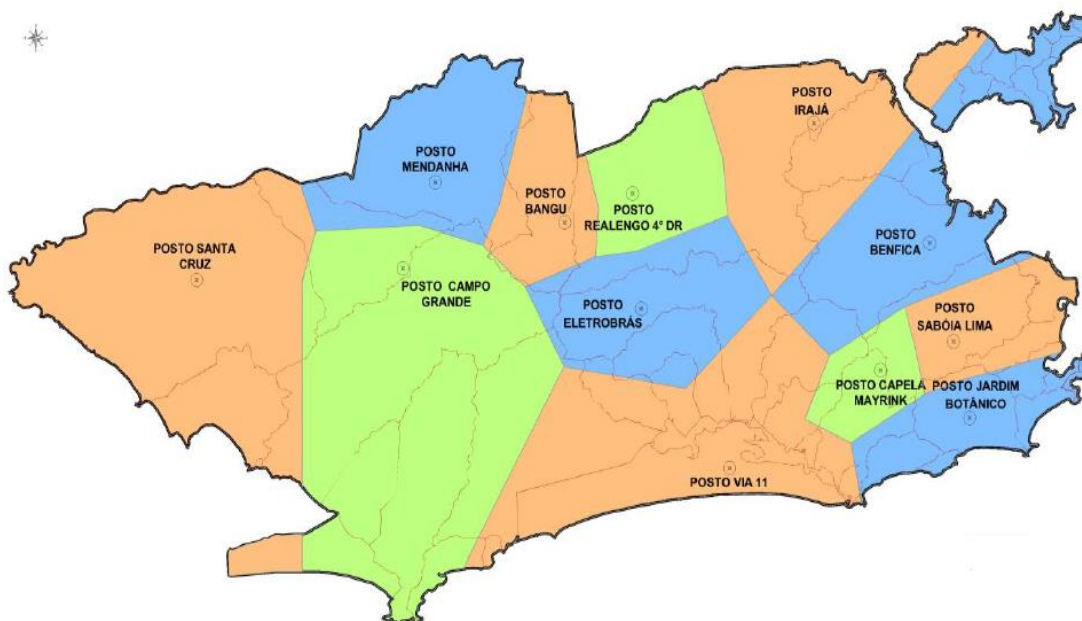


Figura 6 - Postos pluviométricos na cidade do Rio de Janeiro

Fonte: PDMAP, 2013.

Quadro 5 - Coeficientes da equação IDF no município do Rio de Janeiro

Pluviômetro	a	b	c	d	Fonte
Santa Cruz	711,3	0,186	7	0,687	PCRJ- Cohidro (1992)
Campo Grande	891,67	0,187	14	0,689	PCRJ- Cohidro (1992)
Mendanha	843,78	0,177	12	0,698	PCRJ- Cohidro (1992)
Bangu	1.208,96	0,177	14	0,788	PCRJ- Cohidro (1992)
Jardim Botânico	1.239,00	0,15	20	0,74	Ulysses Alcântara (1960)
Capela Mayrink	921,39	0,162	15,46	0,673	Rio-Águas (2003)
Via 11 (Jacarepaguá)	1.423,20	0,196	14,58	0,796	Rio-Águas (2005)
Sabóia Lima	1.782,78	0,178	16,6	0,841	Rio-Águas (2006)
Benfica	7.032,07	0,15	29,68	1,141	Rio-Águas (2006)
Realengo	1.164,04	0,148	6,96	0,769	Rio-Águas (2006)
Irará	5.986,27	0,157	29,7	1,05	Rio-Águas (2007)
Eletrobrás -Taquara (Eletrobrás)	1.660,34	0,156	14,79	0,841	Rio-Águas (2009)

Fonte: Rio Águas, 2010.

▪ Vazão máxima e Hidrograma

Dentre os principais métodos para o cálculo da vazão de uma determinada bacia hidrográfica, apresentam-se:

- Método Racional;
- Método Racional Modificado por Ulysses M. A. Alcântara;
- Método de I-Pai-Wu Modificado (IPW);
- Método do Hidrograma Unitário Sintético de Snyder (Snyder);
- Método do Hidrograma Unitário Sintético Triangular do “Soil Conservation Service” (SCS);
- Método de Vem Te Chow (VTC);
- Método do Hidrograma Unitário Sintético Regionalizado (HUR).

Os métodos Racional, Racional Modificado por Ulysses M. A. Alcântara, IPW e VTC determinam a vazão máxima de um hidrograma e são mais utilizados para sistemas de microdrenagem, enquanto os métodos SCS e HUR permitem a obtenção de um hidrograma de projeto para sistemas de macrodrenagem. No município do Rio de Janeiro, Rio Águas (2010) estabelece técnicas e premissas de projeto para o dimensionamento da vazão, conforme demonstrado no Quadro 6, de forma a permitir a utilização de outros métodos mediante justificativa.

Quadro 6 - Métodos de dimensionamento de vazão segundo Rio Águas

Vazão de projeto conforme Rio Águas	
Método de dimensionamento	Área de contribuição
Método Racional Modificado por Ulysses Alcântara	≤ 100 ha
Método U.S. Soil Conservation Service	> 100 ha

Fonte: Rio Águas, 2010.

- O Método Racional Modificado por Ulysses Alcântara

Conforme Paiva *et al.* (2003), para o método racional, mencionado pela primeira vez em 1889, é utilizada a seguinte equação para o cálculo da vazão máxima:

$$Q = 0,278 C I A \quad (2.9)$$

Onde Q é a vazão de pico (m³/s); C é o coeficiente de escoamento superficial; I é a intensidade média da precipitação (mm/h); A refere-se a área da bacia de contribuição (km²); e 0,278 é o coeficiente resultante do arranjo de unidades.

De acordo com Alcântara (1962), modificações devem ser realizadas no método racional, para obtenção dos deflúvios a partir de áreas acumuladas superiores a 1ha. Desta forma, temos o método racional modificado por Ulysses M. Acântara, determinado pela seguinte fórmula:

$$Q = 2,78 A f I n \quad (2.10)$$

Onde Q é a vazão (l/s); 2,78 é o coeficiente de transformação de unidades; A é a área da bacia (ha); f é o coeficiente de Fantoli; I é a intensidade média da precipitação (mm/h); e n o coeficiente de distribuição. O coeficiente n varia com a área, onde assume-se n = 1 para A < 1 ha, e para A > 1 ha, n = A^{-0,15}.

- O Método U.S Soil Conservetion Service (SCS)

O método do *Soil Conservation Service* (SCS), que atualmente é denominado *National Resources Conservation Service* (NRCS) foi desenvolvido pelo engenheiro Victor Mockus em 1952 com o objetivo principal de especificar um hidrograma unitário adimensional (Paiva *et al.*, 2003). O hidrograma unitário, conforme desenvolvido por Sherman (1932), é conceituado como uma função de transferência com o objetivo de conversão de um hietograma de chuva excedente, relação entre a intensidade da chuva precipitada e escoada superficialmente em uma determinada duração, em um hidrograma de projeto (Canholi, 2005).

Para isto, determinou-se que para uma bacia, os deflúvios gerados são proporcionais às chuvas efetivas, considerando o hidrograma para 1 cm de chuva efetiva (Hidrograma Unitário) para chuvas de mesma duração. O método SCS representa uma média de diversos hidrogramas unitários de bacias distintas, conforme representado na Figura 7, onde é representada a curva do hidrograma, a qual também pode ser aproximada pelo hidrograma unitário triangular expresso em vermelho, considerando o tempo de base equivalente à 2,67 vezes o tempo de pico. (Canholi, 2005).

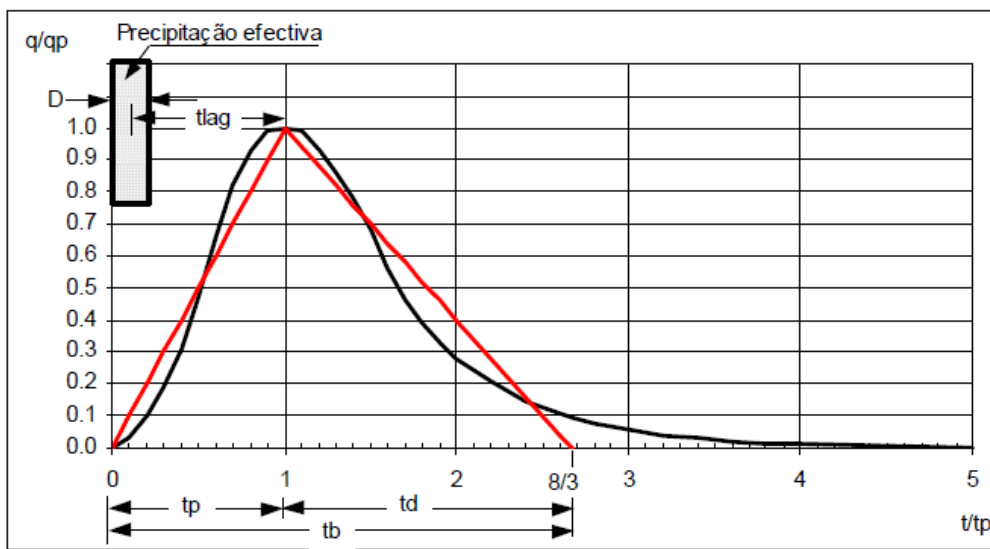


Figura 7 - Hidrograma unitário sintético SCS

Fonte: Portela *et al*, 2000.

Neste hidrograma a variável q representa a vazão por centímetro de chuva excedente, q_p a vazão de pico e t_p o tempo de pico. Conforme Canholi (2003) e Damé *et al.* (2010), as equações utilizadas para o cálculo destas variáveis são as seguintes:

$$t_r = 0,133 t_c \quad (2.11)$$

$$t_p = t_d/2 + t_b \quad (2.12)$$

$$t_l = 0,6 t_c \quad (2.13)$$

$$qp = (2,08Ad)/tp \quad (2.14)$$

Onde t_p é o tempo de pico (horas); t_d é a duração da precipitação excedente (horas); t_b é o tempo de resposta da bacia (horas); t_c é o tempo de concentração (horas); e A_d é a área de drenagem (km^2).

Na prática, o método SCS é admitido para $t_r \leq 0,25t_p$ ou $t_r \leq 0,17t_c$ (Akan, 2003 *apud* Canholi, 2005). Além disto, para a avaliação do escoamento superficial causado por determinada chuva, este método define condições de umidade e grupos distribuídos conforme a tipologia dos solos.

Conforme Paiva *et al.* (2003), as condições de umidade definidas para o método SCS são:

- Condição I: os solos da bacia hidrográfica estão secos.
- Condição II: após a ocorrência de uma chuva, a situação nos solos é medida conforme a sua umidade.
- Condição III: a ocorrência de chuva durante 5 dias provoca o saturamento dos solos.

Foram atribuídos grupos hidrológicos de solo conforme sua capacidade de infiltração, estas divisões são observadas no Quadro 7.

Quadro 7 - Grupos Hidrológicos dos solos

Grupo Hidrológico	Descrição do solo	Capacidade de Infiltração (cm/h)
A	Areias e cascalhos profundos muito permeáveis, com alta taxa de infiltração e teor de argila de até 10%. Solos responsáveis pela menor formação de deflúvio superficial.	1,20 - 0,80
B	Areias com pocos finos, permeável e menor profundidade ($h < 1,50$). Teor de argila de 10% a 20%.	0,80 - 0,40
C	Solos com pouca profundidade e permeabilidade. Possui elevada porcentagem de argila (de 20% a 30%).	0,40 - 0,15
D	Solos argilosos (>30% de argila), solos com nível freático elevado ou solos rasos sobre camadas impermeáveis. Solos responsáveis pela maior formação de deflúvio superficial.	0,15 - 0,00

Fonte: Adaptado de Canholi (2003) e DNIT (2005).

Ademais, para a verificação da permeabilidade do solo, sua umidade antecedente a um evento chuvoso e a cobertura vegetal do terreno, foi definido um

valor denominado número de curva (CN), variável de 0 a 100 considerando as diversas condições do terreno, quanto a sua impermeabilização, e os grupos hidrológicos do solo, de forma que quanto maior é o valor de CN mais impermeável se encontra o local. Segundo o DNIT, estes valores são atribuídos conforme o Quadro 8.

Caso a bacia hidrográfica a ser analisada possua diversos tipos de solo, adota-se o valor CN obtido pela média ponderada dos diversos CN's correspondentes das áreas em estudo. De acordo com a Rio Águas (2010), para a definição da precipitação efetiva da chuva, o método utiliza a equação de Mockus, indicada pela seguinte equação:

$$Pe = (Pa - 0,2 Sd)^2 / (P + 0,8 Sd) \quad (2.15)$$

Onde Pe é a precipitação efetiva (mm); Pa é a precipitação acumulada (mm); e Sd é o armazenamento no solo (mm).

Quadro 8 - CN para solos conforme condições hidrológicas

Solo - Cobertura Vegetal					
Para Condição de Umidade Antecedente II (Média) E I _s = 0,2s					
Cobertura Vegetal	Condição de Retenção Superficial	Grupo Hidrológico do Solo			
		A	B	C	D
Terreno não Cultivado com Pouca Vegetação	Pobre	77	86	91	94
Terreno Cultivado	Pobre	72	81	88	91
	Boa	51	67	76	80
Pasto	Pobre	68	79	86	89
	Boa	39	61	74	80
Mata ou Bosque	Pobre	45	66	77	83
	Boa	25	55	70	77
Área Urbana	Pobre	74	80	87	90
	Boa	70	76	83	86

Fonte: DNIT, 2005.

O valor de S_d é função da curva número (CN) e das condições antecedentes de umidade no solo, conforme a formulação que segue:

$$S = 254 [(100/CN) - 1] \quad (2.16)$$

O DNIT recomenda valores para as infiltrações mínimas dos solos de acordo com os grupos hidrológicos a considerar. Sendo adotados os valores dispostos no Quadro 9.

Quadro 9 - Infiltração Mínima

Grupo Hidrológico	Infiltração Mínima (mm/h)
A	10
B	6
C	3
D	1

Fonte: DNIT, 2005.

▪ Dimensionamento hidráulico

Para o dimensionamento hidráulico das galerias de águas pluviais, devem ser estabelecidos critérios de velocidades mínimas e máximas admissíveis e a relação máxima de enchimento, conforme estabelecido pelo órgão responsável pela gestão de águas pluviais, sendo no município do Rio de Janeiro competência da Fundação Rio Águas.

Além disso, os diâmetros nominais, as profundidades mínimas das tubulações e os coeficientes de rugosidade são adotados de acordo com as especificações do tipo de material escolhido para a realização do projeto. Nos canais abertos, devem ser analisados os tipos de regime de escoamento e a borda livre mínima admitida, de forma que o deságue esteja de acordo com o nível máximo de água admitido no exutório.

2.3.

Impactos da urbanização

No Brasil, a implantação de infraestruturas não acompanhou o crescimento urbano na maioria dos grandes centros urbanos. De acordo com Tucci (2008), dentre os principais problemas enfrentados pela população urbana nos países em desenvolvimento são:

- Concentração populacional nos núcleos urbanos: a pequena área dos núcleos urbanos, onde é ofertado o maior número de empregos, possui um sistema deficiente nas áreas de mobilidade urbana, abastecimento de água, drenagem pluvial, coleta de esgoto e resíduos sólidos. Desta forma, são gerados diversos impactos negativos para a sociedade e o meio ambiente, como a propagação de doenças, poluição e inundações;
- Desigualdade social: o êxodo rural descontrolado para os núcleos urbanos implica em uma cidade que não comporta moradias suficientes para todos. Os núcleos urbanos passam a ser ocupados pela população de renda média e alta, provocando a migração da população mais pobre para áreas de risco e periferias, onde as condições de qualidade de vida são extremamente precárias.

Com este tipo de estruturação urbana, onde é notória a divisão de classes sociais e a precariedade das infraestruturas, pode-se concluir que há grandes e preocupantes impactos sobre a bacia hidrográfica, principalmente no que se refere ao incremento do escoamento superficial. Conforme Tucci (1997), os principais efeitos na drenagem pluvial são:

- Com a impermeabilização, ocorre a redução da infiltração no solo, aumentando o escoamento superficial e o seu tempo de deslocamento até o ponto de captação pluvial, como pode ser verificado no esquema da Figura 8;
- Com a redução da infiltração, o nível do lençol freático tende a redução devido a sua falta de alimentação, principalmente em áreas extensas, diminuindo o escoamento subterrâneo;

- A substituição da cobertura natural reduz o fenômeno da evapotranspiração;
- Poluição hídrica;
- Com a implantação de redes de microdrenagem e macrodrenagem, os condutos pluviais tornam o escoamento mais rápido, ocorrendo o incremento das vazões máximas, e ocasionando a antecipação dos seus picos no tempo. Desta forma, ocorrem as inundações, tendo em vista que as águas pluviais alcançam o exutório com rapidez e com uma vazão muito maior que aquela que seria gerada se o ambiente natural não tivesse sido transformado. Isto fica nítido na Figura 9 onde há uma comparação entre os hidrogramas de vazão versus tempo antes e depois da urbanização, verificando que os picos de chuva no cenário após as transformações do ambiente, apresentam vazões bem maiores e em um período de tempo bem menor que no cenário anterior. Estes fatos têm como principal consequência as inundações.

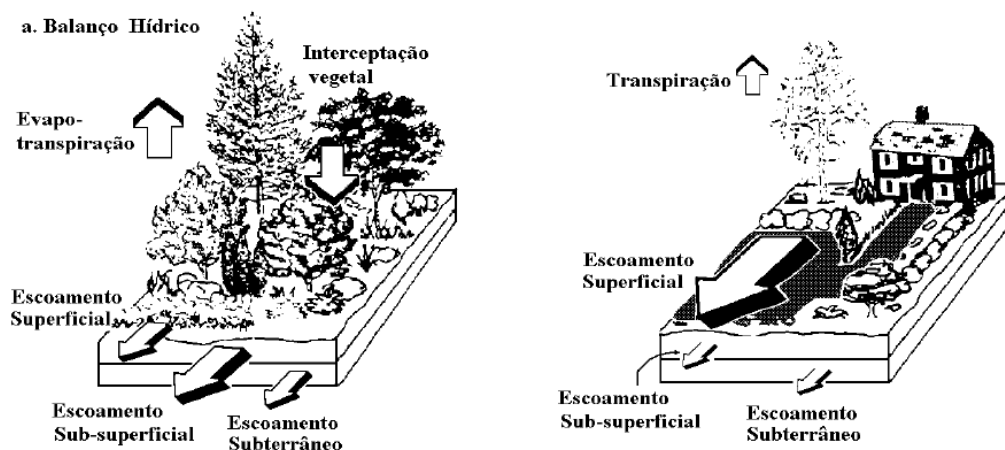


Figura 8 - Ciclo hidrológico x Fases do ciclo hidrológico em áreas urbanas

Fonte: Tucci, 1997.

Cheias, alagamentos, inundações, enchentes e enxurradas são termos semelhantes que normalmente são utilizados com o mesmo intuito de interpretação, porém estes apresentam características que os distinguem, embora estejam relacionados. As enxurradas ocorrem principalmente em regiões íngremes onde o solo está desprovido de cobertura vegetal, desta forma, na ocorrência de chuvas

intensas, o escoamento superficial sucede em alta velocidade, podendo acarretar na erosão do solo, danos às estradas, assoreamento de baixadas, etc.

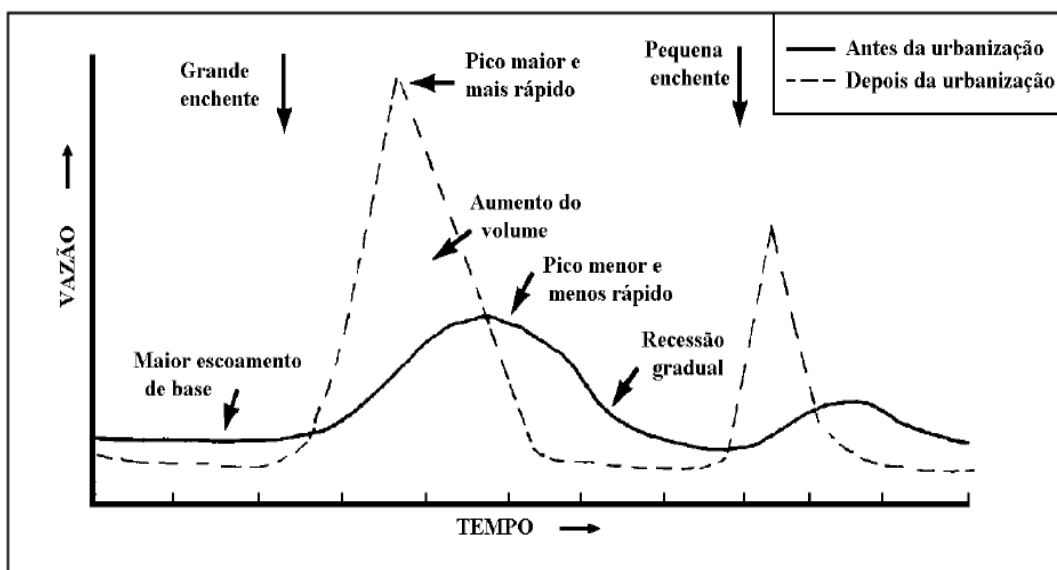


Figura 9 - Hidrograma vazão x tempo antes e depois da urbanização

Fonte: Tucci, 1997.

O conceito de alagamentos está relacionado ao afloramento de águas pluviais devido a falhas no sistema de microdrenagem. Já as cheias são fenômenos hidrológicos que ocorrem no sistema de macrodrenagem, os quais são temporários, de frequência variável, natural ou influenciado pelas ações humanas, que está associado ao ano hidrológico de uma determinada região (Ramos, 2013).

Dependendo da época do ano, em determinado local, tem-se o período de cheias e o de estiagens. A ascensão do nível d'água durante o período de cheias é denominada de enchentes. Já, as extrapolações das águas dos limites físicos das calhas dos rios caracterizam uma inundação. (Miranda, 2016).

Conforme Tucci (1997), as inundações ocorrem devido a dois processos:

- Inundações de áreas ribeirinhas: inundações naturais decorrentes das extrapolações das águas, atingindo o leito maior dos rios.

O código florestal institui as faixas marginais de proteção para determinar as áreas de preservação permanente em zonas rurais e urbanas, de forma a estabelecer larguras mínimas para a proteção dos cursos d'água, evitando assim que as inundações nos períodos de cheias causem danos. Além disto, o Estado do Rio de

Janeiro dispõe do decreto 42.356/2010, que estabelece os critérios para a demarcação das faixas marginais de proteção (FMP) no processo de licenciamento ambiental e de emissões de autorizações ambientais.

Porém, a desigualdade social no país fez com que ocorressem diversas invasões de áreas ribeirinhas, pertencentes ao poder público, pela população de baixa renda. Desta forma, as populações residentes destes locais sofrem com frequentes inundações durante eventos de chuvas intensas, principalmente nos períodos de cheias dos cursos d'água, causando inúmeros problemas sociais e ambientais. Com isso, cabe ao poder público encontrar soluções e instaurá-las para mitigar esta situação de risco.

- Inundações devido à urbanização: Inundações decorrentes da impermeabilização das bacias juntamente com a implantação das redes de microdrenagem e macrodrenagem, fomentando a aceleração do escoamento das águas pluviais e o aumento das vazões de pico. Além disso, a poluição urbana dificulta o manejo eficiente das águas pluviais, colocando em risco o funcionamento das redes de drenagem e trazendo impactos negativos para a saúde humana e o meio ambiente. Agrupando estes fatores, tem-se como consequência preocupantes inundações durante eventos de precipitações intensas.

2.3.1.

Poluição Hídrica

A poluição hídrica é um dos principais impactos negativos da urbanização. Uma bacia hidrográfica modificada implica na existência de diversas fontes poluidoras que podem alcançar os cursos d'água, prejudicando a qualidade das águas e causando efeitos negativos para as sociedades. Os principais poluentes existentes no cenário urbano estão descritos no Quadro 10 e ilustrados na Figura 10

O despejo de substâncias e fontes de energia ocasiona poluição das águas, acarretando diversas alterações físicas, químicas e biológicas no habitat aquático. As fontes de poluição hídrica podem ser classificadas como pontuais e difusas. (Prodanoff, 2005). As fontes pontuais atingem os corpos d'água de forma concentrada, como por exemplo, o despejo de esgoto tratado ou não no corpo

hídrico receptor (Von Sperling, 2005). O lançamento de esgoto nos corpos d'água é uma das grandes preocupações relacionadas a este tema, pois a ausência de infraestruturas de saneamento é a principal causa da ocorrência de doenças de veiculação hídrica como febre tifoide, cólera, hepatite A, amebíase, leptospirose, dentre outras.

Quadro 10 - Principais fontes poluidoras

Principais Fontes Poluidoras	
Fonte	Descrição
Pavimentação das ruas	Poluentes oriundos da degradação da superfície de rolamento.
Motores dos veículos	Materiais depositados nos pavimentos e derramamento de combustíveis e lubrificantes.
Deposição atmosférica	Processos naturais ou antropogênicos que liberam matéria ou energia para a atmosfera.
Vegetação	Folhas, gramas e galhos que ao cair são depositados na área urbana.
Superfície dos Solos	Tipos de cobertura e volume de tráfegos.
Resíduos Sólidos	A má coleta de lixo domiciliar e o despejo de resíduos são uma grande contribuição para a poluição dos cursos d'água. O derramamento de lixo industrial é ainda mais preocupante.
Agroquímicos	Poluição devida ao uso de fertilizantes, pesticidas e herbicidas.
Erosões	Erosões do solo provenientes de áreas em construção e das margens dos sistemas coletores.
Esgoto	Vazamentos e contaminações de redes de esgoto deficientes e o despejo de esgoto in natura em locais que não possuem infraestrutura de coleta.

Fonte: Adaptado de Prodanoff (2005).

As fontes difusas são distribuídas ao longo dos corpos d'água, este é o caso das águas pluviais, as quais transportam a poluição encontrada na superfície dos terrenos, a partir do escoamento superficial, até os rios, canais e lagoas (Von Sperling, 2005). A poluição difusa é de origem bem diversificada, além disto, a intensidade e a duração das precipitações influenciam no tipo e na quantidade de poluentes presentes no escoamento superficial. Atualmente, a partir dos designados polutogramas, são desenvolvidos estudos que preveem a distribuição temporal das

concentrações de poluentes difusos de determinados eventos de precipitação (Prodanoff, 2005).

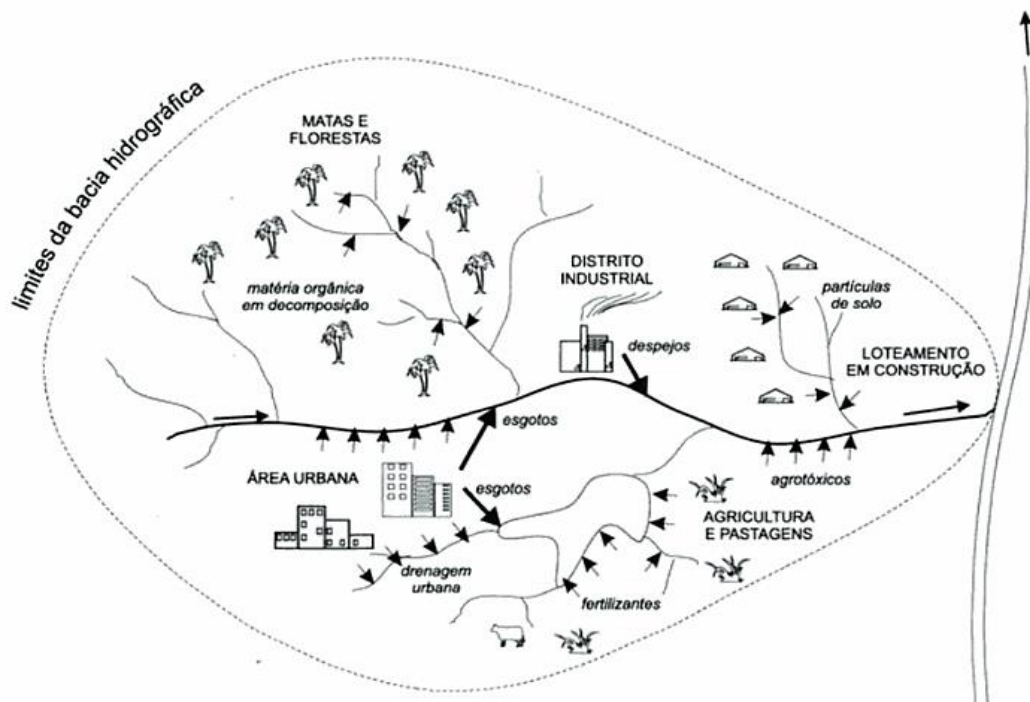


Figura 10 - Relação do uso e ocupação do solo e fontes de poluição hídrica

Fonte: Von Sperling, 2005.

A poluição transportada pelas águas pluviais tende a afetar os ecossistemas aquáticos, de forma a impactar negativamente os parâmetros que definem o grau de qualidade das águas, como a demanda de oxigênio, os sólidos em suspensão e dissolvidos, os íons alterados, os nutrientes, os organismos patogênicos, os metais, os compostos orgânicos naturais e sintéticos, o pH e a temperatura. O acúmulo de resíduos sólidos, causados pela má limpeza pública e a falta de conscientização da sociedade ao despejar lixo nas ruas, são conduzidos pelas águas pluviais afetando a qualidade dos cursos d'água e sendo um empecilho para o bom funcionamento das redes de drenagem e dos reservatórios de retenção e detenção (Prodanoff, 2005).

Para garantir a qualidade da água de abastecimento para consumo humano devem ser cumpridos os padrões exigidos pela Portaria nacional 2914/2011. Quanto ao despejo final do esgoto tratado nas ETEs, a Resolução CONAMA 357/2005 dispõe de padrões de qualidade dos corpos receptores e parâmetros específicos para o lançamento de efluentes no meio hídrico. Além disto, devem ser verificadas as

legislações estaduais relacionadas ao tema que podem conter informações mais restritivas.

A partir destes fatos, foi elaborada a modelagem demonstrada na Figura 11, onde são abordados, de forma simplificada, três tópicos de interesse que são efeitos da intensa urbanização do meio. Os assuntos dispostos apresentam no modelo suas respectivas consequências e a indicação das principais soluções, apresentadas em pontilhado, para tentar reverter este quadro problemático imposto pela sociedade ao transformar o meio natural. As soluções propostas estão sempre em busca de uma cidade mais resiliente.

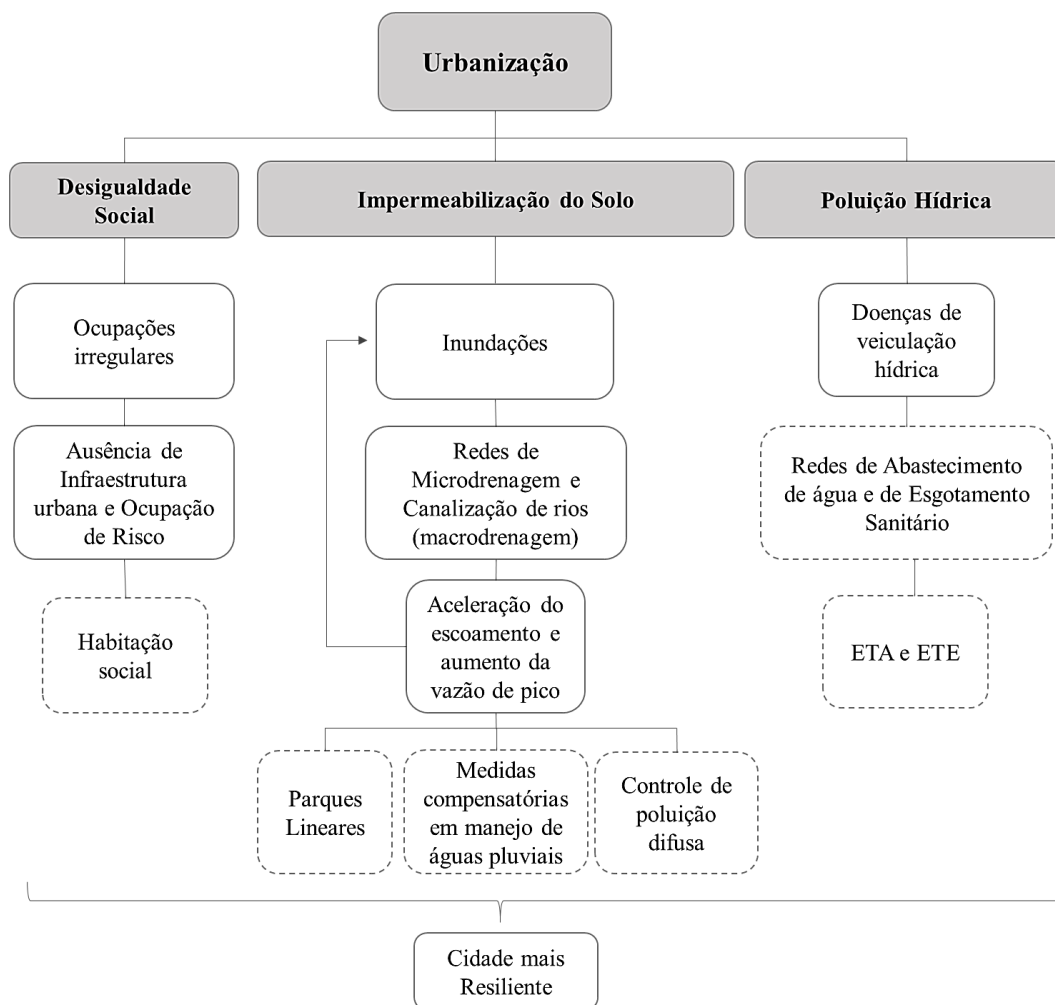


Figura 11 - Modelo Conceitual referente aos impactos da urbanização

3.

Sistema de Manejo Sustentável das Águas Pluviais

3.1.

Sustentabilidade e Resiliência

O termo sustentabilidade foi apresentado em 1987 pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD), de responsabilidade da ONU, a partir do Relatório de Brundtland, definindo sustentabilidade como a capacidade de satisfação das necessidades atuais com comprometimento de não prejudicar as gerações futuras (Oliveira *et al.*, 2012). Para a ocorrência do processo de desenvolvimento sustentável devem ser englobados três importantes pilares: o crescimento econômico, a igualdade social e a sustentabilidade ambiental (ONU, 2012).

Diversas medidas foram implantadas, em todo o mundo, para impulsionar o desenvolvimento sustentável. O Quadro 11 enumera um processo histórico com algumas das principais ações que foram realizadas em prol do desenvolvimento sustentável. Além destas medidas, ao longo dos anos, acentuou-se a percepção da importância das questões ambientais, desta forma, inúmeras outras reuniões foram realizadas em todo mundo, assim como foram criadas legislações, programas e diversos estudos voltados para a proteção do meio ambiente, colaborando para a melhoria da qualidade ambiental e de vida.

No âmbito urbano, a noção de sustentabilidade tem sido fundamental para a gestão das cidades, sendo parâmetro para a elaboração de projetos desde a administração de riscos e incertezas ao aumento da resiliência urbana (Acserlad, 1999). O termo resiliência refere-se à capacidade que um sistema possui para absorver impactos e manter suas funções, ou seja, a habilidade de sobrevivência em um ambiente incerto (Herzog, 2013).

A resiliência urbana relaciona-se com a propensão que as cidades têm de adaptar-se e prosperar não importando os choques e estresses a que são submetidas

(Rio Resiliente, 2016). Para isto, devem ser realizados projetos multifuncionais que apresentem planos adaptáveis a longo prazo.

Quadro 11 - Evolução de ações para o desenvolvimento sustentável

Ano	Ação	Função
1972	Conferência de Estocolmo	Assinada a Declaração de Princípios, demonstrando que os problemas ambientais estavam relacionados com o subdesenvolvimento. No Brasil, em resposta, foi criada em 1973 a Secretaria Nacional de Meio Ambiente.
1980 - 1981	Criação do EIA, RIMA, audiências públicas e a Política Nacional do Meio Ambiente Lei nº 6938/81	Instrumentos para preservação do meio ambiente.
1987	Relatório de Brundtland	Apresentou a definição de Desenvolvimento Sustentável.
1992	RIO 92 ou ECO 92	Reunião de 108 países com o objetivo de diminuir a degradação do meio ambiente, criando a Agenda 21, a Convenção da Biodiversidade e a Convenção das Mudanças Globais do Clima.
1997	No Brasil, foi criado o Decreto Federal de 26 de fevereiro de 1997, atual Decreto de 3 de fevereiro de 2004	Criação da Comissão de Políticas de Desenvolvimento Sustentável e a Agenda 21 brasileira.
	Aprovação do Protocolo de Quioto	Acordo internacional com o objetivo de estabilizar a emissão de gases de efeito estufa na atmosfera.
	Lei 9433 - Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos	Assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos; a utilização racional; e a preservação.
2000	Objetivos do Milênio (ODM)	Oito objetivos com o intuito de que todos os países atinjam estas metas até 2015.
2002	Rio +10	Convenção realizada pelas Nações Unidas, para discutir as propostas realizadas na Agenda 21 (ECO 92) e a sua aplicação pelo governo e pelos cidadãos.
2012	Rio+20	Discutir ações que incentivem os setores privado e público a contribuir para uma economia verde.

A resiliência é um conceito muito abrangente e envolve questões econômicas, sociais, climáticas, de comportamento e gestão (Prefeitura do Rio de Janeiro, 2016). O modelo demonstrado na Figura 12 aponta que o contexto ambiental e social de um determinado espaço urbano deve estar integrado para alcançar um ambiente mais resiliente, para atingir este objetivo devem ser realizadas ações planejadas em prol de um ambiente estratégico capaz de resistir aos impactos que possam vir a ocorrer.

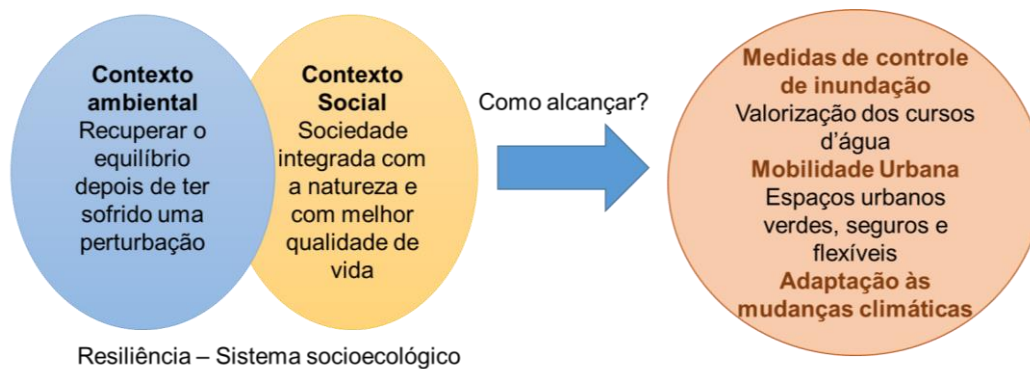


Figura 12 - Resiliência inserida no contexto social e ambiental

A cidade do Rio de Janeiro, no fim de 2013, foi selecionada para integrar o primeiro grupo do projeto 100 Cidades Resilientes da Fundação Rockefeller e em 2014 a cidade tornou-se a líder do grupo C40, passando a gerenciar a rede de Avaliação de Risco Climático, dedicada a questões de resiliência climática. O Centro de Operações Rio (COR), criado em resposta às chuvas intensas que ocorreram na cidade em abril de 2010, deixando vítimas fatais, é uma das ferramentas de resiliência da cidade, sendo responsável pelo monitoramento e controle da mesma, sempre buscando elaborar estratégias e comandar ações para minimizar os eventos de risco que possam vir a ocorrer (Prefeitura do Rio de Janeiro, 2015).

A prefeitura do município do Rio de Janeiro, a partir do projeto Rio Resiliente, utiliza como base para o planejamento estratégico da cidade os conceitos de riscos definidos por Smil (2008), que apresenta os riscos divididos em três categorias. Dentre estes grupos, tem-se os riscos recorrentes, os quais podem ser estimadas sua ocorrência através de uma base histórica; já os riscos plausíveis são aqueles com potencial de catástrofe, porém muito improváveis, desta forma, sua

probabilidade de ocorrência é de difícil estimativa; e os riscos especulativos, os quais possuem potencial de catástrofe, porém não são conhecidos (Hands, 2016).

A Figura 13 demonstra uma matriz de resiliência desenvolvida pela Prefeitura do Rio de Janeiro, onde constam os tipos de riscos que possam vir a ocorrer em função de cinco dimensões de gestão, definidas pelo órgão como fundamentais para a resiliência de uma cidade. Ou seja, além de desenvolver projetos e ações para almejar uma cidade mais resiliente, esta também deve estar planejada para monitorar eventos de risco antes e depois de sua ocorrência.

	Exemplo de vetores de risco	Ações permanentes de prevenção	Monitoramento de Tendências Sociais, Demográficas, Econômicas, Climáticas	Depois do choque		
				Capacidade de Mobilização Prefeitura e população	Comunicação	Aprendizado Constante
Riscos recorrentes	Chuvas fortes, alagamentos, deslizamentos, engarrafamentos	●	●	●	●	●
Riscos plausíveis	Pandemia, furacão, tsunami, queda de avião em área populada		●	●	●	●
Riscos especulativos	Eventos muito raros, soma de impactos			●	●	●

Figura 13 - Matriz de Gestão da Resiliência

Fonte: Prefeitura do Rio de Janeiro, 2015 *apud* Hands, 2016.

Os riscos referentes às chuvas intensas podem ser fatais, desta forma é de extrema importância alcançar alternativas para que estes eventos não causem mais transtornos para a sociedade. Os estudos referentes ao manejo de águas pluviais, trazendo soluções de controle de quantidade e qualidade, além de técnicas que minimizem o escoamento superficial são essenciais para obtenção de uma cidade mais resiliente.

3.2.

Medidas de Controle de Inundações

As inundações são um dos principais impactos da urbanização, sendo um risco frequente nas cidades. A partir dos inúmeros eventos em que diversas áreas foram inundadas e trouxeram diversos impactos negativos para o ambiente, foi desenvolvida uma nova abordagem para solucionar o problema.

Trata-se do conceito de tecnologias alternativas ou compensatórias de drenagem, ou seja, medidas alternativas em relação as soluções clássicas de drenagem as quais tem o propósito de “compensar” os efeitos da urbanização sobre o ciclo hidrológico (Baptista *et al.*, 2005). A compensação é realizada através do controle da drenagem excedente, de forma a evitar o deslocamento rápido das águas pluviais para jusante.

Segundo Canholi (2005), as medidas de controle podem ser divididas em estruturais e não estruturais. Esta divisão pode ser observada no fluxograma da Figura 14, demonstrando exemplos de técnicas para cada tipo de classificação.

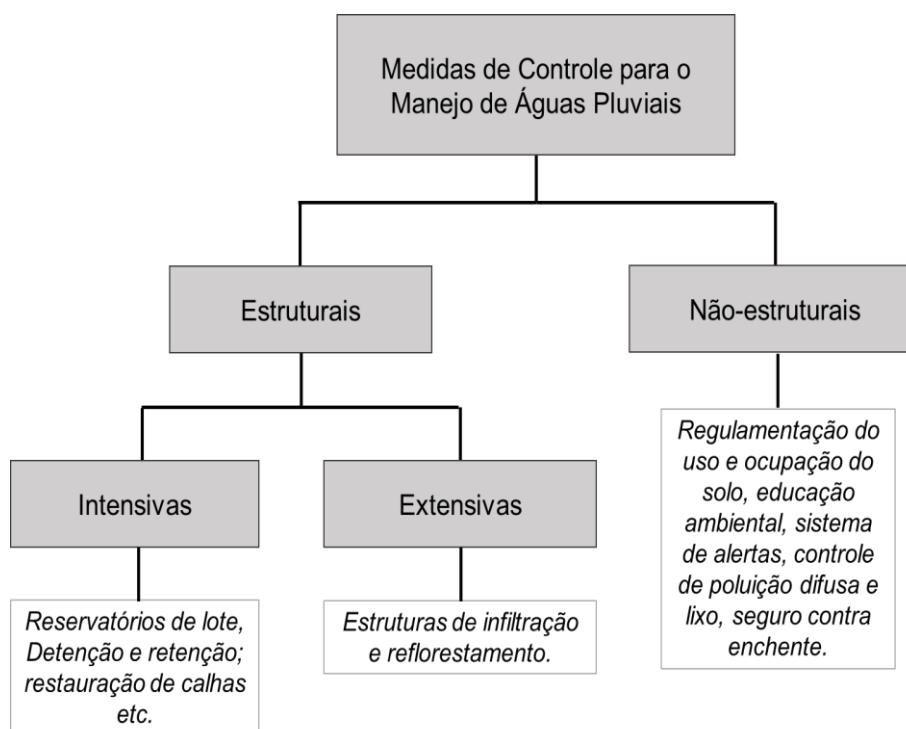


Figura 14 - Fluxograma dos tipos de medidas compensatórias

Em todo o mundo, são desenvolvidos dispositivos e técnicas que visem a execução de sistemas de drenagem mais sustentáveis, controlando as grandes vazões geradas em curto tempo e tentando resgatar as condições hidrológicas e as funções ecológicas das bacias urbanas. A evolução dos estudos na gestão de drenagem urbana acarretou, além da mitigação das inundações, a introdução da imposição de inúmeras práticas com o intuito de atrair benefícios para a área urbana. A Figura 15 apresenta este crescimento, demonstrando quais são as práticas que vem sendo implantadas ao longo do tempo e como os conceitos estão evoluindo e sendo aplicados em busca de um ambiente cada vez mais resiliente.

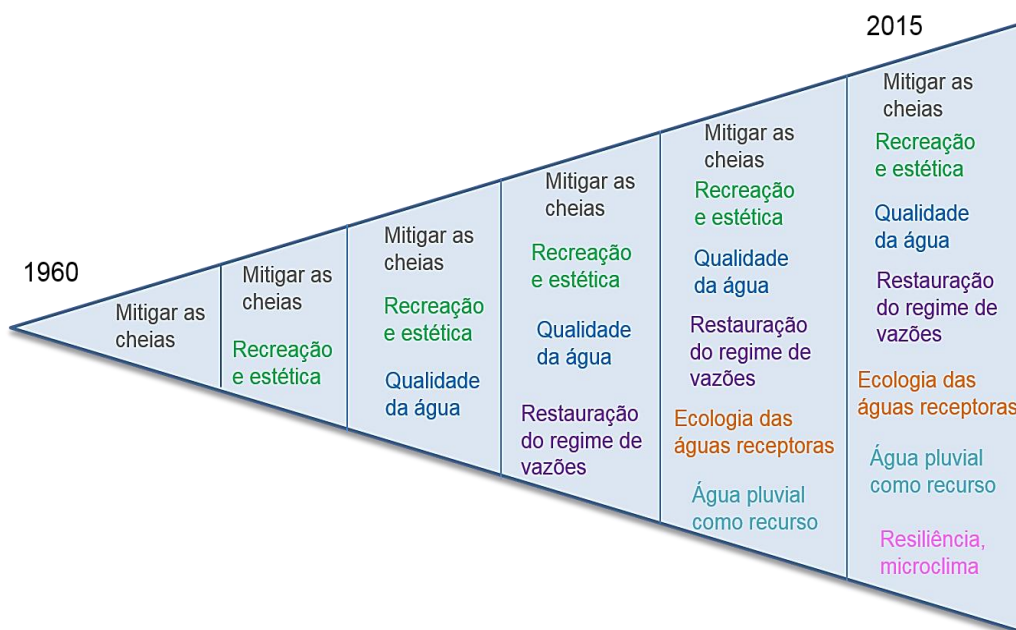


Figura 15 - Evolução da gestão sustentável de drenagem urbana

Fonte: Fletcher *et al.*, 2015 *apud* Jacob, 2015.

Nos últimos anos, foram desenvolvidas diversas propostas com abordagens relacionadas à drenagem urbana sustentável, apontando a evolução dos conceitos no que se refere à interligação da natureza com o meio urbano. No início da década de 70, na América do Norte, principalmente nos Estados Unidos e Canadá, foi implementada uma abordagem pioneira no contexto de drenagem urbana, as denominadas BPM's (*Best Management Practices*), ou seja, melhores práticas de gestão. São definidas como um conjunto planejado de ações que são implantadas para a redução dos impactos da urbanização, principalmente no que se relaciona com a dissipação da poluição, atuando medidas estruturais e não estruturais em prol

do desenvolvimento do controle de qualidade dos escoamentos. (Fletcher *et al.*, 2015).

O termo LID's (*Low Impact Development*), ou seja, desenvolvimento de baixo impacto, é bastante utilizado na América do Norte e na Nova Zelândia, o qual foi primeiramente utilizado por Barlow *et al.* em 1977 (Fletcher *et al.*, 2015). Este termo caracteriza a evolução dos BMP's, onde os projetos elaborados estão associados à paisagem multifuncional, de forma a incorporar técnicas de infiltração e armazenamento, buscando assemelhar-se as características da bacia pré-urbanizada (Fletcher *et al.*, 2015).

O termo SUD's (*Sustainable urban drainage systems*), ou seja, sistemas de drenagem sustentável, surgiu no Reino Unido na década de 80, introduzindo um sistema em que são utilizados dispositivos os quais buscam o controle de quantidade, qualidade e biodiversidade. Já o termo WSUD (*Water sensitive urban design*) começou a ser utilizado na década de 1990 na Austrália. Este sistema possui como objetivos principais o gerenciamento do balanço hídrico, a manutenção da qualidade da água, o incentivo a conservação da água e a integração da gestão sustentável das águas urbanas com a arquitetura e o paisagismo (Fletcher *et al.*, 2015).

O termo infraestrutura verde foi mencionado, pela primeira vez, em 1994, na Flórida, onde foi considerado que os sistemas naturais também são componentes da infraestrutura do meio, de forma a tornar-se importante o planejamento da conservação e restauração dos recursos naturais (Firehock, 2010). Segundo Herzog (2013) a infraestrutura verde, também denominada de infraestrutura ecológica, é um conceito que compreende a cidade como um conjunto socioecológico que integra, de forma multidisciplinar, seis sistemas: geológico, hidrológico, biológico, social, circulatório e metabólico (Herzog, 2013).

De acordo com Cormier (2008) a infraestrutura verde é uma forma de reconhecer e usufruir os serviços que a natureza pode realizar no ambiente urbano, ou seja, é um sistema de espaços abertos como parques, corredores verdes e espaços preservados dentro e ao redor de uma cidade. Com isso, cabe ao projetista planejar um sistema em que as construções e as infraestruturas estejam incluídas em espaços multifuncionais interligados a partir de corredores verdes, de forma a buscar a biodiversidade, a qualidade das águas e modificar a paisagem, buscando a adaptação das cidades para resistir as mudanças climáticas (Herzog, 2013).

A Figura 16 é uma adaptação realizada por Jacob (2015) do modelo elaborado por Fletcher *et al.* (2015), de forma a apresentar a relação entre os diversos conceitos existentes para a gestão das águas pluviais, concordando suas especificidades e o seu foco principal. A partir disto, percebe-se que todos os termos estão relacionados em prol de um objetivo comum: a preocupação do manejo integrado, quantitativo e qualitativo da água dentro do meio urbano.

Verifica-se que com o passar do tempo, os conceitos de drenagem urbana sustentável foram evoluindo e se tornando cada vez mais multidisciplinares. Pode-se dizer que os termos abordados são conjuntos pertencentes a um sistema de infraestrutura sustentável em que as escalas de aprofundamento dos conceitos durante a elaboração dos projetos dependem de diversas variáveis, como por exemplo a viabilidade de execução e os investimentos disponíveis para a realização das intervenções.

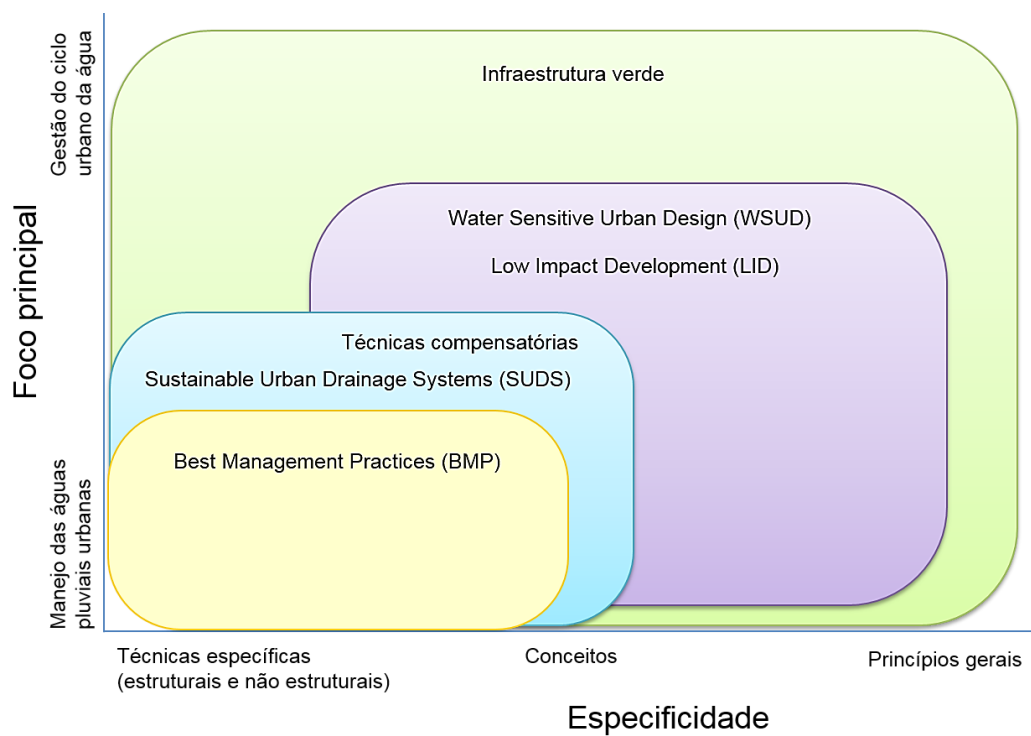


Figura 16 - Relação entre as práticas de gestão das águas pluviais

Fonte: Fletcher et al, 2015 *apud* Jacob, 2015.

3.2.1.

Medidas Estruturais

As medidas estruturais de drenagem urbana correspondem às obras que possuem como intuito principal a correção e prevenção dos impactos negativos gerados pelas inundações no ambiente urbano. Estas medidas são intensivas quando implicam a realização de quatro tipos de intervenções: obras que acelerem o escoamento, como por exemplo as canalizações; obras responsáveis por retardar o fluxo, como é o caso dos reservatórios; restauração de calhas naturais; obras que fomentem o desvio do escoamento; e a construção de diques e *polders* (Canholi, 2005).

Em contrapartida, as medidas extensivas são responsáveis por intervenções destinadas à recomposição da cobertura vegetal, ao controle de erosão e pequenos armazenamentos (Canholi, 2005). Existem diversas técnicas para a realização destas intervenções, cabe ao projetista realizar o estudo adequado para determinar quais são as melhores medidas e como aplicá-las em uma determinada bacia de estudo. A seguir serão demonstradas algumas destas medidas empregadas para minimizar as inundações, através da reservação e infiltração, de forma a trazer melhorias no âmbito quantitativo e qualitativo.

3.2.1.1.

Medidas de Reservação

As obras de reservação são medidas estruturais intensivas importantes tanto para o controle de quantidade quanto para a qualidade das águas pluviais drenadas. Desta forma, existem diversas possibilidades de reservação, dentre elas tem-se as bacias de retenção e de detenção, sendo que em algumas obras podem-se prever em um mesmo ponto do sistema, a implantação dos dois tipos de reservatórios (Canholi, 2005). Além disto, estruturas de armazenamento podem ser classificadas quanto à sua localização em relação ao curso d'água. Podem ser reservatórios *on-line* (em série) ou *off-line* (em paralelo), conforme demonstrado na Figura 17.

Ademais, os dispositivos utilizados para a reservação de águas pluviais também podem ser classificados como contenção na fonte, onde são implantados

dispositivos de menores dimensões, próximos aos locais de geração dos escoamentos, e contenção de jusante, responsáveis pela implementação de reservatórios de maior porte capazes de armazenar as águas drenadas correspondentes a partes significativas da bacia (Rezende, 2010).

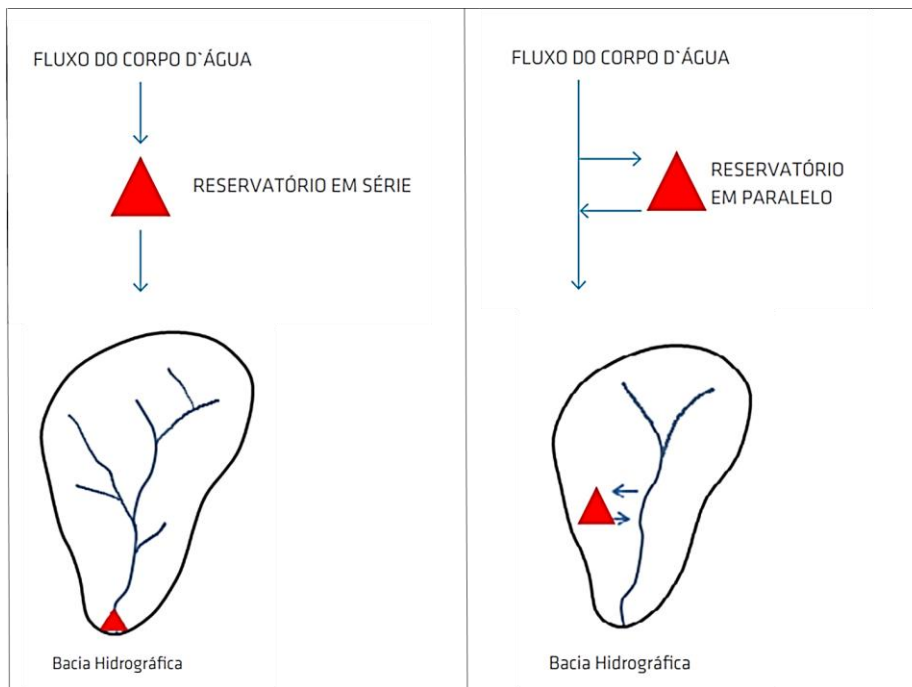


Figura 17 - Reservatórios *on-line* e *off-line*

Fonte: Soluções para cidades, 2013.

▪ **Bacias de Retenção**

As bacias de retenção são reservatórios de superfície, as quais possuem um espelho d'água permanente, podendo servir para meios de recreação, paisagismo, abastecimento de água e entre outras finalidades. Além disso, após as precipitações, o nível d'água tende a elevar-se, funcionando como uma bacia de amortecimento para o controle quantitativo (Canholi, 2005).

Ademais, também podem ser estruturadas bacias de retenção com a função qualitativa como objetivo principal, sendo secundários os objetivos quantitativos. Neste caso, podem ser realizadas bacias de retenção em áreas úmidas conjuntamente com medidas extensivas de infiltração e, desta forma, permite-se a realização de processos de tratamento das águas antes destes desaguiarem no corpo receptor final (Rezende, 2010). Um exemplo pode ser observado na ilustração da

Figura 18, em que Rezende (2010) apresenta a bacia de retenção de Lagord, região de Poitou-Charentes na França.



Figura 18 - Bacia de retenção na cidade de Lagord, França

Fonte: Rezende, 2010.

As zonas úmidas, também denominadas de *wetlands* são componentes frágeis de uma bacia hidrográfica, as quais podem estar úmidas permanentemente ou em apenas algumas ocasiões, estando inundadas ou saturadas por águas superficiais ou subterrâneas (EPA, 2002). Estas zonas são cruciais para manter a qualidade das águas e proporcionar um habitat para uma vasta gama de animais e vegetais.

Com a intensa urbanização, estas áreas acabaram sendo impermeabilizadas ou utilizadas para a agricultura. Desta forma, atualmente, tem-se realizado diversos projetos impulsionadores da preservação dos meios úmidos, além da restauração, criação e aprimoramento de zonas úmidas, demonstrando a importância destas para os ecossistemas terrestres e toda a sociedade (EPA, 2003). Com isto, ao realizar-se intervenções em locais que contém zonas úmidas, devem ser considerados os conceitos de *wetlands* para a preservação destas áreas, investindo na implantação de bacias de retenção natural.

Um exemplo de projeto que restaurou ambientes propícios às inundações foram os parques projetados por Frederick Law Olmsted. O *Emerald Necklace system*, criado nas décadas de 1880 e 1890, interconectou parques e transformou as áreas de *Back Bay* e do rio Muddy, em Boston, nos Estados Unidos (Eisenman,

2013). Estas áreas foram restauradas através de um projeto que visou o controle de inundações, a qualidade da água, a restauração do habitat, além da valorização e a preservação histórica do local (Gershwin, 2015).

A questão das inundações foi uma das principais abordagens para a implementação do projeto, tendo em vista que a ocorrência das chuvas intensas geralmente associava-se aos níveis de maré alta, ocasionando inundações nas áreas de baixada. Para solucionar este problema, Olmsted propôs transformar *Back Bay* em um parque público com a construção de uma *wetland*, cuja principal característica era uma bacia do armazenamento para as águas, além de uma melhoria sanitária (Eisenman, 2013). A Figura 19 ilustra a bacia de retenção em *Back Bay*, anos após as intervenções.



Figura 19 - Reservação das águas em Back Bay Fens, Boston, EUA

Fonte: Eisenman, 2013.

▪ **Bacias de Detenção**

As Bacias de Detenção são áreas destinadas para a retenção das águas superficiais durante o período chuvoso e normalmente encontram-se secas durante o período de estiagem. Possui como finalidade principal o controle de quantidade das águas pluviais urbanas e a redução da poluição difusa (Canholi, 2005). Em suma, os reservatórios de detenção armazenam, temporariamente, uma determinada vazão de águas pluviais e estas são destinadas as redes de drenagem a partir de um

dispositivo de esgotamento o qual escoas estas águas em um tempo mais curto, ocasionando em menores vazões nas redes durante a ocorrência do evento chuvoso.

Verifica-se que o amortecimento das águas drenadas por bacias de detenção é satisfatório a partir da comparação de hidrogramas em cenários anteriores e posteriores às intervenções. Após a implantação de uma estrutura de detenção, o hidrograma da bacia em análise tende a reduzir sua vazão de pico, da mesma forma que ocorre um retardo do tempo de pico, assemelhando-se ao hidrograma do local antes das modificações ocasionadas pela urbanização. A Figura 20 demonstra hidrogramas hipotéticos de uma bacia nos momentos anteriores ao desenvolvimento das cidades, após a urbanização e posterior à implantação de medidas de controle como os reservatórios de detenção.

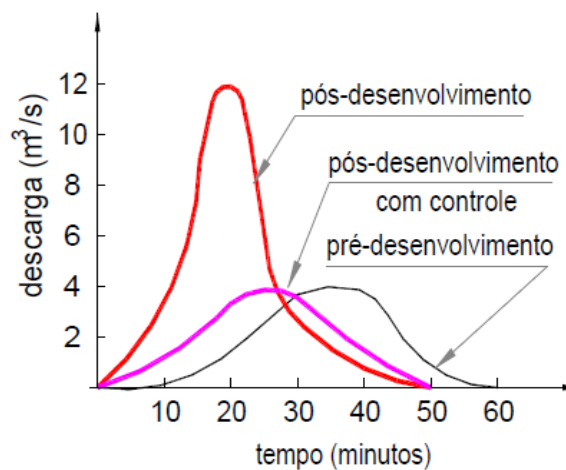


Figura 20 - Hidrogramas hipotéticos de uma bacia

Fonte: Gomes, 2005.

O volume de armazenamento pode ser calculado a partir de um processo iterativo que envolve a diferença acumulada entre o hidrograma afluente e o hidrograma efluente da bacia de detenção, levando em consideração a capacidade de drenagem do sistema a jusante (Raudkivi, 1979 *apud* Franco, 2004). Para o cálculo de um reservatório de detenção para o controle de cheias existem diversas formas para o dimensionamento.

Para a elaboração do hidrograma afluente diversos modelos de transformação chuva-vazão podem ser utilizados, como o método racional, o método Santa Bárbara, o hidrograma unitário triangular e entre outros, lembrando que a área de contribuição da bacia influencia diretamente na escolha do método. Para o início do

projeto de um reservatório de retenção é realizado um dimensionamento preliminar, onde se estima o volume do reservatório em função da área ocupada pelo mesmo, a profundidade de média, a relação custo-benefício e o tipo de seção a ser utilizada, podendo ser retangular, trapezoidal ou circular (Tomaz, 2002). A partir disto, iniciam-se as etapas de cálculo para a definição dos hidrogramas de saída.

Os hidrogramas efluentes são calculados a partir de algumas variáveis dependentes como o volume pré-determinado de armazenamento, o tipo de estrutura hidráulica de controle de vazão, além das restrições referentes ao escoamento a jusante (Franco, 2004). Os principais dispositivos de controle da vazão de saída são os vertedores e os orifícios de descarga, nos casos em que o esgotamento do reservatório ocorra por gravidade. Usualmente, adiciona-se um vertedor de emergência como um dispositivo de segurança calculado para eventos extremos (Míguez *et al.*, 2016).

Um orifício no sentido hidráulico é definido como uma abertura localizada na parede ou no fundo da estrutura responsável pela saída do escoamento armazenado, de forma a manter o contorno submerso (Lencastre, 1983 *apud* Tomaz, 2002). Esta estrutura pode possuir qualquer formato, com isso, a descarga do orifício para qualquer seção pode ser determinada a partir da seguinte equação:

$$Q_o = (k_o A_o \sqrt{2gh_o}) \quad (3.1)$$

Onde Q_o é a vazão de descarga (m^3/s); A_o é a área da seção transversal do orifício (m^2); g é a aceleração da gravidade (m/s^2); h_o é a altura da água sobre a geratriz superior da tubulação ou galeria (m); e k_o o coeficiente de descarga do orifício (adimensional).

Já os vertedores são dispositivos empregados para o escoamento de grandes vazões, ademais de funcionar para cargas diferentes de projeto. Conforme Akan (1993) *apud* Tomaz (2002) o vertedor de soleira normal pode ser dimensionado da seguinte forma:

$$Q_v = \left(k_v L_o \sqrt{2g} h_v^{\frac{3}{2}} \right) \quad (3.2)$$

Onde Q_v é a vazão de descarga (m^3/s); L_o é o comprimento da crista do vertedor (m); g é a aceleração da gravidade (m/s^2); h_v é a lâmina d'água sobre a crista (m); e k_v é o coeficiente de vazão (adimensional).

A Figura 21 apresenta um esquema que demonstra o funcionamento de um reservatório, onde Q_a é a vazão afluyente e Q_e a vazão efluente, sendo esta última o somatório entre as vazões Q_{e1} , referente ao vertedor de emergência e Q_{e2} relacionada ao orifício de fundo.

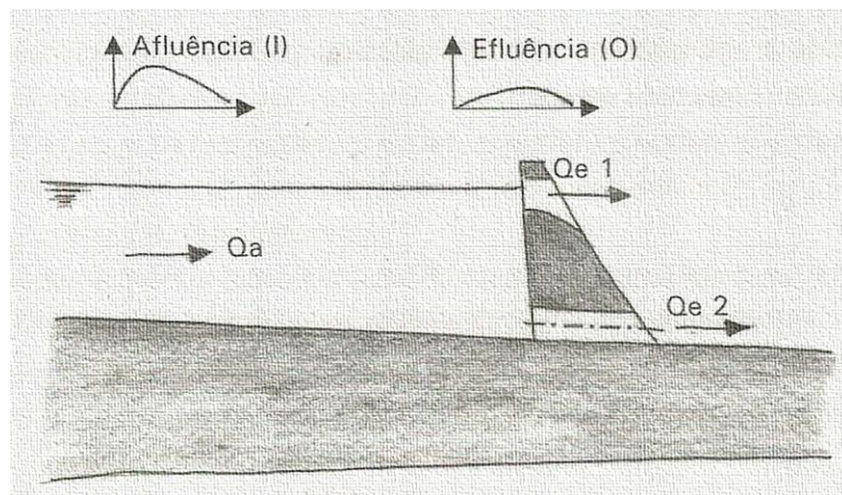


Figura 21 - Esquema do funcionamento de um reservatório

Fonte: Miguez *et al.*, 2016.

Após o pré-dimensionamento do volume e dos dispositivos de controle, segundo Akan (1993) *apud* Tomaz (2002) pode ser representada a curva cota-volume dos reservatórios através da expressão:

$$S = b \cdot h^c \quad (3.3)$$

Onde S corresponde ao volume do reservatório; h é a lâmina d'água sobre a saída; e b , c são os parâmetros que dependem da forma do reservatório.

Nos casos em que a topografia não permitir a descarga por gravidade, o esgotamento do reservatório deverá ocorrer por bombeamento, com a utilização de equipamentos eletromecânicos. Deverão ser previstas bombas para executar a descarga, geralmente a partir de 2 horas após o reservatório atingir um determinado nível, não correspondente ao máximo. É recomendável que as bombas sejam acionadas por um *timer* de forma a descarregar todo volume em aproximadamente

5 horas de funcionamento, salvo condições específicas. A alimentação e o extravasor do reservatório sempre deverão estar em cota superior à cota do deságue no sistema público.

Dentre os métodos utilizados para o dimensionamento de estruturas de armazenamento para o amortecimento de cheias tem-se os métodos simplificados, os quais abrangem o método dos volumes e o método das chuvas, e os métodos fundamentados a partir de modelos conceituais, como é o caso do método de Puls. A diferença entre eles está na complexidade e nos resultados fornecidos (Baptista *et al.*, 2005).

Os métodos simplificados possibilitam calcular o volume das obras baseando-se no fato de que a vazão efluente é constante. Para o dimensionamento de estruturas de armazenamento, o método das chuvas transforma as intensidades das chuvas, analisadas a partir da equação IDF local, em alturas, sendo esta última desenvolvida a partir do produto entre a duração do evento e a intensidade (Baptista *et al.*, 2005).

Desta forma, determina-se a curva PDF (Precipitação-Duração-Frequência) para o período de retorno determinado e a curva que representa a evolução das águas evacuadas no tempo. A partir destas, determina-se a altura máxima de armazenamento para que não haja transbordamento, além do tempo de funcionamento e esvaziamento. Já o método dos volumes, baseia-se nas alturas pluviais acumuladas por ano, a partir disto são determinados os valores de altura específica, o volume a armazenar e as estimativas de tempo de funcionamento e esvaziamento (Baptista *et al.*, 2005).

Conforme Chin (2000) *apud* Tomaz (2002) o método de Puls é o mais indicado para calcular o *routing* do reservatório. *Routing* é definido como um processo pelo qual se determina, no espaço e no tempo, as variações de vazão no decorrer de um curso d'água. Para o caso do dimensionamento de um reservatório de detenção, utiliza-se o modelo do *routing* hidrológico, determinado como o método de armazenamento.

O método de Puls é adaptado para a elaboração de uma grande gama de projetos, por ser um modelo conceitual, busca representar de uma forma global o comportamento do sistema em estudo. Para o desenvolvimento do método, utiliza-se a equação da continuidade, a qual traduz o princípio da conservação da massa, como descrito na equação 3.4.

$$\frac{dS}{dt} = Q_a - Q_e \quad (3.4)$$

Sendo dS/dt a variação de volume do reservatório em um dado intervalo de tempo, Q_e a vazão na saída (efluente) e Q_a a vazão na entrada (afluente).

Com isto, para o j -ésimo intervalo, a equação 3.5 pode ser escrita na forma de diferenças finitas e rearranjada da seguinte maneira:

$$I_{j+1} + I_j + \left(\frac{2S_j}{2} dt - Q_n \right) = \left(\frac{2S_{j+1}}{2} + Q_{j+1} \right) \quad (3.5)$$

Os valores de I_{j+1} , I_j , Q_n e S_j são conhecidos, para qualquer tempo “ t ”, enquanto que os valores Q_{j+1} e S_{j+1} são desconhecidos. Desta forma, deve-se utilizar uma equação capaz de associar o armazenamento S_{j+1} à descarga, a expressão 3.4 é a referência para encontrar a incógnita. (Fonseca, 2008).

Sendo assim, os procedimentos descritos são a base para o dimensionamento de um reservatório de detenção. Na Figura 22, é demonstrado, resumidamente, os passos para a realização dos cálculos necessários para a implantação de um projeto deste tipo de estrutura, sempre em prol de resultados eficientes para o amortecimento de cheias.

Além disso, atualmente, os projetos de reservatórios de detenção para o amortecimento de cheias estão vinculados a uma proposta urbanística, de forma a permitir o uso múltiplo a partir de atividades de lazer e recreação, valorizando o espaço urbano. Para a escolha dos equipamentos complementares deve-se levar em consideração a área disponível para estes fins além dos interesses da população usuária, sendo requerido um estudo preliminar da ocupação urbana predominante no local determinado para o projeto.

A Figura 23 demonstra um exemplo recente da implantação de um reservatório de detenção, com a inclusão de elementos urbanísticos e atividades de lazer, na cidade do Rio de Janeiro. Esta imagem ilustra a concepção final da instalação do reservatório na Praça Niterói, na área da Grande Tijuca, local que durante inúmeros anos vem sofrendo com fortes inundações durante eventos de chuvas intensas. O reservatório de amortecimento de cheias da Praça Niterói é constituído por 3

células, com volume total de 58.000m³ e foi projetado visando amortecer o pico do hidrograma do rio Joana e de uma parcela de vazão do rio Maracanã, através de galeria a ser construída pela rua Felipe Camarão.

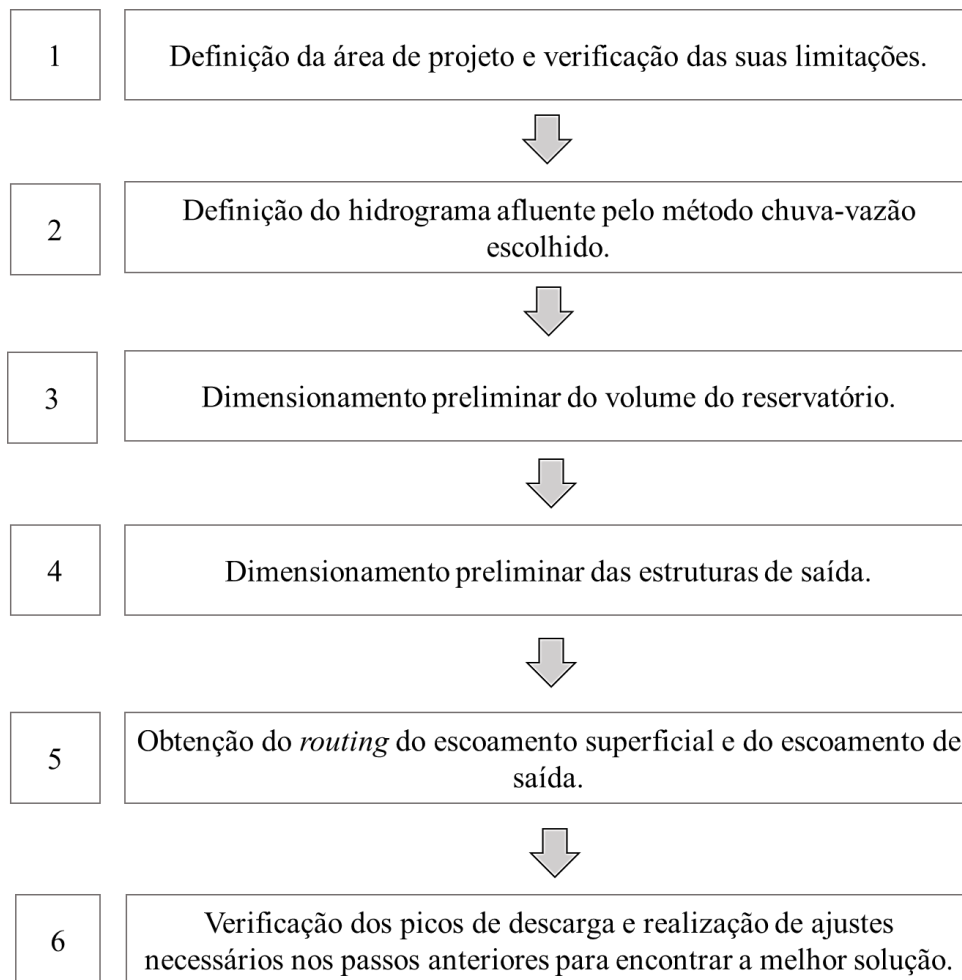


Figura 22 - Procedimentos para cálculo de um reservatório de detenção

Fonte: Adaptado de Tomaz (2002).

Durante estruturação de um projeto desta magnitude, devem ser empregados instrumentos de planejamento e gestão integrados a elaboração de planos setoriais para minimizar a existência de conflitos de uso do solo urbano (Baptista *et al.*, 2005). Diversos fatores devem ser pensados para a inserção do reservatório de detenção em áreas já urbanizadas, de forma a minimizar as perturbações na área, principalmente a dispersão da poluição tanto a difusa quanto a provinda de esgotos, devido a carência de saneamento em algumas regiões.



Figura 23 - Fins múltiplos de um reservatório de detenção

Fonte: Santos, 2016.

A contaminação das águas pluviais gera odores e estimula o desenvolvimento de vetores de doenças. Ademais, os resíduos sólidos podem ocasionar obstruções nos dispositivos de descarga, pondo em risco o funcionamento das bacias de detenção. Desta forma, devem ser corrigidas as interconexões indevidas entre as redes de esgotamento sanitário e pluvial, além de estabelecer o compromisso do aprimoramento da coleta de lixo e de ações de limpeza urbana, acoplada a políticas de educação ambiental (Baptista *et al.*, 2005).

Sendo assim, a realização deste tipo de intervenção impõe uma grande melhoria dentro do contexto urbano, minimizando a poluição hídrica, aumentando a segurança local em termos quantitativos do amortecimento de cheias e trazendo o uso múltiplo do espaço urbano. Ressalta-se que a informação ao público e a manutenção das estruturas implantadas são de extrema importância. Para manter a população informada, cabe a inclusão de painéis junto às bacias de detenção explicando, de forma breve, suas funções e seu funcionamento, bem como informações referentes à segurança. Além de evitar danos, estas ações estimulam e conscientizam a população a utilizar práticas de resiliência.

É evidente que o sucesso destes sistemas de reservação e amortecimento implicam na manutenção e operação frequente dos reservatórios. Com isso, as estruturas devem estar em boas condições e garantindo o funcionamento hidráulico, ademais, devem ser evitadas a infestação de insetos e preservadas as utilizações

múltiplas (Tomaz, 2002). Conforme Canholi (2005) para a elaboração do projeto devem ser consideradas, no mínimo as seguintes considerações:

- Instalar alambrados, caso o período de detenção for longo, principalmente se existir acesso às crianças;
- Instalar guard-rails ou barreiras tipo *New Jersey*, caso o reservatório seja escavado lateralmente as pistas de tráfego e em cota bastante inferior às vias;
- Prever acesso no fundo do reservatório e especialmente às estruturas de entrada e saída através de rampas para o tráfego de caminhões;
- Em áreas planas para recreação, prever sistemas de drenagem sub-superficial;
- Em reservatórios subterrâneos, prever acessos para a limpeza mecanizada, além de sistemas de ventilação e iluminação;
- Prever nas bacias de detenção volume de espera para sedimentos, afim de reduzir a periodicidade da limpeza.
- As grades e cercas junto aos dispositivos de saída podem acumular detritos, prejudicando a operação hidráulica. Deve-se ter manutenção frequente nestes pontos, além da opção do projetista pela inserção de taludes íngremes e/ou áreas isoladas por vegetação.

▪ **Reservação em lotes**

A reservação em lotes é uma estratégia de contenção na fonte que visa controlar a vazão de águas pluviais que se destinam as redes pluviais urbanas. Ou seja, a partir da técnica de acumulação das águas pluviais, provenientes do escoamento dos telhados, é possível retardar o escoamento destas águas para a rede pluvial, e desta forma diminuir a vazão na rede durante o evento chuvoso. Com isso, minimiza a propensão a inundações através da retenção temporária de águas pluviais em reservatórios especialmente criados com essa finalidade.

Na cidade do Rio de Janeiro, foi estabelecido o decreto n° 23940/2004, o qual torna obrigatório, nos casos previstos, a adoção de reservatórios que permitam o retardo do escoamento das águas pluviais para a rede de drenagem. Este decreto

também considera a possibilidade do reaproveitamento das águas pluviais para usos não potáveis como a irrigação, lavagem de automóveis e entre outras atividades.

De acordo com este decreto, se faz obrigatória a construção de reservatórios nos empreendimentos que tenham área impermeabilizada superior a quinhentos metros quadrados. A Figura 24 exemplifica um esquema do sistema de retenção de águas pluviais em lotes, demonstrando a captação e o armazenamento, em cada residência, até chegar a rede pluvial de destino.

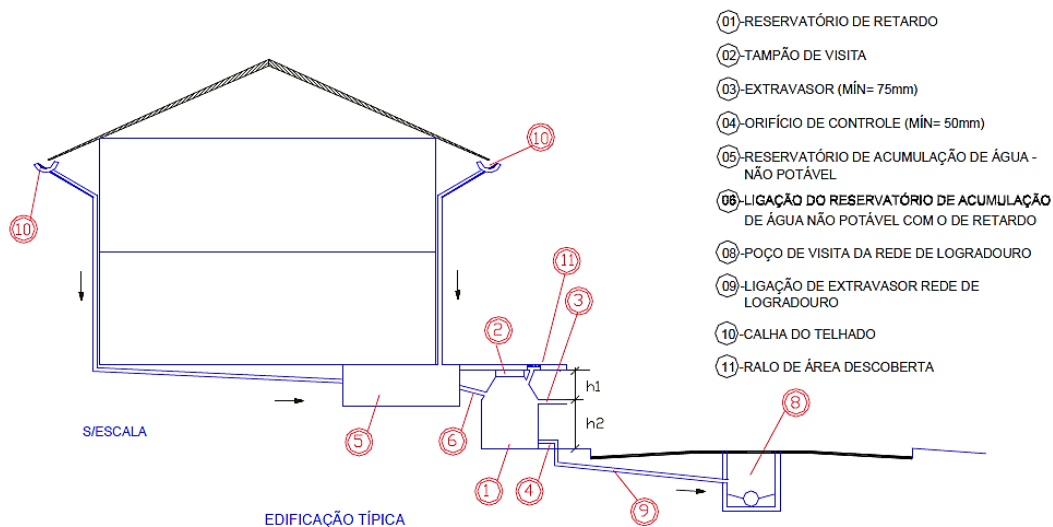


Figura 24 - Esquema de um sistema de retenção de águas pluviais em lotes

Fonte: Rio Águas (2008) *apud* Fonseca (2008).

A capacidade do reservatório deverá ser calculada com base na equação 3.6 regulamentada pelo decreto 23940/2004.

$$V = k A_i h \quad (3.6)$$

Onde V é o volume do reservatório (m^3); k é o coeficiente de abatimento correspondente a 0,15; A_i é a área impermeabilizada (m^2); h é a altura da chuva, em metros, conforme a área de planejamento do local.

As águas armazenadas no reservatório são destinadas para a rede pública de drenagem, por gravidade ou através de bombas, após uma hora de chuva ou ser conduzida para outro reservatório para fins não potáveis. Recordando que sempre

devem ser atendidas as normas sanitárias vigentes e as condições técnicas determinadas pelo órgão municipal responsável.

A partir disso, percebe-se que as medidas de reservação contribuem de forma positiva para o manejo de águas pluviais de uma região. A Tabela 1 determina as principais diferenças entre a implantação de medidas de canalização e reservação. Com isso, constata-se que a canalização, frequentemente introduzida nos sistemas de drenagem convencionais, trazem impactos negativos relacionados aos aspectos quantitativos, enquanto que medidas de reservação, quando corretamente projetadas, reduzem os picos de vazão dos hidrogramas e trazem resultados qualitativos para o sistema pluvial.

Tabela 1 - Diferenças entre Canalização e Reservação

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

Fonte: Canholi, 2005.

3.2.1.2.

Medidas de Infiltração

Com o passar dos anos diversos dispositivos de infiltração foram sendo desenvolvidos para o controle na fonte das águas pluviais. Este tipo de medida tem como objetivo reduzir o volume de chuva excedente a partir da penetração das águas nos espaços vazios existentes no solo ou na estrutura de controle, de forma a ocorrer o armazenamento temporário levando a infiltração e percolação das águas no solo (Gomes, 2005).

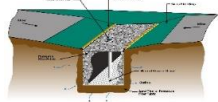



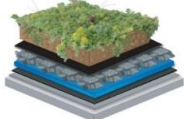
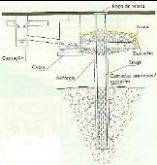
Em geral, a utilização destas técnicas se faz presente nos locais onde os escoamentos são gerados, obtendo-se o controle na fonte, de forma a permitir o melhor aproveitamento da condução do fluxo a jusante. O processo de infiltração ocorre com a introdução da água pluvial no solo, verticalmente, a partir da superfície, já a percolação é o movimento descendente da água conforme a gravidade, contribuindo para a recarga do lençol freático (Gomes, 2005).

Para a obtenção dos parâmetros necessários para o cálculo devem ser realizados ensaios de campo a partir do uso de infiltrômetro. Os procedimentos para estimar a capacidade de percolação do solo estão descritos no anexo A da NBR 13969/97. A Embrapa (2004) publicou um relatório, o qual demonstra o mapeamento pedológico e interpretações úteis ao planejamento ambiental do município do Rio de Janeiro, de forma a atribuir as classes e parâmetros do solo das áreas inseridas no município.

De acordo com Nakamura (1988) *apud* Canholi (2005) os dispositivos de infiltração podem ser classificados em dois grupos, os métodos dispersivos, em que há a infiltração da água superficial no solo, e os métodos em poços, onde ocorre a recarga do lençol freático. O Quadro 12 dispõe sobre alguns dos tipos de dispositivos de infiltração, descrevendo-os e demonstrando suas principais finalidades.

Os dispositivos de infiltração são tipologias de infraestrutura verde, de forma que estas técnicas se interligam com as medidas de reservação e integram os sistemas de maneira que o meio ambiente e a sociedade possam conviver mutuamente de forma qualitativa dentro do espaço urbano.

Quadro 12 - Tipo de dispositivos de infiltração

Dispositivo	Imagem	Descrição	Finalidade	Fonte
Trincheira de Infiltração		Estrutura formada por uma vala escavada, preenchida com material granular, de forma a captar pequeno volume de águas pluviais a infiltrar no solo.	Estruturas longitudinais construídas para captar as águas pluviais, provenientes do escoamento superficial, e facilitar sua infiltração.	Sousa (2012)
Valetas de infiltração / Biovaletas		Jardins lineares preenchidos por vegetação, em cotas mais baixas ao longo de vias e em áreas de estacionamentos.	Favorecem a infiltração e filtram os poluentes trazidos pelo escoamento superficial ao longo de seu substrato e da vegetação. Realiza-se manutenção para a retirada do material acumulado.	Herzog (2010)
Jardins de Chuva		São jardins em cotas mais baixas que recebem as águas da chuva de superfícies impermeáveis adjacentes.	Causam a redução, retenção, infiltração e filtragem de água, diminuindo o escoamento superficial e aumentando a evapo-transpiração.	Comier (2008)
Pavimentos Porosos		Consiste de um pavimento de asfalto ou concreto onde foram retirados os agregados mais finos. Existem diversas variações de pavimento poroso.	O pavimento reduz a área impermeável e sua principal aplicação é em estacionamento de veículos, mas pode ser aplicado em pátios, playgrounds, etc.	Tomaz (2009)
Telhado Verde		Estrutura utilizada na cobertura da edificação composta por vegetação e camadas capazes de filtrar e reservar temporariamente as águas pluviais.	Dentre as vantagens temos: conforto térmico, melhor qualidade do ar, contribuição paisagística, redução de ruídos externos, redução do escoamento superficial e aproveitamento das águas pluviais.	Nunes (2017) e Boni (2015)
Poços de Infiltração		Estrutura de infiltração e reservação de águas pluviais. Implantados em locais onde o espaço para medidas dispersivas é restrito.	Reduz os picos de cheia a jusante. Existem diversas metodologias de execução. Para a operação verificar se o NA é suficientemente baixo e se o tipo de solo é adequado.	Canholi (2005) e Nunes (2017)

3.2.2.

Medidas Não Estruturais

As medidas não estruturais possuem papel fundamental para a minimização dos riscos de enchentes, pois estas são responsáveis pela provisão legal e o planejamento físico das áreas afetadas (Alves, 2005). Para a gestão da bacia hidrográfica, são necessários métodos de controle que envolvem a aplicação de leis e regulamentos juntamente com o planejamento estratégico do uso e ocupação do solo, programas de informação e educação ambiental, além da implantação de sistemas de alerta nas áreas sujeitas a inundações (Gomes, 2005). A seguir são descritas e especificadas algumas das medidas não estruturais responsáveis por minimizar os impactos gerados na ocorrência de chuvas intensas.

- Programa de regulamentação do uso do solo

Devem ser seguidas as legislações que regem o zoneamento do solo urbano, levando em consideração as restrições que protegem áreas de risco. A Lei 6766/79 que dispõe sobre o parcelamento do solo urbano, veda a aprovação de projeto de loteamento e desmembramento em áreas de risco definidas como não edificáveis, no plano diretor ou em legislação dele derivada. No que se refere a terrenos alagadiços e inundáveis, a referida lei não permite o parcelamento do solo antes de tomadas as providências para assegurar o escoamento das águas, assim como não autoriza o parcelamento em terrenos com declividade igual ou superior a 30%, salvo se atendidas exigências específicas das autoridades competentes.

Para a realização de novos projetos, deve-se estar atento às restrições da área. Atualmente, há diversas áreas de risco que estão ocupadas, em localidades que possuem déficits e restrições no sistema de drenagem, nas quais o crescimento urbano causa impactos negativos para o sistema. Desta forma, especial atenção às áreas com susceptibilidade de riscos de enchentes e de deslizamentos é de fundamental importância, nos quais sistemas de monitoramento e alerta devem ser contemplados, além de elaboração de projetos capazes de minimizar os impactos advindos de eventos de chuvas intensas.

Na cidade do Rio de Janeiro, a Fundação Geo-Rio publicou, em janeiro de 2011, um mapeamento geotécnico o qual estabeleceu que cerca de 18 mil imóveis

em 117 comunidades da cidade estão em áreas consideradas de alto risco (Prefeitura do Rio de Janeiro, 2013). Também são desenvolvidos na cidade planos diretores de manejo de águas pluviais para diversas bacias da cidade, com o intuito de apontar as áreas de inundação e estabelecer propostas para reduzir os impactos gerados.

- Sistemas de monitoramento e alerta

Essas medidas são essenciais para a proteção dos cidadãos, pois é a partir do monitoramento e dos sistemas de alerta que a população pode receber informações e evitar transtornos durante períodos de urgência, como no caso de chuvas muito intensas que atingem um alto nível de precipitação. O monitoramento durante o período chuvoso é realizado a partir da verificação de dados meteorológicos a partir de pluviômetros e pluviógrafos, em tempo real, distribuídos em pontos estratégicos. Estes dados são transmitidos para um centro de análise onde podem ser estimados as alturas pluviométricas locais (Gomes, 2005). Com os dados apurados é possível a distribuição de informações e acionamento de alarmes para minimizar transtornos e perdas durante enchentes.

Na cidade do Rio de Janeiro, o Alerta Rio é o órgão responsável para a previsão meteorológica e para o monitoramento das chuvas. O sistema tem como o objetivo emitir boletins de alerta à população sempre que houver previsão de chuvas intensas que possam gerar inundações de vias públicas ou deslizamentos em encostas. Para isto, são definidos estágios, os quais indicam a probabilidade de ocorrência de chuvas intensas (Alerta Rio, 2017).

As condições de chuvas possuem estágios de normalidade, onde há previsão de chuva fraca a moderada; de atenção, em que ocorre a previsão de chuva moderada, ocasionalmente forte, podendo causar alagamentos e deslizamentos isolados, além de transtornos pontuais que podem provocar reflexos na mobilidade urbana; e de crise, onde a previsão é de chuva forte, podendo causar múltiplos alagamentos, deslizamentos e transtornos generalizados. Já a probabilidade de ocorrência de escorregamentos é dividida em probabilidade baixa, média, alta ou muito alta (Alerta Rio, 2017).

Durante o estágio de atenção a informação é disseminada aos integrantes do sistema (Agentes Comunitários de Saúde, Líderes Comunitários e Agentes Públicos), alertando para a possibilidade de ocorrência de chuva moderada ou forte.

Além disso, os dados estão disponíveis online para os cidadãos. A Defesa Civil e a Fundação Geo Rio são responsáveis pelo monitoramento de áreas de alto risco, desta forma, controlam um sistema de alarme por sirenes em 103 comunidades. Quando a intensidade da chuva atinge um limite pré-estabelecido, a sirene é acionada informando os moradores sobre o risco de deslizamentos e solicitando que estes se dirijam para pontos de apoio, locais seguros definidos previamente pelos moradores (escolas, igrejas, escolas de samba etc.) (Prefeitura do Rio de Janeiro, 2013).

Além disso, o Rio de Janeiro conta com o Centro de Operações do Rio, o qual integra diversos órgãos municipais e concessionárias com o objetivo de monitorar e otimizar o funcionamento da cidade, antecipando soluções e reduzindo danos, de forma a alertar os setores responsáveis sobre os riscos e as medidas urgentes que necessitam ser tomadas em casos de emergência. O centro integra todas as etapas de um gerenciamento de crise, desde a antecipação, mitigação e preparação, até a resposta imediata aos eventos e realimentação do sistema com informações inéditas as quais podem ser úteis em casos futuros. (Prefeitura do Rio de Janeiro, 2013).

O COR funciona diariamente, vinte e quatro horas por dia, e possui além da equipe de monitoramento, áreas voltadas para a resiliência, tecnologia e infraestrutura. Com os jogos olímpicos de 2016 o COR identificou a necessidade de criação de uma equipe específica para o evento, aumentando os esforços em planejamento e monitoramento (Hands, 2016).

- Programa de Informação e Educação Ambiental

Os moradores e usuários das áreas suscetíveis a inundações devem estar capacitados sobre como agir em situações de alerta e em como empregar medidas para a redução dos riscos. Desta forma é de essencial importância a implantação de programas comunitários para trazer informações para a população que vive em regiões vulneráveis às enchentes. Nestes programas é interessante a promoção de palestras informativas sobre a importância da preservação do meio ambiente, além da orientação e a distribuição de equipamentos necessários para as situações de alerta.

A Figura 25 apresenta, resumidamente, as principais ações que devem ser realizadas para estabelecer um sistema estratégico funcional para minimizar os

impactos gerados na ocorrência de chuvas intensas. Neste esquema, são descritas as etapas que devem ser realizadas para um monitoramento satisfatório, e são descritas ações que podem ser efetuadas para a redução dos riscos, trazendo consequências positivas para o processo de monitoramento.

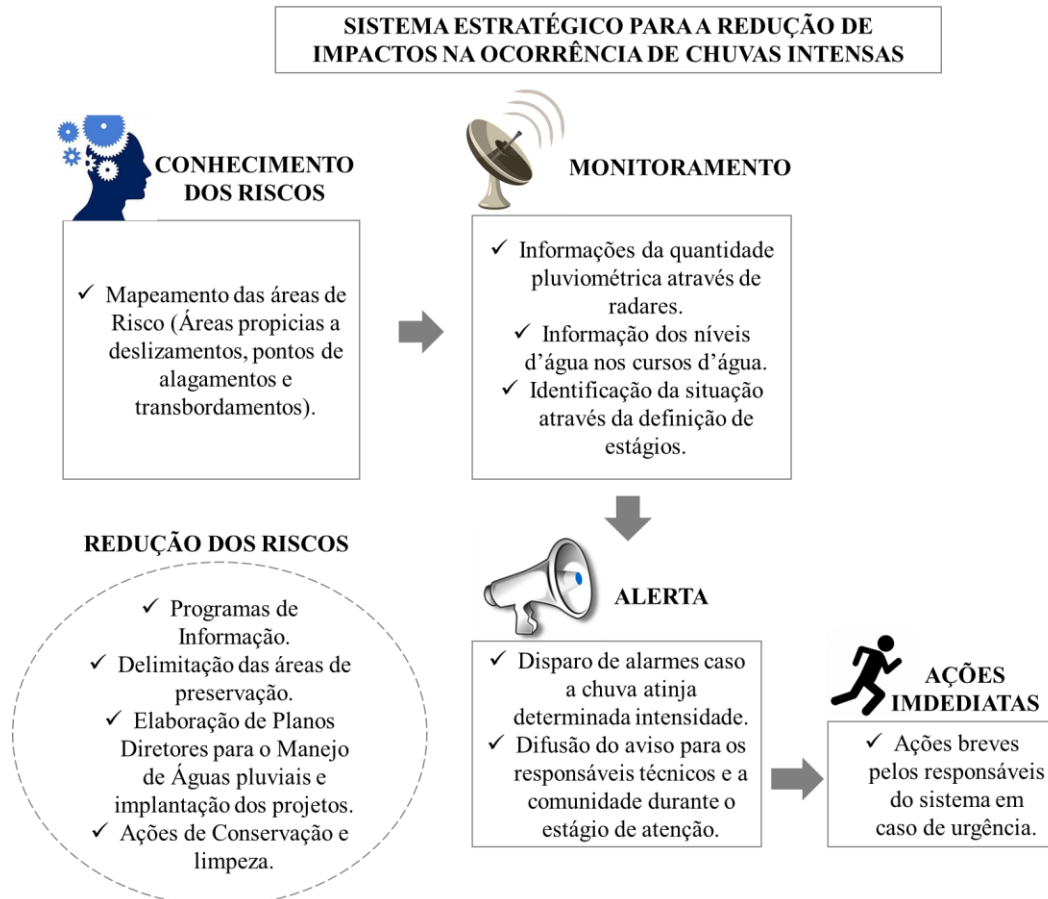


Figura 25 - Sistema para a redução dos riscos na ocorrência de chuvas intensas

3.3.

Valorização dos cursos d'água

Como já abordado anteriormente, a drenagem urbana sustentável tem como principal princípio a integração do meio urbano com a natureza. A valorização dos cursos d'água é parte integrante no planejamento de projetos que visam realçar os meios hídricos de forma a implementar medidas de controle e desenvolver um ambiente agradável para a sociedade. De acordo com Friedrich (2007) existem diversos conceitos e estratégias utilizados para a realização de intervenções nas

áreas constituídas de cursos d'água. Dentre alguns destes conceitos tem-se a valorização, a recuperação ou restauro, a preservação ou conservação e as mitigações.

Segundo Saraiva (1999) *apud* Friedrich (2007), o conceito de valorização está associado à interação dos cursos d'água, que representam espaços de caráter natural, com os parques, zonas verdes, áreas abertas e espaços recreativos. A partir disto, utiliza-se os conceitos de recuperação ou conservação para mitigar as áreas hídricas degradadas dentro do contexto urbano. Logo, entende-se como relevante a busca pelo desenvolvimento de propostas inovadoras que adequem de forma funcional a paisagem urbana composta por cursos d'água.

Os conceitos de recuperação e restauro são sinônimos para Bonn (1992) *apud* Friedrich (2007), tendo em vista que ambos visam a recuperação da qualidade da água, do regime hidrológico, da estrutura de habitats e das zonas ripícolas. Porém, há autores que interpretam a recuperação como um retorno parcial e funcional enquanto o restauro implica em um retorno total (Friedrich, 2007). A restauração e o restauro são responsáveis por alterar a propensão de degradação consequente das intervenções antrópicas no meio natural.

A partir desta perspectiva sustentável de recuperação e conservação em busca de adaptação das cidades para as mudanças climáticas, vem sendo incorporado à paisagem urbana a inserção de tipologias de infraestrutura verde, tanto em edifícios e áreas particulares como na implantação de parques urbanos e lineares. Desta forma, tem-se o conceito de infraestrutura verde essencial para a elaboração de projetos que visem a valorização das áreas urbanas de maneira sustentável.

A infraestrutura verde tem como principal objetivo integrar os sistemas ecológicos com os sistemas antrópicos de forma a estabelecer conexões por meio de corredores ecológicos formados por parques lineares, largos e praças. Os sistemas ecológicos ou naturais incluem as características da geologia, hidrologia e biologia, enquanto os sistemas antrópicos são responsáveis por incluir atributos sociais, perspectivas que qualifiquem a mobilidade urbana e conceitos metabólicos (Herzog, 2013). Esta integração implica na interação das áreas verdes, que buscam atrair vegetação nativa para as cidades, com o meio antrópico de forma saudável, formando redes multifuncionais.

Os parques urbanos são instrumentos públicos urbanos fundamentais para estabelecer estas interações dos sistemas naturais com os antrópicos. Conforme

Garabini (2004) *apud* Friedrich (2007) os parques urbanos foram difundidos por paisagistas ingleses, franceses e americanos no final do século XVIII e início do século XIX. Com o passar do tempo as concepções de parques urbanos foram se alterando e se adequando de acordo com sua localização nos territórios e com as características socioeconômicas e culturais da população (Friedrich, 2007).

Os parques urbanos visam incluir na vida urbana espaços verdes que expressem o uso coletivo, promovendo um contato físico e ativo da população com a natureza. Atualmente, preocupa-se com a requalificação das áreas degradadas e reforça a ligação das áreas verdes com percursos para pedestres, ciclismo e áreas de recreação.

A Figura 26 apresenta um parque urbano localizado na cidade de Campo Grande no estado do Mato Grosso do Sul, onde encontra-se a integração de atividades de lazer, cultura e contemplação da paisagem em uma área localizada no centro da cidade. Este parque ainda conta com o córrego Prosa o qual possui mata ciliar preservada, um lago de contenção, um museu que traz a cultura indígena local, além do contato com a fauna por ser uma área contígua a uma reserva ecológica. (Rafael, 2012).



Figura 26 - Parque urbano das Nações indígenas em Campo Grande – MS

Nos dias atuais, as áreas urbanas apresentam crescente estado de degradação socioambiental, principalmente nos países considerados em desenvolvimento. Desta forma, a população vem pressionando os órgãos públicos a desenvolverem projetos socioambientais e programas que visem preservar e recuperar cursos d'água e suas marginais, além de incluir áreas de recreação e circulação não-

motorizada, cumprindo com os preceitos do desenvolvimento sustentável (Friedrich, 2007).

Neste contexto, os parques lineares tornam-se um importante equipamento nos sistemas de gestão e planejamento de programas socioambientais em regiões urbanas, principalmente nas áreas marginais aos cursos d'água, valorizando o local e preservando o meio hídrico. A inclusão de projetos deste tipo implica na reestruturação da mobilidade urbana local, a introdução de ciclovias, áreas de circulação para pedestres e recreação, além da implantação de faixas verdes para estabelecer a conexão ecológica e reduzir o escoamento superficial.

No Brasil, foram implantados alguns projetos de parques lineares que trouxeram maior vitalidade para a área. A Figura 27 apresenta os instrumentos utilizados no parque linear Nossa Senhora da Piedade, em Belo Horizonte no estado de Minas Gerais. O parque está inserido na macrobacia do Onça, na sub-bacia Nossa Senhora da Piedade e antes de sua implementação, as nascentes do córrego e os terrenos que o rodeavam eram utilizados como depósitos de lixo trazendo maus odores e doenças para a população vizinha (Prefeitura de Belo Horizonte, 2013).



Figura 27 - Parque linear Nossa Senhora da Piedade, Belo Horizonte – MG

Fonte: Soluções para cidades, 2013.

Na cidade de São Paulo foi introduzido através do Plano Diretor Estratégico o Programa de recuperação ambiental dos cursos d'água e fundos de vales com o intuito de considerar a rede hídrica como elemento estruturador de urbanização. Desta forma, agregou-se em 2008 o Programa “100 parques para São Paulo” com

o objetivo de implantar na cidade áreas com parques tradicionais, onde inclui-se a biodiversidade, lazer e cultura; regiões com parques lineares, em prol de estabelecer saneamento, controle de cheias, reurbanização e lazer; e parques naturais para a proteção da biodiversidade (Prefeitura de São Paulo, 2010).

O parque linear do Canivete é um dos projetos estabelecidos com o programa. A Figura 28 demonstra imagens antes e depois da implantação do projeto. Situado no Jardim Damasceno, Brasilândia, na cidade de São Paulo, o bairro apresentava deficiência no transporte, baixa qualidade de vida e moradias precárias e ilegais em processo de crescimento desordenado (Suzumura, 2012).



Figura 28 - Parque linear do Canivete, São Paulo – SP

Fonte: Adaptado de Suzumura, 2012.

Desta forma, o parque linear teve como objetivo principal recuperar e proteger um quilômetro de córrego e suas margens, readequando o sistema de esgotamento sanitário e iluminação pública, incluindo pavimentação, calçadas e áreas de recreação, além da implementação de áreas verdes (Suzumura, 2012). Ademais foram removidas famílias que possuíam moradias em áreas de risco e recuperada a área degradada, além de impedir o avanço de construções em situação de risco e proteger a Serra da Cantareira. Porém, além das melhorias realizadas, segundo Suzumura (2012) existem críticas quanto ao desenho ambiental.

Em um contexto internacional, muitos países já vêm implantando e planejando projetos que consideram fatores bióticos, abióticos e antrópicos em diversas escalas (Herzog, 2011 *apud* Araújo, 2015). A Figura 29 ilustra dois grandes projetos de revitalização e adequação ecológica de áreas que margeiam cursos d'água e estão inseridas no contexto urbano.



Freiburg - Alemanha



Madri - Espanha

Figura 29 - Projetos de revitalização urbana nas margens de cursos d'água

Fonte: Herzog, 2010 e Ciclo Vivo, 2017.

Em Madri, na Espanha, a avenida marginal ao rio Manzanares foi substituída por um parque linear, denominado Madrid Río, onde a enorme região transformou-se em uma área de convivência, lazer e de resgate da biodiversidade local e da qualidade de vida dos moradores da região (Ciclo Vivo, 2017). Na Alemanha, na cidade de Freiburg, foi implantado um corredor verde multifuncional, o qual manteve a mata ciliar, preocupou-se com a qualidade das águas e desenvolveu ciclovias, passeios, espaço de lazer e outros benefícios para a sociedade (Herzog, 2011 *apud* Araújo, 2015).

Sendo assim, projetos que revitalizam as áreas e buscam a valorização dos cursos d'água, preocupando-se com a qualidade das águas, o controle de cheias e a interação da sociedade com o meio ambiente são grandes apostas para planos de gestão que admitirão resultados satisfatórios para os sistemas naturais e antrópicos.

3.4.

Planos Diretores e a Gestão da Drenagem Urbana

Na gestão da drenagem urbana, torna-se necessário desenvolver ações ordenadas de forma a equilibrar os impactos advindos do desenvolvimento com as condições ambientais da cidade. O Plano Diretor de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas tem o objetivo de criar mecanismos de gestão da infraestrutura urbana relacionado com o escoamento das águas pluviais e dos rios na área urbana da cidade. Este planejamento visa evitar perdas econômicas, melhoria das condições de saúde e meio ambiente da cidade (Tucci, 2002). Os principais elementos a serem considerados na estrutura de um plano diretor de drenagem urbana são apresentados na Figura 30.

Para a cidade do Rio de Janeiro, as diretrizes e premissas adotadas na elaboração do plano diretor de drenagem e manejo de águas pluviais foram definidas dentro dos conceitos da moderna drenagem urbana, considerando as condicionantes naturais e antrópicas da formação das cheias em cada bacia hidrográfica estudada (PDMAP, 2013). De forma sucinta, foram elencadas as principais diretrizes e premissas, das quais se pode destacar:

- A unidade de planejamento é a Bacia Hidrográfica. Independentemente das regiões administrativas e limites territoriais, as bacias foram entendidas como sistemas unitários, visando-se o manejo adequado das águas pluviais em seu conjunto e o tratamento integrado dos problemas de inundação;
- Garantir os limites de ocupação do solo previstos na legislação municipal;
- Reverter os efeitos nocivos da urbanização nas áreas já consolidadas e minimizar os impactos futuros desse processo nas áreas em processo de urbanização;
- Não transferir inundações para jusante;

- Promover a desconcentração dos lançamentos;
- Tratar *flash floods* (cheias rápidas) prioritariamente com medidas de reservação, como por exemplo os reservatórios de “pé de morro”. Os resultados são cheias de picos altos e curta duração, com baixos volumes de escoamento. O abatimento desse tipo de hidrograma é feito por meio de reservatórios instalados imediatamente após o final do trecho de alta declividade. Esses tipos de reservatório agregam ainda o benefício de proteger a rede de drenagem a jusante, de processos erosivos e assoreamento decorrentes do transporte dos sedimentos;
- Tratar estrangulamentos pontuais prioritariamente com reforço de capacidade;
- Evitar intervenções em canais consolidados. Quando houver déficit de capacidade em determinados trechos onde o curso d’água encontra-se canalizado, com vias marginais de fundo de vale já implantadas, deve-se priorizar a reservação sobre o reforço da calha existente, em face dos elevados custos financeiros e impactos causados ao tráfego e ao meio urbano ao redor;
- Priorizar sistemas *on-line* e por gravidade no planejamento das estruturas de reservação e o uso de áreas públicas;
- Promover a valorização dos cursos d’água na paisagem urbana. O manejo das águas pluviais contempla não apenas o controle quantitativo dos escoamentos, mas também a integração dos rios e córregos a paisagem urbana. Na prática, essa diretriz induz a manutenção de calhas abertas com margens livres de ocupação, protegidas de invasões pela implantação de parques adjacentes aos canais;
- Estabilizar as calhas dos canais para prevenir a erosão e o assoreamento;
- Priorizar a aplicação de medidas compensatórias nas áreas em processo de urbanização, buscando-se o impacto hidrológico zero.

No capítulo 5, com o objetivo de aplicar técnicas de manejo de águas pluviais e apresentar propostas de intervenções visando o controle de enchentes associado à valorização de cursos d’água em sistemas de macrodrenagem, foi contemplado, neste trabalho, um estudo de caso para a bacia do Rio das Tintas, prevendo-se algumas das principais premissas e diretrizes apresentadas.

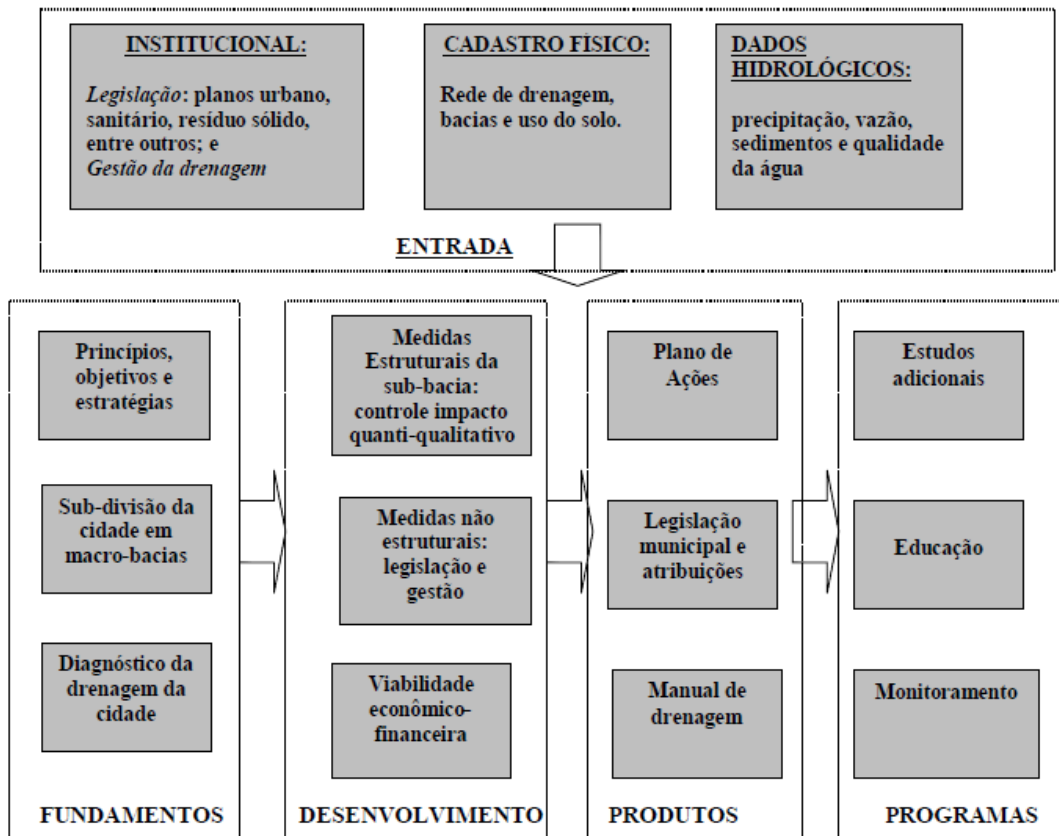


Figura 30 - Estrutura do plano diretor de drenagem urbana

Fonte: Tucci, 2002.

4.

Simulação computacional de cheias urbanas

Modelo é uma representação física ou matemática da realidade que busca reproduzir o comportamento de um sistema com o objetivo de prever a resposta do sistema, conforme o seu estado inicial e os dados de entrada impostos (PDMAP, 2010). Modelos físicos são aqueles que procuram reproduzir fisicamente um determinado sistema em menor escala, enquanto que os modelos matemáticos representam o sistema por meio de equações que reproduzam os seus processos.

Em drenagem urbana o sistema em estudo é a bacia hidrográfica. Para a modelagem deste sistema, são utilizados modelos matemáticos hidrológicos e hidráulicos com o objetivo de prever vazões e níveis de cheia, dadas uma determinada chuva e as condições iniciais da bacia hidrográfica (PDMAP, 2010).

Os modelos hidrológicos representam os processos na bacia hidrográfica e são denominados modelos chuva-vazão, de forma a estudar o processo de formação do escoamento superficial e das vazões de cheia nos canais em função de um dado evento de precipitação. Os modelos hidráulicos representam os processos de formação de cheias nos rios e canais nos sistemas de macrodrenagem, possibilitando avaliar níveis d'água em diferentes pontos do sistema e identificar áreas de inundação na bacia hidrográfica.

Durante o processo de aplicação do modelo são realizadas simulações, em que são fornecidos parâmetros de entrada essenciais para obter as variáveis de saída que se deseja avaliar. Atualmente existem vários modelos hidrológicos-hidráulico aplicados a drenagem urbana. Cada modelo emprega diferentes finalidades, métodos, formulações matemáticas e formas de uso para simular os processos.

O *Texas A&M University*, em colaboração com a *Bureau of Reclamation*, possui um inventário de modelos hidrológicos que fornece informações básicas como a capacidade do modelo, requisitos de entrada, informações de saída, suposições, requisitos de *hardware* e informações de contato sobre uma variedade

de modelos para praticantes nos setores acadêmico, governamental e privado. Nunes (2017) apresentou como os principais modelos hidrológico-hidráulico para a aplicação em drenagem urbana o Info Works, a Plataforma HEC, o SOBEK, a plataforma MIKE e o SWMM. Já Collodel (2009) menciona que os modelos mais aplicados referentes ao tema, segundo a literatura internacional especializada, encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 - Modelos Hidrológico-Hidráulico para drenagem urbana

<i>Código</i>	<i>Nome</i>	<i>Agência Criadora</i>	<i>Ano</i>
MOUSE	Modelling of Urban Sewer	DHI	1985
CHM	Chicago Hydrograph Method	City of Chicago	1959
ILLUDAS	Illinois Urban Drainage Area Simulator	Ill. Water Survey	1972
STORM	Storage, Treatment, Overflow Runoff Model	Corps of Engineers	1974
TR-55	SCS Technical Release 55	SCS	1975
DR3M	Distributed Routing Rainfall-Runoff Model	USGS	1978
IPH-2	Instituto de Pesquisas Hidráulicas	IPH-UFRS	1981
SWMM	Storm Water Management Model	EPA	1971

Fonte: Viessman *et al.*, 2002 *apud* Collodel, 2009.

Uma das principais etapas para a aplicação de uma modelagem matemática é a escolha adequada do modelo a ser utilizado. Esta definição depende dos objetivos de estudo, da cobertura espacial abordada, da variabilidade dos dados, da tecnologia empregada, do conhecimento do modelador, além da disponibilidade e o custo. (Makisimovic, 2001 *apud* Collodel, 2009).

Para o estudo de caso realizado neste trabalho, foi escolhido o modelo SWMM (*Storm Water Management Model*), tendo em vista ser de domínio público, além de ser utilizado no âmbito internacional por diversos pesquisadores, e permitir o desenvolvimento de resultados detalhados, a partir de diversas ferramentas disponíveis, no âmbito da micro e macrodrenagem. Além disso, existem versões e manuais em português, o que facilita a disseminação da modelagem na aplicação de diversos trabalhos técnicos e de gestão no país, tanto na esfera pública como privada.

4.1.

SWMM

Será utilizado para a realização de modelagens hidráulicas e hidrológicas, na área de estudo, o modelo de gestão de drenagem urbana denominado *Storm Water Management Model* (SWMM), na versão brasileira 5.00.22. Este é um modelo dinâmico chuva-vazão que simula a quantidade e a qualidade das águas pluviais dentro do contexto urbano (LENHS, 2012).

Este *software*, desenvolvido em 1971, pertence à U.S Environmental Protection Agency (EPA), agência estatal norte-americana responsável pela proteção dos recursos naturais do país. A versão do modelo para a língua portuguesa ocorreu devido à iniciativa do Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento (LENHS) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) que contou com o patrocínio da Eletrobrás para a concretização do feito. De acordo com esse manual, as aplicações típicas desenvolvidas pelo modelo SWMM são:

- Concepcionar e dimensionar os componentes da rede de drenagem para controle de inundações;
- Dimensionar estruturas de retenção e acessórios para o controle de inundações e a proteção da qualidade das águas;
- Delimitar zonas de inundação em leitos naturais;
- Gerar estratégias de controle para minimizar o transbordamento de sistemas unitários e mistos;
- Avaliar os impactos de contribuições e infiltrações sobre o transbordamento de sistemas de drenagem de águas residuárias;
- Gerar poluição difusa para estudos de lançamento de efluentes (carga de contaminantes);
- Avaliar a eficácia das BMPs para reduzir o carregamento de poluentes durante a chuva.

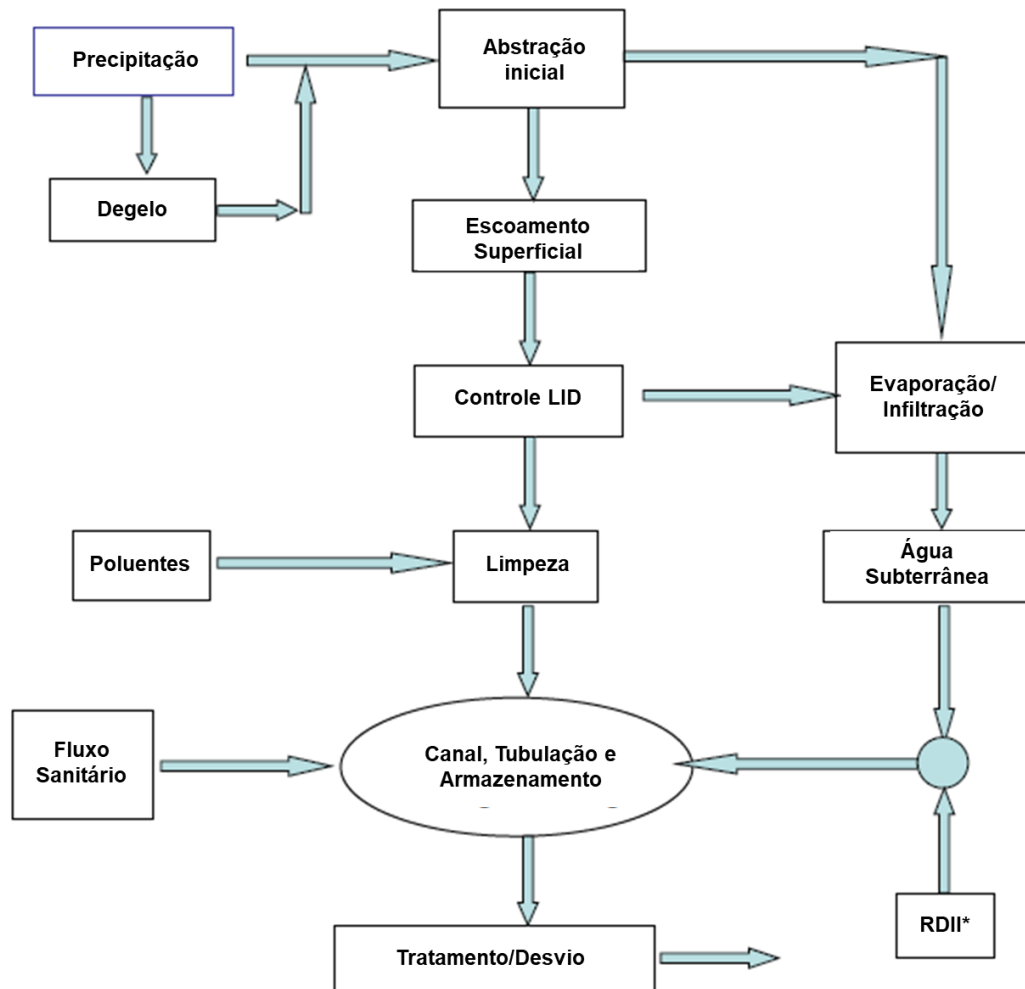
O *software* utiliza de vários objetos para a aplicação do modelo. Cada objeto exige a inserção de diversos dados específicos. O Quadro 13 apresenta os objetos de modelagem existentes. Objetos de hidrologia e hidráulica, como sub-bacias, condutos, nós, exutório, trechos, divisores de fluxos, reguladores e unidades de

armazenamento devem ser inseridos pelo usuário, a partir de um desenho esquemático da rede de drenagem, o qual é apresentado no mapa da área de estudo do modelo. A partir disso, devem ser inseridos pelo modelador os dados pertencentes a cada item correspondente aos objetos.

Quadro 13 - Objetos de Modelagem no SWMM

Objetos de Modelagem no SWMM	
Hidrologia	Pluviômetros
	Sub-bacias
	Aquíferos
	Acumulação de Neve
	Hidrogramas Unitários (Afluências - RDII)
	Controles LID
Hidráulica	Nós
	Exultório
	Divisores de Fluxo
	Unidades de Armazenamento
	Conduto
	Bomba
	Reguladores (Vertedor, Orifício e Bocal)
Climatologia	Temperatura
	Evaporação
	Velocidade do Vento
	Degelo da Neve
	Camada de Neve
Qualidade da Água	Poluentes
	Usos do solo
Objetos de Dados	Curvas (controle, divisão, bomba, descarga, forma, armazenamento e maré)
	Séries Temporais
	Padrões Temporais
	Rótulos do Mapa

O processo hidrológico utilizado pelo modelo funciona de acordo com a forma retratada no diagrama apresentado na Figura 31, onde as variáveis utilizadas pelo modelo estão inter-relacionadas.



*RDII (*Rainfall-Dependent Infiltration/Inflow*) é uma opção do SWMM que permite considerar a entrada de infiltrações/afluências no sistema.

Figura 31 - Diagrama do processo Hidrológico do SWMM

Fonte: Adaptado de Rossman & Huber, 2016.

Conforme Hubber & Dickinson (1992) o programa é construído conforme “blocos”, que são compostos por blocos de serviço e computacionais como demonstrado na Figura 32. Os blocos computacionais são os principais encarregados pelas etapas de cálculo do modelo. O bloco Chuva-vazão (*Runoff*) é responsável pelo escoamento superficial e subsuperficial com base em uma série temporal pré-definida. Já os blocos de Transporte (*Transport*) e Transporte nos

condutos (*Extran*) são encarregados pelo fluxo do escoamento, que pode ocorrer através de três modelos hidráulicos de transporte, o regime uniforme, a onda cinemática e a onda dinâmica. O bloco de Armazenamento/Tratamento (*Storage/Treatment*), caracteriza os efeitos dos dispositivos de controle após o fluxo e a qualidade da água.

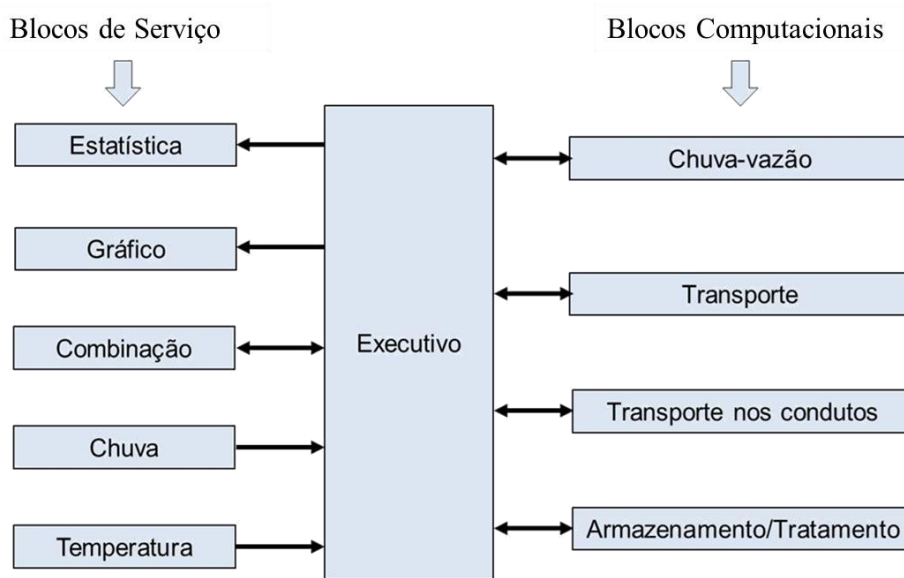


Figura 32 - Relação entre os módulos do SWMM

Fonte: Adaptado de Nunes, 2017.

Os blocos de serviço são auxiliares aos computacionais e é formado pelo bloco Estatístico (*Statistics*), o qual tem a capacidade de avaliar os resultados conforme o tempo pré-definido, além de classificar os eventos de acordo com o critério desejado; o bloco Gráfico (*Graph*), que representa na forma gráfica os resultados das séries temporais, como hidrogramas, plutogramas e entre outras séries; o bloco de Combinação (*Combine*), o qual permite a manipulação de múltiplos arquivos de interface para agregar resultados de várias seções anteriores para entrada em blocos subsequentes; o bloco Chuva (*Rain*), que analisa os dados de precipitação; o bloco Temperatura (*Temp*), analisa os dados de temperatura e finalmente o Bloco Executivo (*Execute*), o qual possui diversas funções, é responsável por atribuir números de unidades lógicas a arquivos *off-line*, além de determinar o bloco ou a sequência de blocos a serem executados, pois todo o acesso aos blocos computacionais e de serviço e as transferências entre eles devem passar pelo programa principal do bloco executivo.

4.1.1.

Modelo Hidrológico

O bloco Chuva-vazão (*Runoff*) admite que uma sub-bacia é uma superfície retangular que possui uma inclinação uniforme “S”, uma largura “W” e um escoamento superficial “ q_L ”, drenando para um único canal de saída, como demonstrado na Figura 33. A largura é definida a partir de uma calibração, de forma a estimar a relação entre a área e o valor médio dos comprimentos máximos do escoamento superficial, considerando a sub-bacia como uma superfície de forma retangular (Rossman, 2007 *apud* Collodel, 2009).

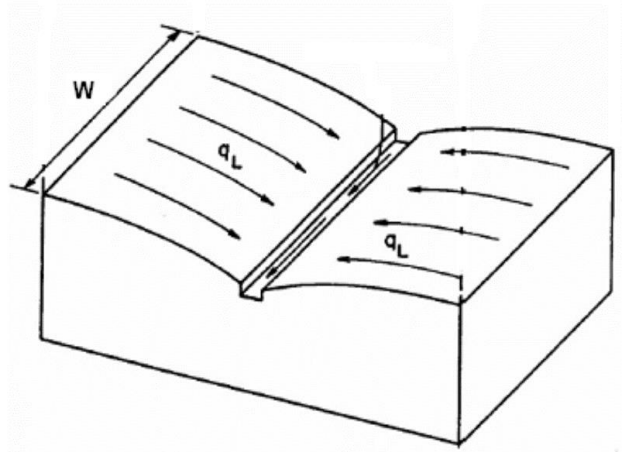


Figura 33 - Representação de uma sub-bacia conforme o SWMM

Fonte: Rossman & Huber, 2016.

O fluxo do escoamento superficial é calculado considerando que cada sub-bacia é tratada como um reservatório não-linear, no qual as contribuições são provenientes da precipitação, definida a partir de uma série temporal, e das sub-bacias situadas a montante. Os fluxos de saída podem ser por escoamento superficial, infiltração e evaporação. A capacidade do “reservatório” é definida por “d” e o valor máximo de armazenamento em depressões (dp), correspondente ao máximo valor abrigado na superfície devido a alagamentos, encharcamentos e intercepções nos telhados, plantas etc. Esta representação do escoamento, definida pelo modelo SWMM, com todas estas variáveis mencionadas, é retratada na Figura 34.

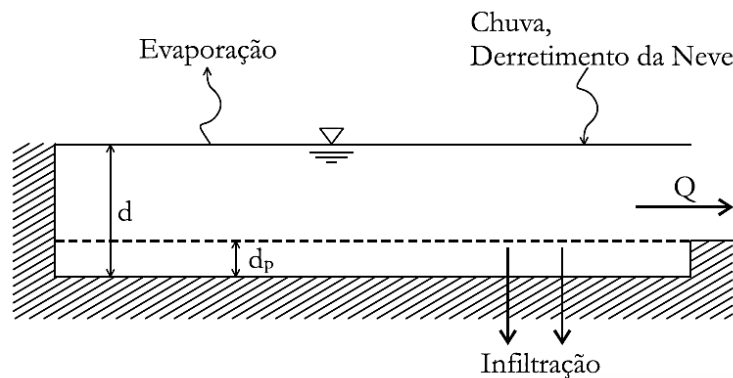


Figura 34 - Esquema conceitual do escoamento no SWMM

Fonte: LENHS, 2012.

Quando a profundidade da água neste “reservatório” excede o valor “ d_p ”, obtém-se o escoamento superficial por unidade de área (Q). Esta vazão (Q) é calculada a partir da equação diferencial não linear (4.1), a qual é uma combinação da equação de Manning e da equação do balanço de massa.

$$\frac{\partial d}{\partial t} = i - e - f - \alpha(d - d_p)^{5/3} \quad (4.1)$$

Onde i é a taxa de precipitação e degelo (l/s); e a taxa de evaporação da superfície (l/s); f a taxa de infiltração (l/s); d o nível d’água no reservatório (m); d_p a altura do armazenamento em depressões (m); e t o passo de tempo (s). A variável α é calculada a partir da equação 4.2:

$$\alpha = \frac{1.49WS^{1/2}}{An} \quad (4.2)$$

Onde W é a largura da sub-bacia; S a declividade da sub-bacia; A a área da sub-bacia; e n o coeficiente de rugosidade.

As variáveis referentes a precipitação e evaporação são importadas a partir dos dados inseridos pelo modelador no programa. Além dessas variáveis, uma vez conhecidas α , d_p e a taxa de infiltração resolve-se a equação 4.1 através do processo iterativo de Newton-Raphson (Nunes, 2017).

Ademais para o cálculo das parcelas infiltradas, escoadas e armazenadas em depressões, o *software* requer dados de parcelas permeáveis e impermeáveis das sub-bacias. A parcela impermeável possui uma divisão para representar as áreas impermeáveis com armazenamento em depressão, conforme pode ser visualizado na Figura 35. Dessa forma, a equação 4.1 é resolvida para cada tipo de área apresentada na sub-bacia, os resultados são combinados para obter o escoamento superficial gerado na área (Nunes, 2017).

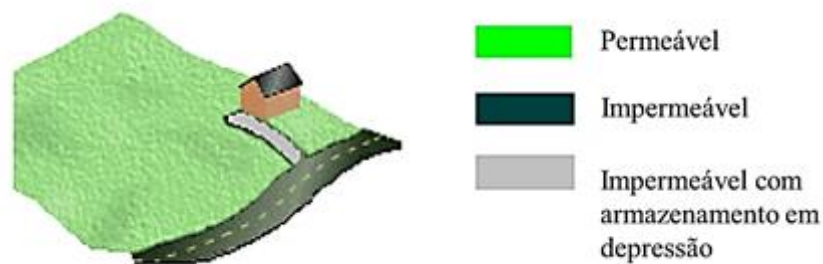


Figura 35 - Representação dos tipos de áreas em uma sub-bacia

Fonte: Adaptado de Rossman & Huber, 2016.

A infiltração pode ser calculada a partir de quatro métodos que são disponíveis como opções do SWMM. O modelador pode escolher entre os métodos: Curva Número (CN - *Curve Number*), Horton, Horton modificado e Green-Ampt. Todos eles estão relacionados com o tipo de solo e suas condições. A infiltração somente é calculada para a parcela permeável da sub-bacias, nas partes impermeáveis, mesmo com armazenamento em depressão, não ocorre infiltração.

No estudo de caso deste trabalho, será utilizado o método Curva Número da *Soil Conservation Service* (SCS), atualmente denominada como *Natural Resource Conservation Service* (NRCS). Para utilizar este método, o modelo utiliza-se das formulações definidas pelo mesmo e requisita os parâmetros de CN, o qual é determinado a partir do grupo hidrológico correspondente ao solo da área em questão. Estes aspectos estão de acordo com os definidos no Capítulo 2 deste trabalho.

O SWMM permite a introdução de dispositivos de controles LID's (*Low Impact Development Practices*). Conforme LENHS (2012) a versão 5.00.22 do modelo possui os seguintes dispositivos LID's disponíveis:

- **Bacias de Filtração / Células de Biorretenção:** Depressões que contêm vegetações plantadas em solo preparado para remover sedimentos, infiltrar parte do escoamento superficial e evapotranspirar a água da chuva. Os jardins e os canteiros de rua são os melhores exemplos deste tipo de dispositivo;
- **Trincheiras de Infiltração:** Valas escavadas a jusante de uma área impermeável, preenchidas com pedras e cascalhos, que permitem o armazenamento e a posterior infiltração da água no solo, amortecendo a onda da cheia;
- **Pavimentos permeáveis:** Superfícies escavadas e preenchidas com uma camada de cascalho para posterior pavimentação com concreto poroso, asfalto poroso ou elementos vazados. Tem como principal função a infiltração das águas no solo. Atualmente, existem diversos tipos de pavimentos porosos no mercado, cabe ao modelador adequar as opções impostas pelo modelo às propriedades do tipo de pavimento poroso escolhido;
- **Cisternas:** Captação das águas pluviais escoadas na cobertura das casas ou edifícios para a posterior utilização;
- **Vales de infiltração sem dreno:** Canais ou depressões com inclinação nas paredes laterais, cobertas por vegetação, com a função de armazenar e retardar as águas pluviais em prol de um maior tempo para a infiltração no solo.

No estudo de caso, foi utilizado o dispositivo de bacia de filtração que funciona de forma similar as células de biorretenção, ou biovaletas, já que esta tipologia LID é a mais funcional para a área.

Para inserir os dados dos dispositivos LID, o modelo traz como opções colocar um ou mais controles em uma sub-bacia ou criar uma sub-bacia exclusiva para o controle. Após a inserção dos dispositivos de controle, deve-se ajustar as propriedades relativas à porcentagem de área impermeável nas sub-bacias para compensar a área total da sub-bacia que agora é ocupada por controle LID. Com a inserção dos dispositivos, o modelo se comporta de acordo com o apresentado na Figura 36.

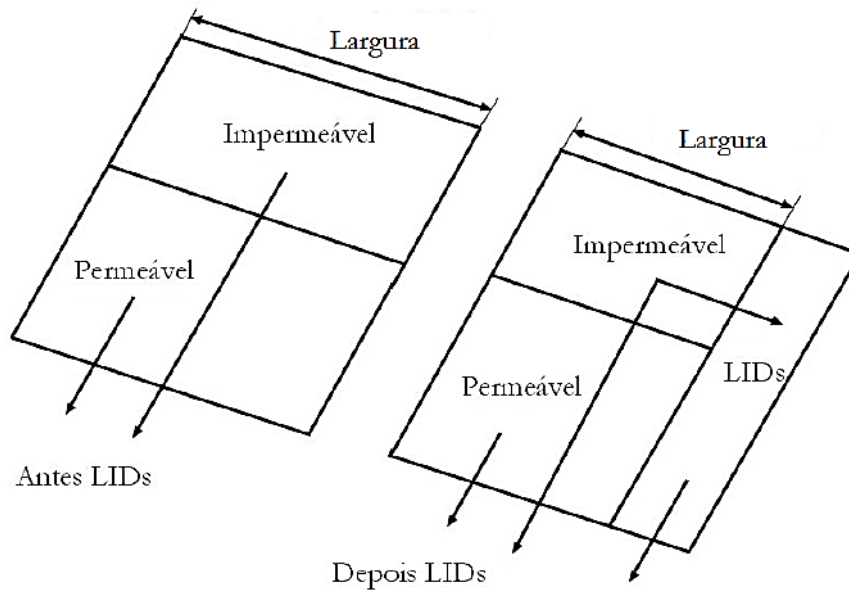


Figura 36 - Parâmetros das sub-bacias após a introdução do LID

Fonte: LENHS, 2012.

4.1.2.

Modelo Hidráulico

A rede de drenagem é constituída por um conjunto de nós e trechos (*links*) que transmitem o fluxo das águas pluviais escoadas superficialmente. A Figura 37 ilustra uma representação das ligações entre os nós de simulação e os trechos em uma rede de drenagem no modelo SWMM.

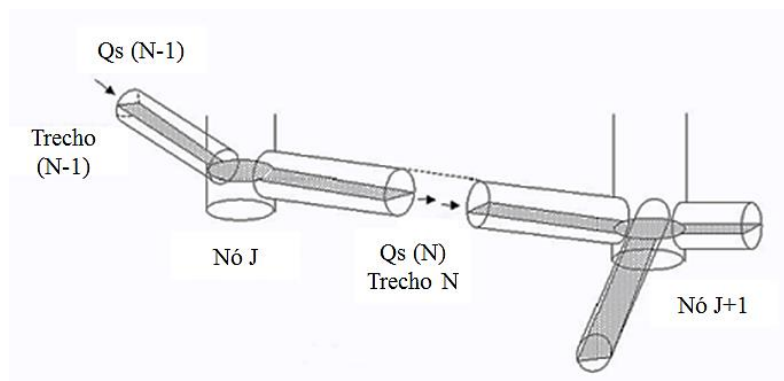


Figura 37 - Representação da ligação entre nós e trechos no SWMM

Fonte: Adaptado de Rossman & Huber, 2017.

O transporte das águas pluviais nos condutos é regido pelas equações de conservação de massa e da quantidade de movimento para o fluxo gradualmente variado não permanente. O modelador pode selecionar o nível de sofisticação para resolver estas equações, de forma a optar pelos três modelos hidráulicos disponíveis para cálculo: o fluxo em regime uniforme, o modelo da onda cinemática e o modelo da onda dinâmica (LEHNS, 2012).

O regime uniforme considera que em cada intervalo de tempo de cálculo o escoamento é uniforme e permanente, empregando a equação de Manning para relacionar a vazão com a área e a profundidade. Neste regime não é considerado o armazenamento de água que se produz nos condutos, nem o ressalto hidráulico, as perdas de carga, remansos e fluxos pressurizados. Já o modelo da onda cinemática, também possui algumas limitações, porém permite que a vazão e a área variem no espaço e no tempo no interior do conduto.

O modelo da onda dinâmica é o mais completo em precisão de resultados pois resolve as equações completas de Saint Venant e verifica todos os parâmetros hidráulicos que o *software* apresenta. (LEHNS, 2012). O Quadro 14 apresenta as características e limitações dos modelos da Onda Dinâmica e cinemática. No estudo de caso realizado nesse trabalho optou-se pelo modelo da onda dinâmica, devido a sua avaliação mais ampla e precisa durante a simulação.

O bloco de transporte nos condutos (*Extran*), o qual foi inserido no SWMM em 1976, substituindo o bloco de Transporte (*Transport*) é o responsável pelos cálculos hidráulicos no modelo. Essa substituição ocorreu devido a inclusão de uma análise mais complexa do sistema hidráulico, considerando novos parâmetros a serem analisados e utilizando as equações completas de Saint Venant. A equação dinâmica utilizada pelo modelo é apresentada na equação 4.3 (Garcia, 2005).

$$Q_{t+\Delta t} = \frac{1}{1 + (g \cdot n^2 \cdot \Delta t) \frac{|V|}{R^{-4/3}}} \left\{ Q_t + 2 \cdot \bar{V} \left(\frac{\Delta A}{\Delta t} \right)_t + \bar{V}^2 \left[\frac{(A_2 \cdot A_1)}{L} \right] \cdot \Delta t - g \bar{A} \left[\frac{(H_2 \cdot H_1)}{L} \right] \cdot \Delta t \right\} \quad (4.3)$$

Onde g é a aceleração de gravidade (m/s^2); n o coeficiente de rugosidade; R o raio hidráulico (m); A a superfície da seção transversal do conduto (m^2); L o comprimento do conduto (m); H a cota piezométrica (m); e V a velocidade no conduto (m/s).

Quadro 14 - Características da Onda Dinâmica e Cinemática

Característica	Onda Dinâmica	Onda Cinemática
Tipo de Rede	Ramificada e em curva	Apenas Ramificada
Divisão de fluxo	Sim	Com nós divisores de fluxo
Inclinações desfavoráveis	Sim	Não
Degraus invertidos	Sim	Ignorado
Bombeamento	Sim	Apenas para nós de armazenamento
Orifícios e barramentos	Sim	Apenas para nós de armazenamento
Detenção aos transbordamentos	Sim	Sim
Infiltração Lateral	Sim	Sim
Evaporação	Sim	Sim
Perdas de carga	Sim	Não
Análise de bueiros	Sim	Não
Atenuação no hidrograma	Sim	Não
Efeito de remanso	Sim	Não
Pressurização	Sim	Não
Fluxo reverso	Sim	Não
Efeitos de maré	Sim	Não

Fonte: Adaptado de Rossman & Huber, 2017.

Os valores de R, A e V, da equação 4.3, referem-se as médias ponderadas no extremo de jusante do conduto no tempo t e $(\Delta A/\Delta t)_t$ equivale a derivada da superfície da seção transversal do conduto no tempo para o passo de tempo anterior. Os índices 1 e 2 correspondem aos extremos de jusante e montante dos condutos, respectivamente. Além disso, para a solução das incógnitas, faz-se necessário mais uma equação para que o resultado seja encontrado iterativamente. (Garcia, 2005). Desta forma, utiliza-se a interação da equação 4.3 com a equação 4.4, resultando, a cada passo de tempo, na cota piezométrica em cada nó e na vazão em cada trecho, respectivamente (James *et al.*, 2003 *apud* Garcia, 2005).

$$H_{t+\Delta t} = H_t + \sum \left(\frac{Q_t \cdot \Delta t}{A_{nt}} \right) \quad (4.4)$$

Onde An corresponde a área superficial associada a cada nó (m²) em um tempo t.

O modelo possui diversas opções de geometrias de seções transversal para os condutos, desde as mais usuais como retangulares, trapezoidais e circulares, até seções irregulares. O SWMM utiliza a equação de Manning (equação 4.5) para estabelecer a relação entre a vazão escoada pelo conduto, a área da seção transversal, o raio hidráulico e a declividade, tanto para canais abertos como para condutos fechados parcialmente cheios. Nos casos de condutos em seção circular, funcionando em carga, é utilizada a equação de Hazen-Williams (equação 4.6) ou a de Darcy Weisbach (equação 4.7), em vez da equação de Manning. (LEHNS, 2012).

- Equação de Manning:

$$Q = \frac{A R_h^{2/3} \sqrt{S}}{n} \quad (4.5)$$

Onde Q é a vazão (m³/s); A é a área da seção transversal (m²); R_h é o raio hidráulico (m); S é a declividade (m/m); e n é o coeficiente de rugosidade.

- Equação de Hazen-Williams:

$$Q = 0,5493 C R_h^{0,63} S^{0,54} \quad (4.6)$$

Onde Q é a vazão (m³/s); C é o coeficiente de Hazen-Williams; R_h é o raio hidráulico (m); e S é a declividade (m/m).

- Equação de Darcy Weisbach:

$$Q = \sqrt{\frac{8g}{f}} A R_h^{1/2} S^{1/2} \quad (4.7)$$

Onde Q é a vazão (m³/s); g é a aceleração da gravidade (m/s²); f é o coeficiente de atrito de Darcy Weisbach; R_h é o raio hidráulico (m); S é a declividade (m/m).

O modelo SWMM permite a introdução de dispositivos de unidades de armazenamento, e possui como característica principal armazenar uma quantidade

de volume de água. As propriedades volumétricas de uma unidade de armazenamento são representadas pelo modelo por meio de uma curva funcional ou através de uma curva tabular que relaciona a área do reservatório com a altura. A partir disso cabe ao modelador inserir os dados necessários para o dimensionamento e definir os mecanismos de controle, como orifício de fundo e vertedor, necessários para a reservação segura e eficiente.

5.

Estudo de caso

Comtempla-se, neste trabalho, um estudo de caso na bacia hidrográfica do Rio das Tintas, a qual localiza-se no bairro de Bangu, zona oeste da cidade do Rio de Janeiro, Brasil. A bacia em questão, está inserida no sistema de sub-bacias do rio Sarapuí. A Figura 38 destaca a delimitação e localização da bacia do Rio das Tintas, além de demonstrar seus principais rios e o exutório da bacia no Rio Sarapuí.

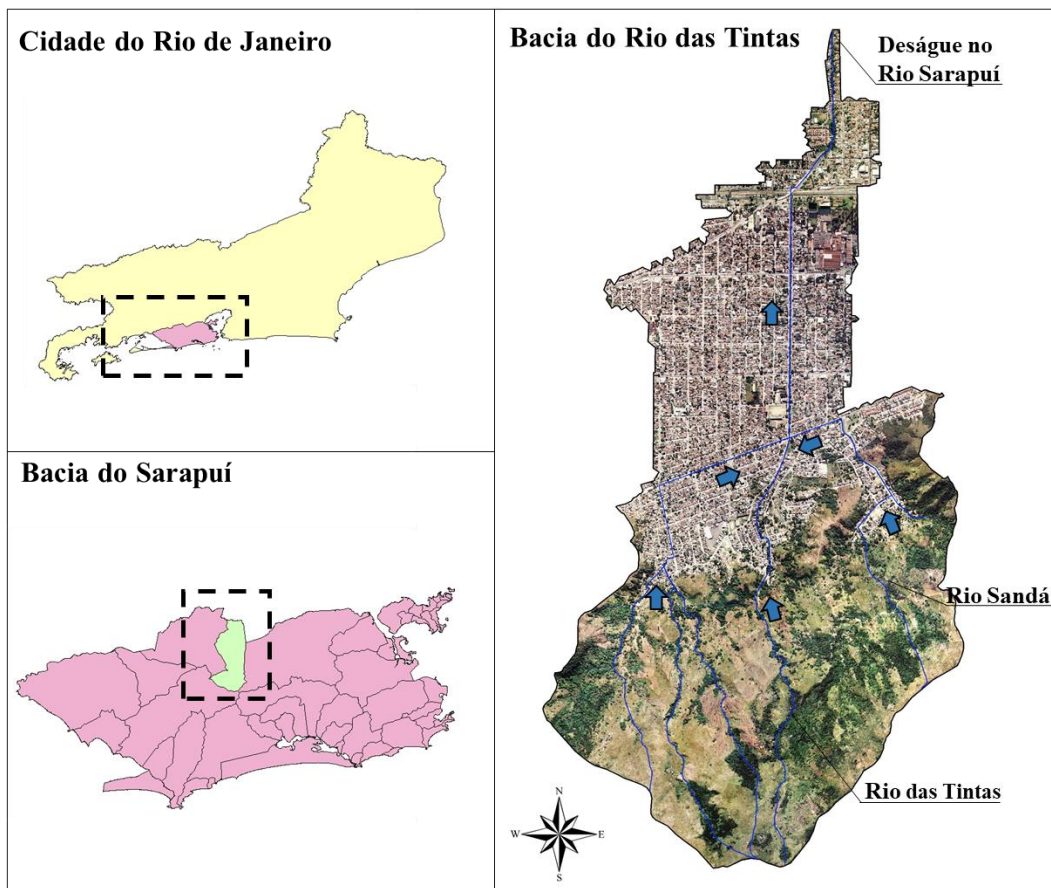


Figura 38 - Localização da Bacia do Rio das Tintas

Fonte: Elaborado com base em IPP (1999) e Rio Águas (2017).

Para a elaboração da Figura 38 foi utilizado o ArcGIS, de forma que a composição dos mapas se fundamentou através de base aérea com dados altimétricos, fornecida pela Fundação Rio Águas, e ortofotos da região disponibilizadas pelo Instituto Pereira Passos (IPP).

O rio Sarapuí deságua no rio Iguaçú, o qual possui como exutório a baía de Guanabara. A bacia do rio das Tintas, objeto de estudo, está localizada na área de planejamento 5 (AP5) e é constituída por 7,59 km² de área. A nascente desta região está localizada na serra de Bangu, área ocupada por florestas, que direciona o escoamento das águas para a região de jusante da bacia, que se encontra densamente ocupada e disposta em terrenos de baixada (PDMAP, 2013).

A vegetação predominante na bacia é a floresta subcaducifólia, floresta do bioma da Mata Atlântica, a qual se desenvolve em encostas mais secas e pequenos maciços de baixa altitude. Este tipo de vegetação é favorável a climas mais secos.

Quanto ao processo de urbanização, o bairro de Bangu, o qual está inserida a bacia do rio das Tintas, contou com um processo urbano expansivo desde as primeiras produções agrícolas em 1673, como demonstrado na linha do tempo ilustrada na Figura 39 onde são apresentados pontos marcantes da história da região que impulsionaram o crescimento urbano (Biblioteca Nacional, 2015).



Figura 39 - Histórico de Expansão Urbana de Bangu

Fonte: Baseado em PDMAP, 2013 e Biblioteca Nacional, 2015.

Foram a partir destes marcos apresentados na Figura 39 que a região, ao longo dos anos, foi definindo a funcionalidade dos espaços. Atualmente, existe uma área

densamente ocupada, extremamente residencial, dispendo de serviços comerciais, além de algumas regiões industriais e ocupações informais.

Relacionado ao sistema viário da região, um dos principais modais do entorno é a linha ferroviária. A estação de Bangu, inserida no ramal Santa Cruz, é a mais próxima da área de estudo. Além disso existem vias coletoras que integram o modal rodoviário com o ferroviário. Ademais, encontra-se em implantação linhas de integração entre o bairro de Bangu e o terminal de Sulacap do BRT (*Bus Rapid Transit*) Transolímpico. A Figura 40 demonstra os principais modais da área de estudo.

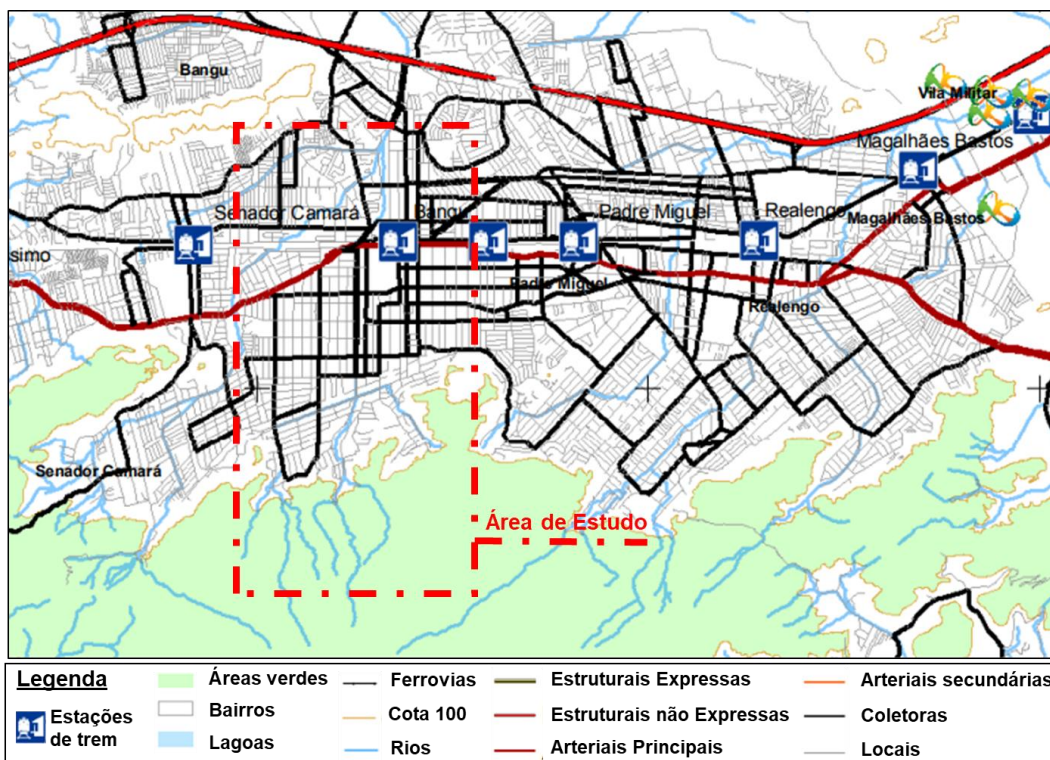


Figura 40 - Sistema viário da área de estudo

Fonte: Prefeitura do Rio de Janeiro, 2016.

Dentre as principais vias de acesso da Bacia do rio das Tintas temos: Avenida Engenheiro Pires Rebelo, Rua Barão de Capanema, Rua da Feira, Avenida de Santa Cruz e a Rua Tibagi, que vem apresentando alagamentos frequentes. A Figura 41 indica a localização destas ruas.

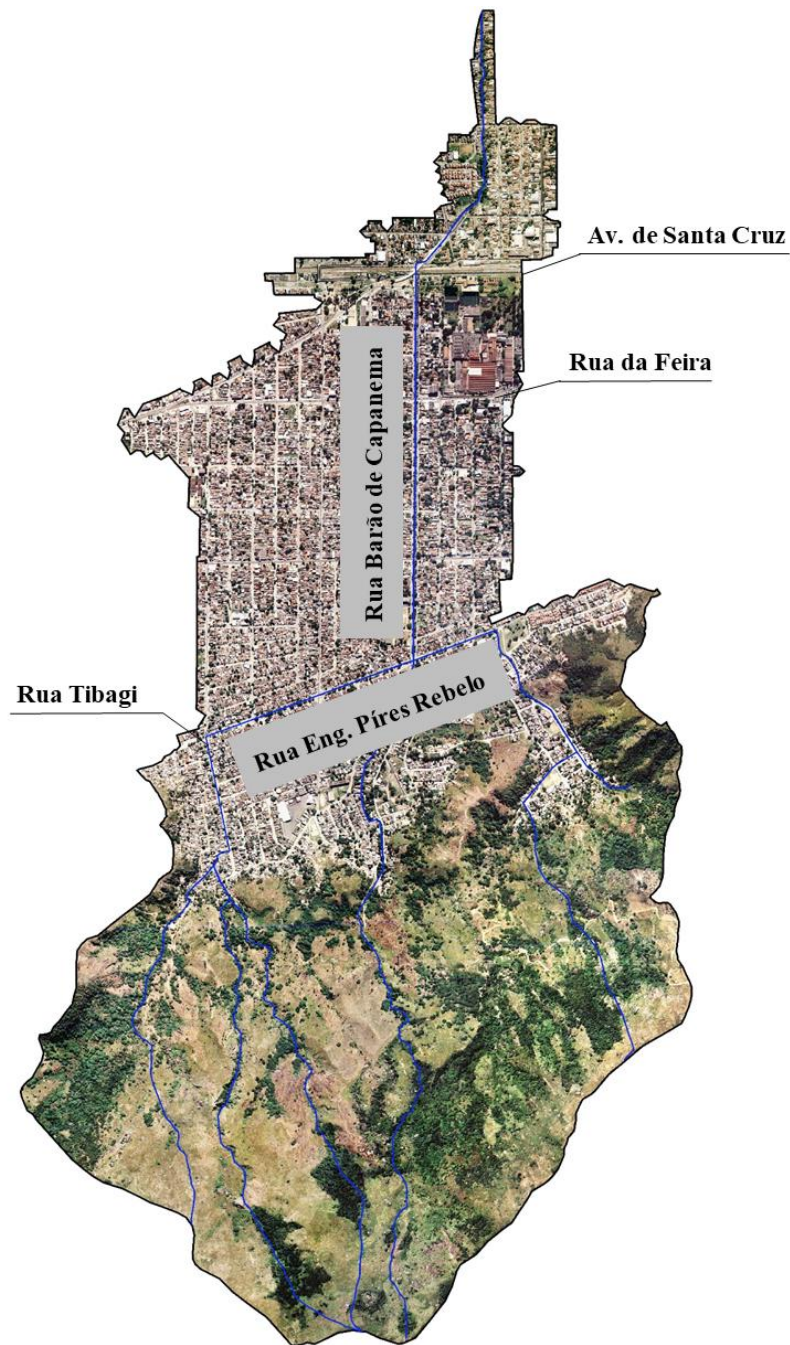


Figura 41 - Principais ruas da bacia

Fonte: Elaborado com base em IPP (1999), Rio Águas (2017).

Segundo o PDMAP (2013), quanto a ocorrência de inundações na região do rio das Tintas, os pontos mais críticos estão localizados no cruzamento da Av. Eng^o Pires Rebelo com a Rua Barão de Capanema e na área adjacente à rua Tibagi, onde são registrados alagamentos mais frequentes. Esta situação pode ser visualizada na Figura 42, a qual ilustra alagamentos decorrentes de um evento chuvoso ocorrido em abril de 2010.



Figura 42 - Enchente na Rua Tibagi

Fonte: Teodoro, 2010.

5.1.

Poluição Hídrica na região

Segundo Tucci (2008), o desenvolvimento urbano tem produzido um ciclo de contaminação, gerado pelos efluentes da população urbana, que são o esgoto doméstico/industrial e a poluição difusa, ocorrendo em consequência dos seguintes fatores:

- Despejo sem tratamento dos esgotos sanitários nos rios, contaminando este sistema hídrico;
- A poluição difusa transporta grande quantidade de poluição orgânica e de metais que atingem os rios nos períodos chuvosos;
- Contaminação das águas subterrâneas por despejos industriais e domésticos, por meio das fossas sépticas, vazamento dos sistemas de esgoto sanitário e pluvial, entre outros;
- Depósitos de resíduos sólidos urbanos, que contaminam as águas superficiais e subterrâneas, funcionando como fonte permanente de contaminação;
- Ocupação do solo urbano sem controle do seu impacto sobre o sistema hídrico.

No que tange ao sistema de esgotamento sanitário da bacia contribuinte ao rio das Tintas, na Área de Planejamento 5, da Cidade do Rio de Janeiro, verifica-se que quase a totalidade do sistema é do tipo unitário ou misto, em que os efluentes provenientes de esgotos domésticos, após tratamento individual privado, possuem

destino as galerias de águas pluviais que, por sua vez, apresentam deságue em corpos hídricos. É necessário que haja manutenção adequada dos dispositivos de tratamento individuais (fossa séptica e filtro anaeróbio de fluxo ascendente) por particulares, quando estes utilizam o sistema unitário ou misto, para que não ocorra contaminação dos cursos d'água.

A Concessionária F.AB. Zona Oeste, delegada para os serviços de esgotamento sanitário na AP5, apresentou um Plano de Prestação de Serviços (PPS-2) para implantação de sistema separador absoluto no período 2017-2020. As sub-bacias SR1, SR2, SR3, SR4, SR5 e SR6, visualizadas no mapa da Figura 43, serão revertidas para o sistema Marangá, através de uma elevatória de recalque, e o esgoto será tratado na ETE Deodoro (Plano de Prestação de Serviços, 2017).

A transposição de bacias é vista como uma alternativa em razão da não obtenção do terreno inicialmente indicado pelo Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, como poder concedente, para a construção da ETE do Sistema Sarapuí (ETE Bangu), pertencente ao Exército Brasileiro. A obras de ampliação realizadas na ETE Deodoro permitem o atendimento de uma vazão de 1000 L/s, com exceção do tratamento biológico cuja capacidade deverá ser ampliada de 750 L/s para 1000L/s (Plano de Prestação de Serviços, 2017).

As demais sub-bacias integrantes do Sistema Sarapuí serão objeto de estudo e intervenções pela Concessionária, nos próximos Planos de Prestação de Serviço, cuja data prevista para o término da Concessão é 2042 (Plano de Prestação de Serviços, 2017). A Figura 43 demonstra a localização das sub-bacias de esgotamento sanitário que são contempladas na área de estudo. Em verde, são indicadas as sub-bacias, que estão inseridas na bacia hidrográfica do Rio das Tintas, e que fazem parte do PPR2. Já em amarelo, são apontadas as sub-bacias, pertencentes a bacia hidrográfica do Rio das Tintas, que integrarão os próximos planos de prestação de serviços.

Desta forma, percebe-se que atualmente a bacia do Rio das Tintas possui a qualidade das águas de seus canais ameaçada devido a quantidade de sistemas unitários na região. Sendo assim, os projetos previstos pelos planos mencionados devem ser prontamente realizados em prol da redução da poluição hídrica e dos consequentes prejuízos que esta vem a causar para a população e o meio ambiente. Além disto, a qualidade das águas é um fator fundamental para a valorização dos cursos d'água e das áreas no seu entorno.

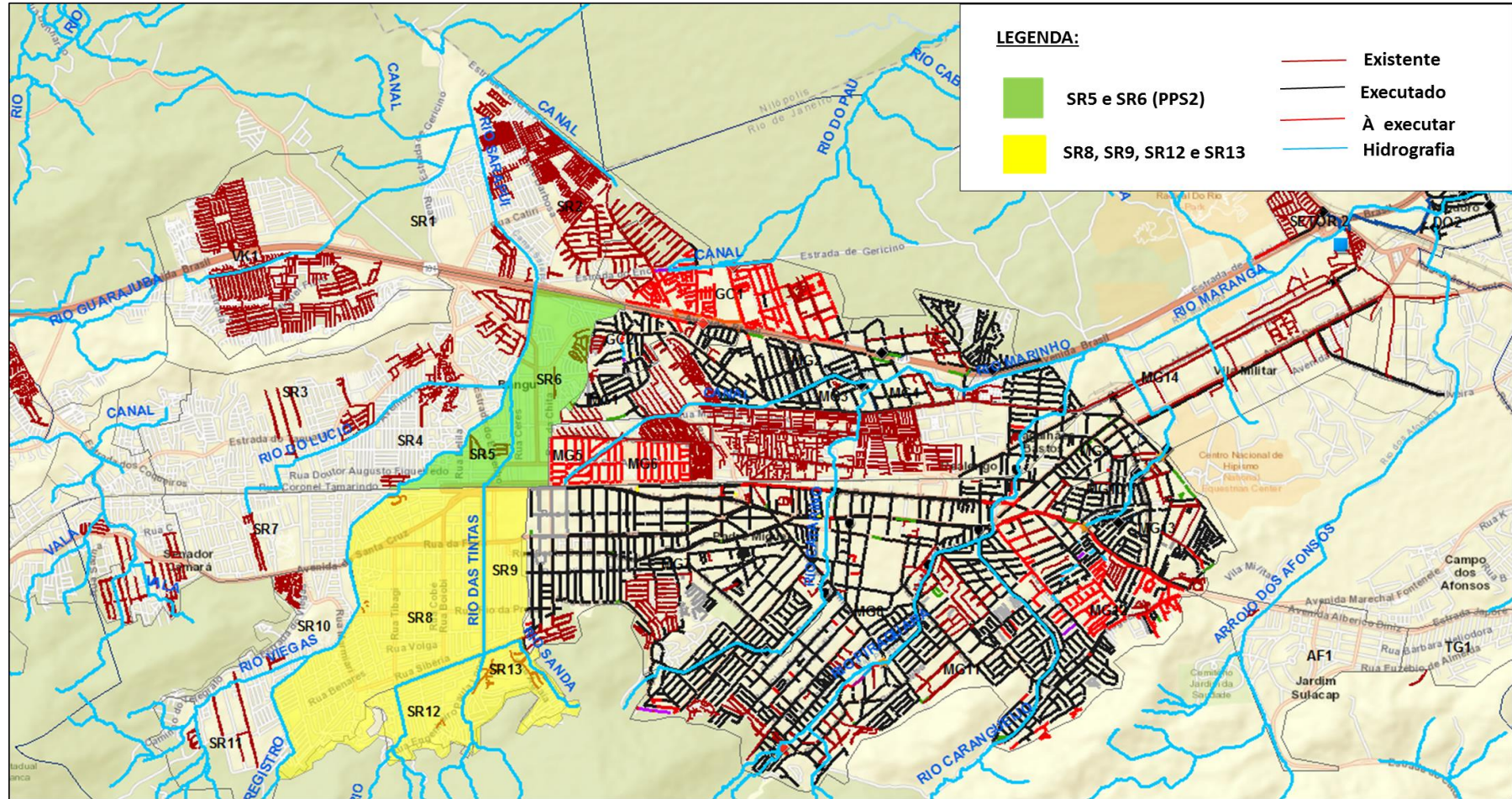


Figura 43 - Sistema de esgotamento sanitário na bacia do rio das Tintas

Fonte: Plano de Prestação de Serviços, 2017.

No que tange à poluição hídrica por sedimentos e resíduos sólidos na bacia hidrográfica do rio das Tintas, há assoreamento da calha, principalmente nos trechos em seção natural não revestidos, onde a manutenção periódica é fundamental para mitigar os impactos advindos dos processos erosivos. Assim sendo, deve-se ter especial atenção para as seções do rio Sandá, bem como em trechos a montante da Rua Píres Rebelo.

A Figura 44 apresenta imagens, capturadas durante a visita de campo, que demonstram na coluna 1 a poluição gerada a partir dos resíduos sólidos dispostos de forma errônea pela população da região. Desta forma, verifica-se a necessidade da implantação de procedimentos que busquem a educação ambiental. Na coluna 2 é destacado o deságue do esgotamento sanitário nos canais. Provavelmente, estas redes encontram-se em sistema unitário, já que as fotos foram capturadas em tempo seco e com dias antecedentes na ausência de chuvas.



Figura 44 - Poluição hídrica por despejo de resíduos sólidos e esgoto

5.2.

Aplicação do modelo SWMM

Para a realização da modelagem hidrológica e hidráulica da bacia de estudo será aplicado o modelo SWMM, e para isto, devem ser discriminados os cenários a serem estudados para a verificação dos resultados. Desta forma, foram inseridos dois cenários:

- Cenário 1: Cenário atual, em que são inseridos os parâmetros atuais de cada sub-bacia, bem como as dimensões e características atuais do canal do Rio das Tintas.
- Cenário 2: Cenário futuro, onde são selecionados e inseridos no sistema dispositivos com o objetivo de gerar soluções para os problemas encontrados no cenário 1.

5.2.1.

Coleta de dados e definição de parâmetros

Inicialmente, foram coletados dados na Fundação Rio Águas referente a área de estudo, incluindo a base aérea com delimitação dos logradouros em coordenadas UTM; a hipsometria da região; cadastros e projetos de redes de microdrenagem locais; perfis e seções transversais do canal do Rio das Tintas e seus afluentes e o Plano Diretor de Manejo de Águas Pluviais da Bacia hidrográfica do Rio Sarapuí.

A partir disso, através do *software* Autocad, foi possível delimitar a bacia do Rio das Tintas assim como definir os talvegues da região. As sub-bacias foram divididas em quatro principais, de forma que o traçado foi definido de acordo com a contribuição das sub-bacias para o Rio das Tintas e seus afluentes, conforme ilustrado na Figura 45. A sub-bacia S1 refere-se à contribuição do Rio Sandá, afluente do Rio das Tintas. Já a sub-bacia S2 caracteriza a contribuição do Rio das Tintas a montante das afluências e a sub-bacia S3 a contribuição do afluente esquerdo. Por fim, a sub-bacia S4 é caracterizada pelo Rio das Tintas após a contribuição de vazão dos seus afluentes.

Para a discretização das sub-bacias, primeiramente, foram definidos os nós de simulação, os quais foram inseridos nos pontos onde ocorre a mudança de seção nos canais, assim como nos locais em que ocorre alteração do revestimento dos

canais. Ademais foram inseridos nós em regiões que possivelmente são deságue de consideráveis redes de microdrenagem, bem como em pontos que possuem redução de seção nas travessias e queda d'água. Além disso, foram inseridos, estrategicamente, nós a montante e a jusante dos locais que abrigam possíveis áreas para a implantação de reservatórios de detenção.

Dessa forma, foram discretizadas as sub-bacias considerando os nós de simulação como pontos exutórios para cada uma delas. Estas foram delimitadas observando as cotas altimétricas bem como os cadastros e projetos de redes de microdrenagem disponíveis. Na Figura 45 também se encontram as sub-bacias discretizadas, estando os nós de simulação nos pontos de encontro entre os limites das sub-bacias e os canais.

Diante disso, iniciou-se a identificação das características e parâmetros necessários para a futura inserção de dados no modelo SWMM.

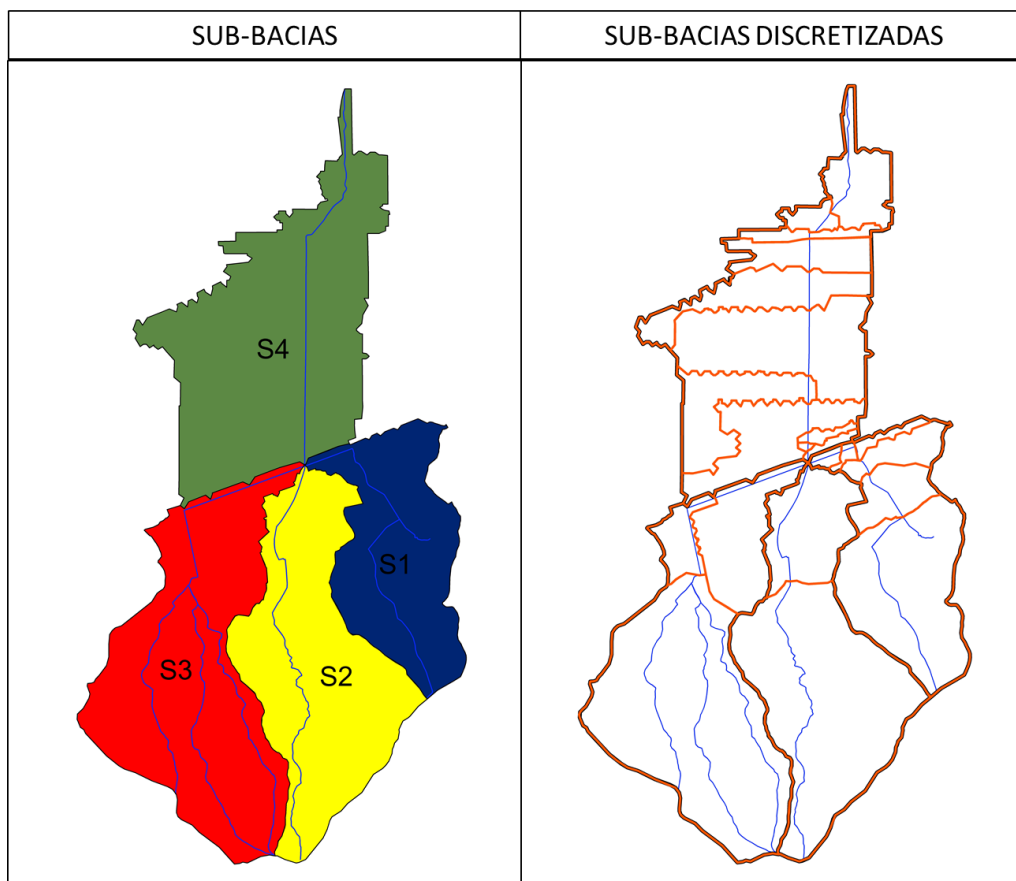


Figura 45 - Divisão das Sub-bacias

- Características das Sub-bacias

Para as sub-bacias, o modelo SWMM necessita da inserção de inúmeros dados que determinam as características das sub-bacias. A partir disso, foi utilizado o *software* Autocad, utilizando a base aérea em coordenadas UTM, para a determinação da área, largura, cálculo da declividade e a porcentagem de área permeável e impermeável de cada sub-bacia. Os principais itens solicitados pelo SWMM, assim como sua forma de obtenção são visualizados no Quadro 15.

As áreas permeáveis foram definidas como as áreas que não apresentam urbanização e são cobertas por floresta, além de incluir vinte por cento da área urbana, considerando que a parte permeável nestas áreas é coberta por grama. Estes parâmetros foram estabelecidos através de uma análise do uso do solo, observando o local por meio de imagens do Google Earth e por intermédio de visita de campo. Com os valores referentes as áreas permeáveis, obteve-se os respectivos percentuais de áreas impermeáveis. Outros dados como os coeficientes de rugosidade e as profundidades de armazenamento em depressões foram definidos com o auxílio das tabelas apresentadas pelo manual do modelo traduzido pelo LENHS (2012).

Para determinar a curva número do SCS em cada sub-bacia, primeiramente, foi necessário especificar o grupo hidrológico a qual a região pertencia. Desta forma, utilizou-se como referência para definição dos dados de solo, o mapeamento pedológico do município do Rio de Janeiro disponibilizado pela Embrapa (2004). A partir de dados mais específicos dos tipos de solo da região e a classificação hidrológica dos solos brasileiros realizada por Satori et al. (2005) foi possível identificar o grupo hidrológico do local de estudo. O Quadro 16 descreve as informações referentes ao solo e o grupo hidrológico escolhido.

A partir disso, foi determinado, conforme os parâmetros do SCS, o valor do CN de 74 para as áreas de floresta e de 85 para a área urbana. Desta forma, com estes valores e a porcentagem de área urbana de cada sub-bacia, foi realizada uma média ponderada em cada sub-bacia para determinação dos respectivos CN's, conforme pode ser visualizado no Quadro 15.

Quadro 15 - Características das sub-bacias

Sub-bacia	Área (ha)	W (m)	% Impermeável	n- Impermeável	n-Permeável	PA - Impermeável (mm)	PA - Permeável (mm)	%Área Imp s/ armazenamento	Declividade	CN
S1.1	83,26	562,93	10%	0,013	0,40	1,905	7,62	70	35,65%	75
S1.2	18,15	347,35	39%	0,013	0,35	1,905	6,86	70	9,21%	79
S1.3	14,01	255,97	50%	0,013	0,35	1,905	6,86	70	2,77%	81
S1.4	3,62	70,89	80%	0,013	0,15	1,905	3,81	70	1,25%	85
S1.5	1,76	92,24	80%	0,013	0,15	1,905	3,81	70	0,05%	85
S1.6	2,38	97,59	80%	0,013	0,15	1,905	3,81	70	0,81%	85
S2.1	138,81	628,96	1%	0,013	0,40	1,905	7,62	70	39,06%	74
S2.2	41,35	450,14	62%	0,013	0,35	1,905	6,86	70	1,54%	82
S3.1	164,39	707,46	3%	0,013	0,40	1,905	7,62	70	36,52%	74
S3.2	13,40	159,47	61%	0,013	0,40	1,905	7,62	70	5,43%	82
S3.3	41,51	277,48	74%	0,013	0,40	1,905	7,62	70	5,96%	84
S4.1	2,51	68,04	80%	0,013	0,15	1,905	3,81	70	1,60%	85
S4.2	0,52	46,35	80%	0,013	0,15	1,905	3,81	70	1,62%	85
S4.3	2,72	63,60	80%	0,013	0,15	1,905	3,81	70	3,29%	85
S4.4	38,48	214,84	80%	0,013	0,15	1,905	3,81	70	0,62%	85
S4.5	32,77	214,71	80%	0,013	0,15	1,905	3,81	70	0,44%	85
S4.6	67,13	306,52	80%	0,013	0,15	1,905	3,81	70	0,39%	85
S4.7	33,26	187,49	80%	0,013	0,15	1,905	3,81	70	0,13%	85
S4.8	19,93	188,76	80%	0,013	0,15	1,905	3,81	70	0,36%	85
S4.9	6,90	68,23	80%	0,013	0,15	1,905	3,81	70	0,14%	85
S4.10	6,06	84,94	80%	0,013	0,15	1,905	3,81	70	0,56%	85
S4.11	25,27	149,71	80%	0,013	0,15	1,905	3,81	70	0,56%	85

* W representa a largura da sub-bacia; n o coeficiente de rugosidade; e PA é a profundidade do armazenamento em depressão.

Quadro 16 - Tipo de solo e grupo hidrológico

Região		Código Embrapa	Descrição do Solo	Relação Textural	Grupo Hidrológico	Mapa Embrapa (2004)
Área de Floresta	Área mais a montante (perto do limite da bacia)	LVAd4	Latossolo vermelho-amarelo distrófico típico + Latossolo amarelo distrófico + Cambissolo háplico + Neossolo lítico, textura argilosa, fase floresta tropical subperenifólia, relevo montanhoso.	1,0 - 1,3	C	
	Área íngreme mais próxima da área urbana	PVAe3 (Perfil GB15)	Argilossolo amarelo eutrófico saprolítico, textura média/argilosa, fase floresta tropical subcaducifólia, relevo forte ondulado.	1,7	C	
Área Urbana		PVAe4	Argilossolo amarelo distrófico + argilossolo vermelho-amarelo eutrófico ou distrófico, textura média/argilosa, fase floresta tropical subcaducifólia, relevo forte ondulado.	1,7 - 2,6	C	

Fonte: Elaborado com base em Embrapa, 2004 e Sartori *et al.*, 2005.

- Características dos Nós e Conduitos

Os dados referentes aos nós e aos conduitos foram baseados nos projetos disponibilizados pela Fundação Rio Águas referentes ao Plano Diretor de Manejo de águas pluviais do Rio de Janeiro da bacia do Sarapuí. As cotas de fundo dos nós estão de acordo com os perfis disponibilizados, assim como as dimensões dos trechos concordam com as seções transversais dos projetos fornecidos para o estudo. Da mesma maneira, foram selecionados no órgão os projetos referentes aos afluentes do rio das Tintas, como é o caso do Rio Sandá, e os principais projetos disponíveis das redes de microdrenagem que contribuem para a bacia em estudo.

A numeração apresentada para os nós e conduitos estão de acordo com a numeração aplicada para as sub-bacias principais. O Quadro 17 demonstra as cotas de fundo (cotas de radier) e de terreno consideradas para os nós. Além disto, o Quadro 17 descreve as características de cada conduito requeridas pelo modelo. Os coeficientes de Manning foram estipulados de acordo com os parâmetros descritos em Rio Águas (2010).

Os conduitos das redes de macrodrenagem possuem diversas características distintas, como pode ser observado através das imagens da Figura 46, as quais foram fotografadas durante a visita de campo. As imagens número um e dois, desta figura, apresentam conduitos do Rio Sandá sem revestimento e manutenção, o que poderá proporcionar risco de erosão do solo. Além disso, na segunda imagem verifica-se redução de seção de um trecho do Rio Sandá. Já a imagem número três demonstra o Rio Sandá com a seção revestida de concreto na Rua Engenheiro Pires Rebello.

O Rio das Tintas é apresentado a partir da figura número quatro, a qual demonstra um conduito do rio a montante das afluências. A imagem número cinco ilustra a queda d'água existente no Rio das Tintas entre a Rua Barão de Capanema e a Rua da Fábrica. Este degrau foi considerado para a simulação hidráulica no modelo. A figura número seis demonstra mais uma redução de seção entre a Rua Barão de Capanema e a Rua da Fábrica. As principais reduções existentes nas travessias foram representadas no modelo. As imagens sete e oito demonstram o Rio das Tintas na Rua Barão de Capanema com seções de menores e maiores dimensões, respectivamente.

Quadro 17 - Características dos nós e trechos

	Características dos Nós			Características dos Condutos											Revestimento	Coeficiente de Manning
	Nó	Cota de fundo (m)	Cota de Terreno (m)	Trecho	L (m)	Tipo de Seção / Dimensões (m)										
						Circular	Retangular		Trapezoidal				Triangular			
							Base	Prof	Base	Prof	Decl. Esquerda	Decl. Direita	Base	Prof		
Rio Sandá	N1	61,51	62,71	T1	393,08				2,50	1,20	0,63	0,63			Grama/Solo	0,045
	N1.1	56,65	58,35	T1.1	121,44				2,60	1,70	0,65	0,65			Solo	0,045
	N1.2	55,07	56,77	T1.2	112,42				2,60	1,70	0,65	0,65			Solo	0,045
	N1.3	54,00	55,70	T1.3	87,77				2,30	1,70	0,94	0,94			Solo	0,045
	N1.4	53,28	55,10	T1.4	14,42	2 x 1,50									Concreto	0,013
	N1.5	53,10	55,10	T1.5	243,59				1,00	2,00	0,57	0,57			Concreto	0,015
Afluente Esquerdo	N3	64,49	65,80	T3	683,95	2 X 1,00									Concreto	0,013
	N3.1	55,50	57,20	T3.1	684,34				1,00	1,70	0,49	0,49			Concreto	0,015
Rio das Tintas	N2	65,14	66,74	T2	918,62				1,50	1,60	0,53	0,53			Grama/solo	0,045
	N4	51,52	53,82	T4	82,29								9,00	2,30	Concreto	0,015
	N4.1	50,53	52,65	T4.1	7,66	2 x 1,20									Concreto	0,013
	N4.2	50,30	52,52	T4.2	61,35								9,00	2,30	Concreto	0,015
	N4.3	49,69	52,15	T4.3	57,95								9,00	2,40	Concreto	0,015
	N4.4	49,18	51,62	T4.4	11,55	2 x 1,40									Concreto	0,013
	N4.5	48,89	51,50	T4.5	182,68								8,50	2,40	Concreto	0,015
	N4.6	47,08	49,45	T4.6	8,74	2 x 1,40									Concreto	0,013
	N4.7	46,87	49,00	T4.7	191,10								9,00	2,00	Concreto	0,015
	N4.8	45,41	47,53	T4.8	446,81								8,00	2,20	Concreto	0,015
	N4.9	41,27	43,20	T4.9	263,06								7,80	2,00	Concreto	0,015
	N4.9.1	39,59	41,71	T4.9.1	3,50		4,00	2,30							Concreto	0,015
	N4.10	39,58	41,70	T4.10	10,15		4,00	1,82							Concreto	0,013
	N4.11	38,51	41,83	T4.11	219,84		4,50	3,50							Concreto	0,015
	N4.12	37,42	40,92	T4.12	57,51		4,60	3,50							Concreto	0,015
N4.13	37,32	41,10	T4.13	200,84		6,00	3,30							Concreto	0,015	
N4.14	36,18	39,90	T4.14	940,59				5,67	4,00	0,89	0,57			Concreto	0,015	
Exutório	31,10	35,15														



1
Rio Sandá – Rua Alceri Maria da Silva



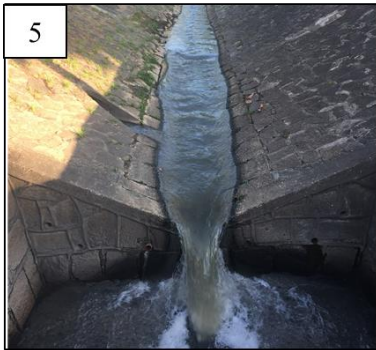
2
Rio Sandá – Redução de seção - Rua Padre Josino Tavares



3
Rio Sandá – Rua Engenheiro Pires Rebelo



4
Rio das Tintas a montante da Rua Engenheiro Pires Rebelo



5
Rio das Tintas - Queda d'água – Rua Barão de Capanema com Rua da Fábrica



6
Rio das Tintas - Redução de seção – Rua Barão de Capanema com Rua Mongólia



7
Rio das Tintas – Rua Barão de Capanema com Rua dos Banguenses



8
Rio das Tintas – Rua Barão de Capanema com Rua Tietê

Figura 46 - Imagens dos canais da área de estudo

- Dados Pluviométricos

Para a inserção da série temporal no modelo, foi utilizada a equação IDF (equação 2.9) para determinar a intensidade da chuva na bacia em estudo. Foi utilizado os índices referentes ao posto pluviométrico de Bangu conforme demonstrado no Quadro 18.

Quadro 18 - Índices do pluviômetro de Bangu para a equação IDF

Pluviômetro	a	b	c	d
Bangu	1.208,96	0,177	14	0,788

Fonte: PC-RJ-Cohidro (1992) *apud* Rio Águas, 2010.

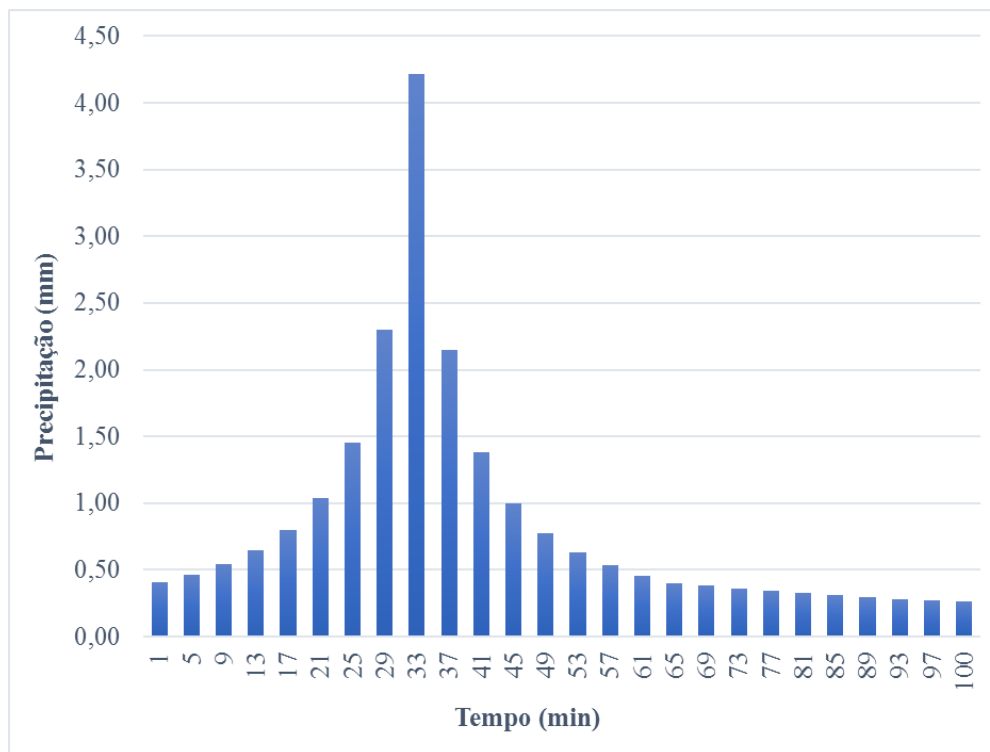
A partir disso, calculou-se a intensidade da chuva por minuto, considerando a duração do evento o dobro do tempo de concentração, conforme premissa utilizada pelo plano diretor de manejo de águas pluviais da cidade do Rio de Janeiro no estudo de alternativas para a bacia do Rio das Tintas. O tempo de recorrência utilizado foi 25 anos de acordo com a Fundação Rio Águas (2010). O tempo de concentração foi obtido a partir do somatório do tempo de percurso e do tempo de entrada, conforme as equações demonstradas no Capítulo 2 deste trabalho. Para o tempo de entrada foi utilizada a equação de Kerby (equação 2.8), para as áreas a montante do início dos talwegues, e a equação de George Ribeiro (equação 2.6) para as áreas de escoamento dos talwegues.

O tempo de percurso foi calculado a partir do método cinemático (equação 2.4) nos condutos de micro e macrodrenagem das sub-bacias. Sendo assim, obteve-se um tempo de concentração de 49,4 minutos no exutório da bacia do Rio das Tintas. Para a série temporal foi realizada a distribuição da chuva, por minuto, a partir de um hietograma em blocos alternados de acordo com o método do hidrograma unitário. O Gráfico 2 apresenta o hietograma para a precipitação decorrente da área de estudo.

Para a inserção dos dados no modelo, optou-se pela a distribuição da série na forma acumulada, em mm, utilizando a opção *cumulative* do programa na área de definição do pluviômetro. Desta forma, a precipitação total encontrada para a área,

na duração de 100 minutos, é de 85,28 mm. Todas as informações referentes a distribuição da chuva, por minuto, encontram-se no apêndice A.

Gráfico 2 - Hietograma para a precipitação de projeto



- Dados de Climatologia

Os dados de climatologia foram extraídos do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), o qual constitui uma ferramenta na qual disponibiliza informações, na forma digital, sobre as séries históricas das estações meteorológicas convencionais do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Para o estudo de caso, foram utilizados os dados de temperatura máxima e mínima, evaporação e velocidade média do vento durante o período de janeiro de 2015 até o início de abril de 2017.

5.2.2.

Modelagem da bacia no SWMM

Para a aplicação do estudo de caso no SWMM é necessário elaborar um modelo esquemático no qual contenham as sub-bacias, os condutos e os nós de simulação. A partir disso, é realizada a inserção de dados para posteriormente realizar a simulação. O esquema analítico demonstrado na Figura 47 ilustra os passos realizados para a elaboração do estudo de caso, para atingir um resultado vantajoso para a área.

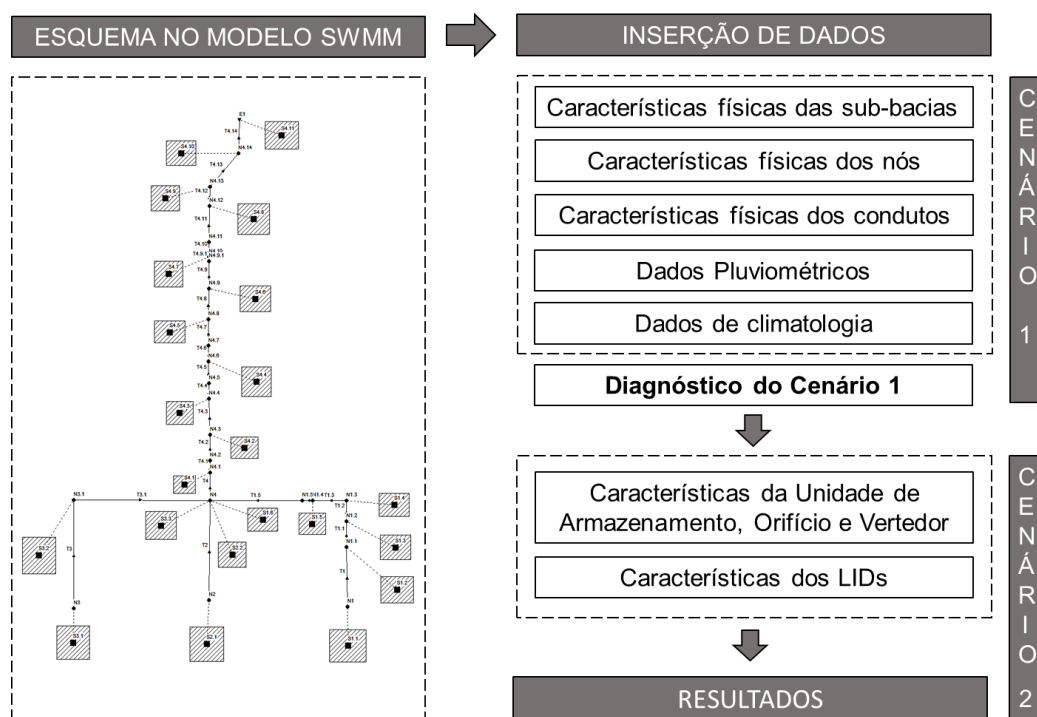


Figura 47 - Esquema analítico para a aplicação do modelo SWMM

Foi configurado no modelo prefixos para cada objeto, conforme apresentado no Quadro 19. A partir disso, as sub-bacias discretizadas, os condutos e os nós seguem uma numeração de montante para jusante, respeitando o grupo da sub-bacia principal a que pertence.

Para a definição do pluviômetro, foi inserida no modelo a série temporal (*Timeseries*) calculada a partir da equação IDF do posto de Bangu, como já mencionado. Introduziu-se no programa a série temporal por minuto e na forma acumulada, utilizando o formato *cumulative* do modelo. Desta forma, identificou-

se o pluviômetro como PLUV_TINTAS e vinculou este a série temporal criada, a qual denominou-se BANGU, conforme pode ser visualizado na Figura 48.

Quadro 19 - Tipo de solo e grupo hidrológico

Objeto	Prefixo do ID
Pluviômetros	PLUV
Sub-bacias	S
Nós	N
Exutório	E
Unidade de Armazenamento	DEP
Condutos	T
Orifício	ORF
Vertedor	VT

Editor de Série Temporal

Nome da Série Temporal:

Descrição:

Utilizar arquivo de dados externo. Nomeado a seguir:

Inserir os dados da série temporal da tabela abaixo
 Dados sem data se referem ao início da simulação

Data (D/M/Y)	Tempo (H:M)	Valor
	0:00	0
	0:01	0.41
	0:02	0.83
	0:03	1.27
	0:04	1.72
	0:05	2.19
	0:06	2.67
	0:07	3.17
	0:08	3.69

Visualizar... OK Cancelar Ajuda

Pluviômetro PLUV_TINTAS

Propriedades	Valor
Identificador	PLUV_TINTAS
Coordenada X	
Coordenada Y	
Descrição	
Etiqueta	
Formato de Precipitação	CUMULATIVE
Intervalo de Precipitação	0.01
Fator Neve	1.0
Origem de Dados	TIMESERIES
SÉRIE TEMPORAL:	
- Nome	BANGU
ARQUIVO:	
- Nome	*
- Nº Estação	*
- Unidade de Precipitação	IN

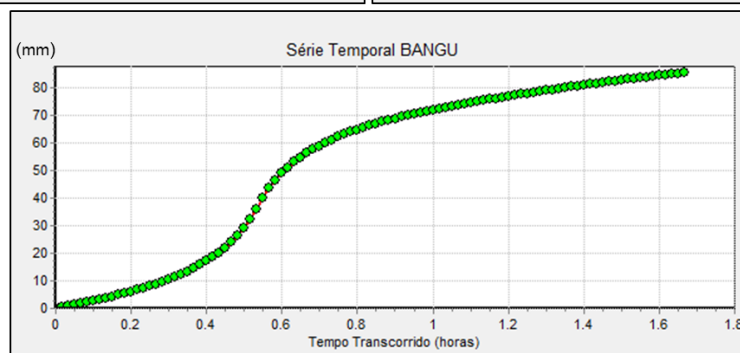


Figura 48 - Definição do pluviômetro no SWMM

Os dados de climatologia, obtidos pelo INMET, foram dispostos em um arquivo externo, seguindo o ordenamento exigido pelo modelo. Foram colocados, de forma ordenada, os dados referentes ao posto de medição; a data de medição, compondo o ano, o mês e o dia; os valores de temperatura máxima e mínima; os valores de evaporação e a velocidade do vento, respectivamente. Esse arquivo foi incluído no editor de climatologia do modelo, como demonstrado na Figura 49, tendo como função ser fonte de dados para todos os parâmetros de climatologia existentes na área de estudo.

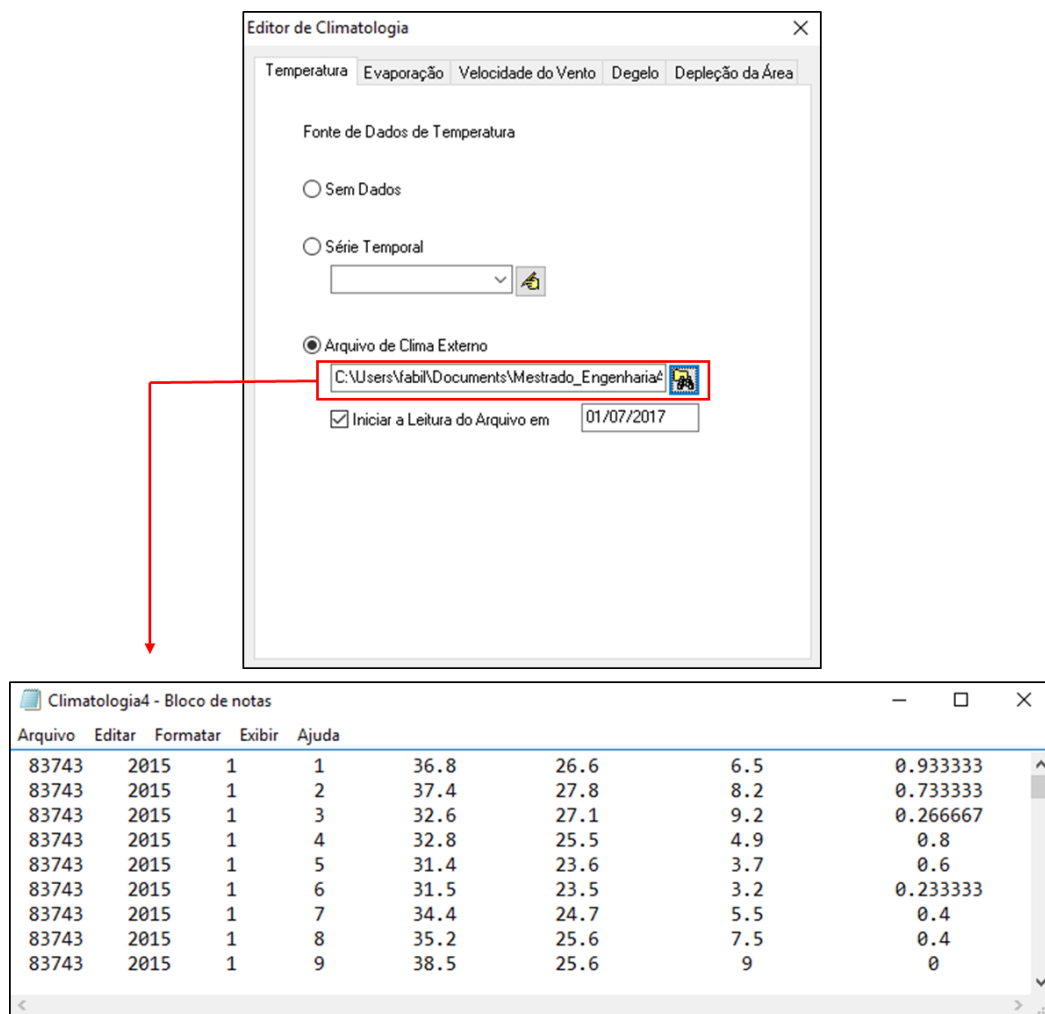


Figura 49 - Inserção dos dados de climatologia no modelo

Após a introdução de todos os dados necessários, são definidas as opções para a simulação. Para esta configuração optou-se pelo método de infiltração da curva-número (SCS) e o modelo de propagação de fluxo da onda dinâmica. Além disso, definiu-se analisar o processo até 10 horas da ocorrência do evento chuvoso, de

forma a visualizar o escoamento durante um longo período de tempo. Ademais optou-se por um período de 3 dias sem antecedência de chuva. Para o passo de tempo foi adotada uma propagação do fluxo de 5 segundos, para melhor identificação dos picos dos hidrogramas. Estes e outros parâmetros definidos para a simulação podem ser observados na Figura 50.

The figure displays four screenshots of the 'Opções de Simulação' (Simulation Options) dialog box, arranged in a 2x2 grid. Each window has tabs for 'Geral', 'Dados', 'Passo de Tempo', 'Onda Dinâmica', and 'Arquivos'. The settings shown are:

- Top-Left Screenshot:**
 - Modelo do Processo Físico:** Chuva/Vazão, Degelo de Neve, Águas Subterrâneas, Propagação de Fluxos, Qualidade da Água.
 - Opções Diversas:** Permitir Alagamento nos Nós, Relatório de Ações de Controle, Síntese dos Dados de Entrada, Pular Períodos Pseudo Estacionários.
 - Declividade Mín. de um Conduto:** 0 (%).
 - Modelo de Infiltração:** Horton, Green Ampt, Curva-Número.
 - Modelo de Propagação de Fluxo:** Regime Uniforme, Onda Cinemática, Onda Dinâmica.
- Top-Right Screenshot:**
 - Data (M/D/A):** 07/19/2017
 - Hora (H:M):** 00:00
 - Início da Análise:** 07/19/2017 00:00
 - Início do Relatório:** 07/19/2017 00:00
 - Fim da Análise:** 07/19/2017 10:00
 - Início da Variação:** 01/01
 - Fim da Variação:** 12/31
 - Dias Antecedentes sem Chuva:** 3
- Bottom-Left Screenshot:**
 - Relatório:** Dias: 0, Hr.Min:Seg: 00:05:00
 - Escoamento: Período de Tempo Seco:** 0, 00:00:05
 - Escoamento: Período Chuvoso:** 0, 00:00:05
 - Propagação (Fluxo):** 5 Segundos
- Bottom-Right Screenshot:**
 - Termo de Inércia:** Keep, Dampen, Ignore
 - Modo de Definição do Escoamento Supercrítico:** Declividade, Número de Froude, Ambos
 - Equação da Perda de Carga:** Hazen-Williams, Darcy-Weisbach
 - Período Variável:** Usar Fator de Ajuste (%): 75
 - Alongamento Artificial do Conduto:** Período (seg): 0
 - Área Superficial Mínima:** (Usar 0 para Área pré-definida) Metros Quadrados: 0

Figura 50 - Opções de simulação do modelo

A partir disso, executou-se a simulação e foi realizada uma análise dos resultados, diagnosticando o cenário atual (cenário 1).

5.2.3.

Apresentação e análise dos resultados

- Cenário 1 – Atual

Após a simulação do modelo, os resultados podem ser analisados a partir de um relatório de estado, no qual apresenta o balanço hídrico total do sistema; os erros de continuidade e os resultados instáveis do modelo; o escoamento superficial por sub-bacia; a profundidade, afluência, sobrecarga e inundação nos nós; a efluência no exutório; o fluxo nos trechos; a classificação dos escoamentos e a sobrecarga nos condutos.

Além disto, os resultados também podem ser visualizados na forma de tabelas, estatísticas e gráficos (perfis longitudinais, séries temporais e gráficos de dispersão). Desta forma, verificou-se que a bacia hidrográfica de estudo possui pontos de alagamentos e condutos em sobrecarga. Isto pode ser visualizado na Figura 51, a qual apresenta, a partir da representação esquemática do modelo, os principais resultados críticos encontrados.

Com isso, analisa-se estes pontos em destaque e percebe-se que os trechos com dupla seção circular, responsáveis pela travessia da rede nas vias e os quais apresentam uma redução de seção em relação aos trechos a montante, estão em sobrecarga. Ademais, verifica-se que o trecho T3, localizado no afluente esquerdo do Rio das Tintas, trabalha em sobrecarga devido a insuficiência da seção de microdrenagem implantada no local. Este trecho localiza-se na Rua Tibagi, o que explica os alagamentos frequentes ocorridos no local durante eventos de intensas precipitações. Verifica-se também a inundação do nó N4.9 e a sobrecarga do trecho T4.9, o qual localiza-se na Rua Barão de Capanema entre a Rua da Feira e a Rua da Fábrica, resultando em alagamentos na região.

O *software* trabalha de forma a representar a situação real do caso simulado, sendo assim, os nós que estão provocando alagamentos fazem com que parte da vazão seja acumulada nas vias até o momento em que a rede não esteja mais em sobrecarga. Portanto, os condutos a jusante de nós alagados também se encontram em situação crítica, pois deveriam estar escoando com uma vazão superior à apresentada.

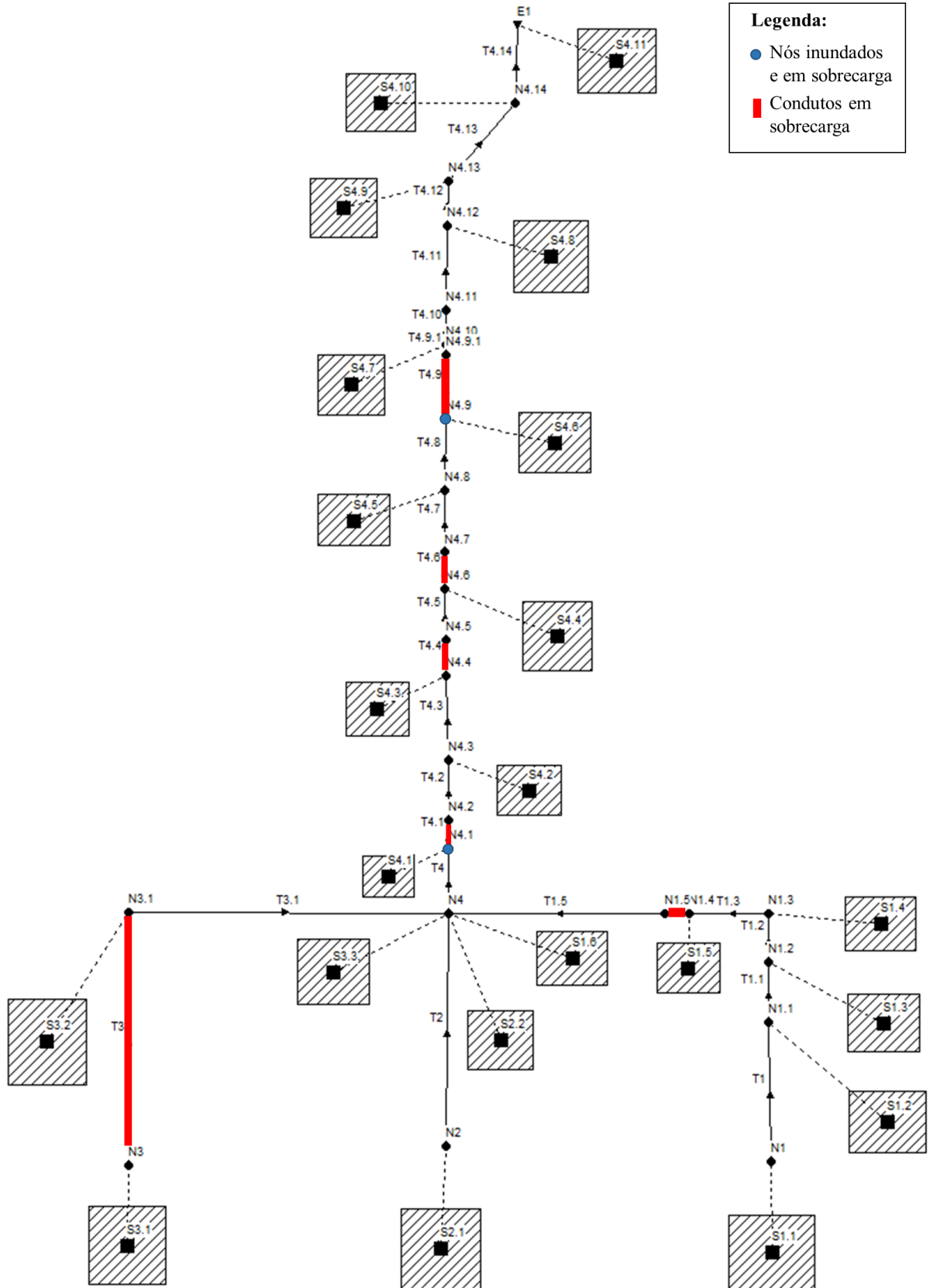


Figura 51 - Diagnóstico do Cenário 1

O sistema possui uma vazão máxima no exutório de 74,8 m³/s, obtida através do modelo hidrológico SWMM. Como forma de avaliação, a vazão assim como os dados referentes à distribuição da chuva, foram comparados com o último estudo elaborado pela Fundação Rio Águas em 2017 para esta bacia hidrográfica, em que foram utilizados outros métodos de dimensionamento para obtenção dos resultados do modelo hidrológico, constatando-se diferenças no entorno de 10%.

O SWMM apresenta uma animação na qual é possível visualizar o escoamento das águas pluviais no decorrer do tempo. Esse recurso pode ser utilizado verificando as características escolhidas, através de cores legendadas na representação esquemática desenvolvida, e através da visualização do escoamento nos perfis longitudinais.

A partir desse recurso de animação, foi desenvolvido na Figura 52 os perfis longitudinais de alguns trechos que se encontram em sobrecarga. Estes perfis representam o escoamento das águas pluviais, visualizadas na cor azul clara, em um tempo de quarenta minutos de precipitação, o qual representa o tempo de pico dos hidrogramas de cheias. Foram destacados, na imagem, os intervalos em que a linha piezométrica extrapola o nível máximo da seção do conduto, ou seja, os trechos não suportam a vazão considerada.

Sendo assim, a partir dos dados hidráulicos avaliados através do modelo, tem-se o seguinte diagnóstico da bacia hidrográfica no cenário atual:

- Sobrecarga no conduto T3, o qual pertence a rede de microdrenagem insuficiente, localizado na Rua Tibagi;
- As seções circulares de concreto do trecho T1.4, situadas na travessia da Rua Rangel Pestana com a Rua Padre Josino Tavares, estão em sobrecarga;
- Sobrecarga nas seções do trecho T4.1, localizado na travessia da Rua Mongólia com a Rua Barão de Capanema, com a respectiva inundação do nó N4.1;
- Sobrecarga nas seções do trecho T4.6, localizado na travessia da Rua Rio da Prata com a Rua Barão de Capanema;
- O conduto T4.9 situado na Rua Barão de Capanema entre a Rua da Feira e a Rua da Fábrica encontra-se em sobrecarga, assim como o respectivo nó N4.9 apresenta inundação;

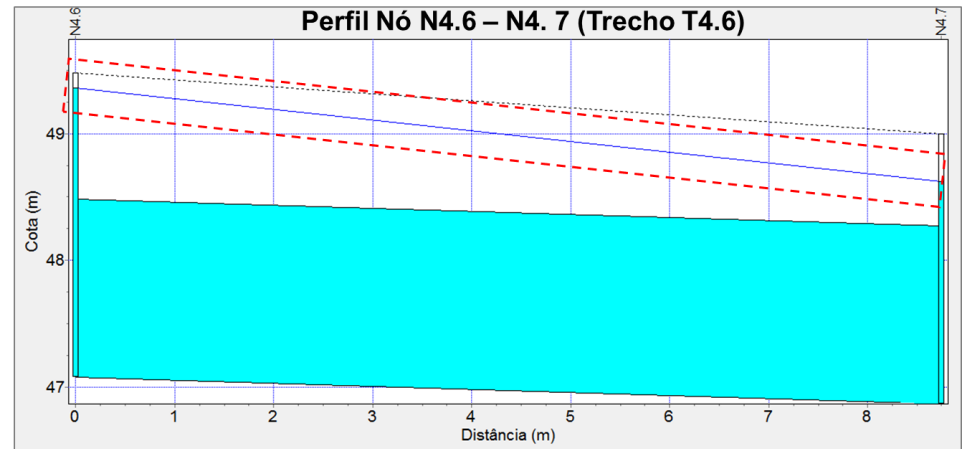
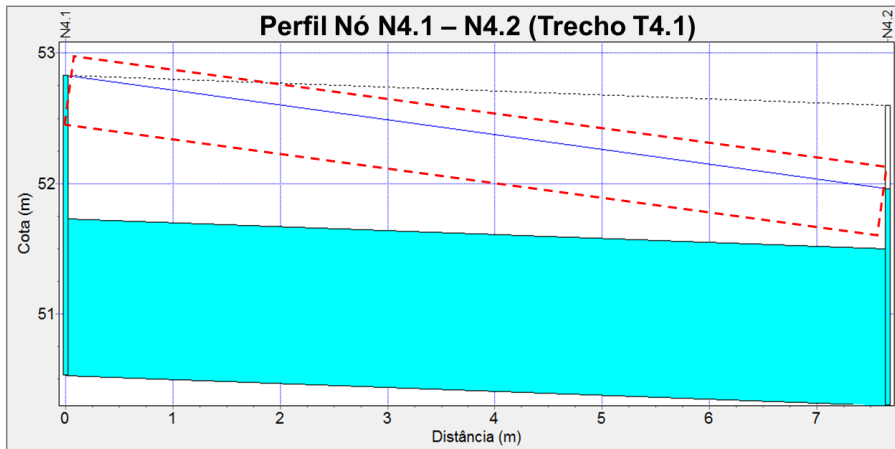
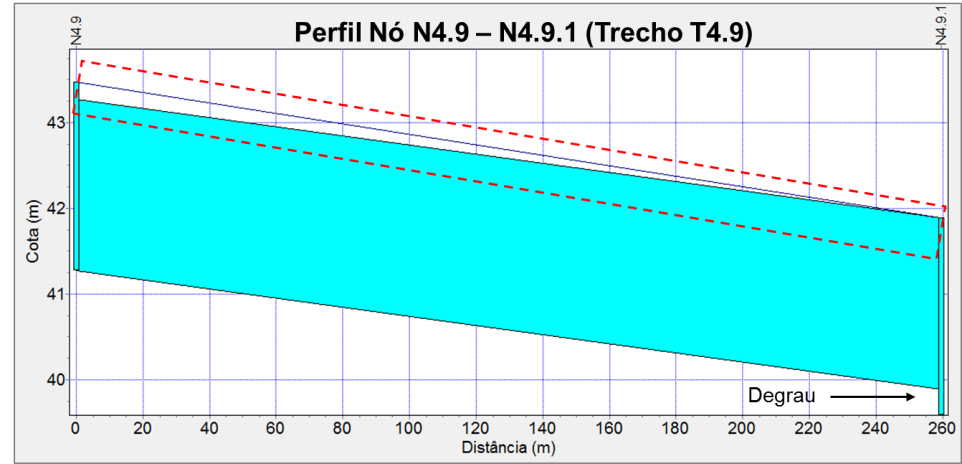
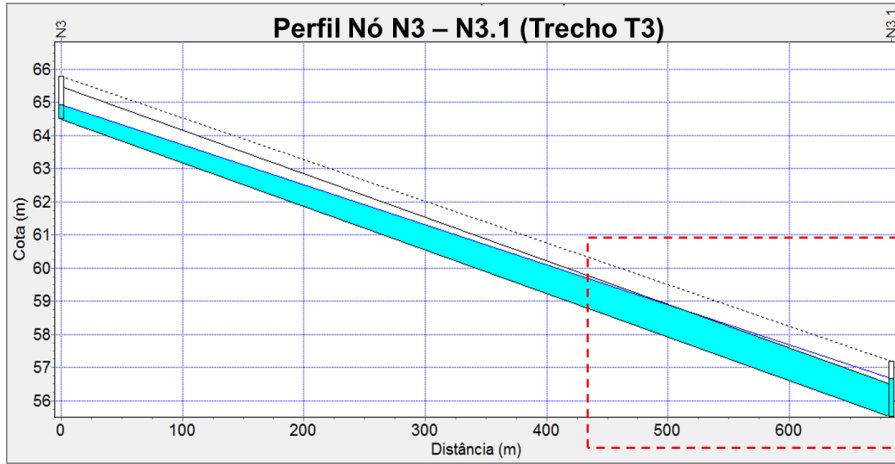


Figura 52 - Trechos e nós em sobrecarga no Cenário 1

- Cenário 2 – Reservação, aumento de seção e LID

No cenário 2, foram aplicadas as soluções para os problemas encontrados no cenário 1. Para isto, primeiramente, observou-se o comportamento da bacia a partir da atribuição de seções maiores, no modelo SWMM, para as áreas que apresentaram deficiências. Desta forma, verificou-se que as mudanças implicariam em um aumento significativo nas seções bem como na transferência de deflúvios para jusante em um tempo de percurso reduzido, ou seja, esta não é a solução ambientalmente adequada para a área.

Portanto, analisou-se a possibilidade da implantação de um reservatório de detenção *off-line* (em paralelo) para amortecer parte da vazão considerada. A partir disto, verificou-se a existência de uma área de 5400 m², a qual contempla um campo de futebol, propícia para a intervenção desejada. Esta região está localizada na Rua Barão de Capanema com a Rua dos Banguenses, em um loteamento público ao lado da Escola Municipal Célia Martins Menna Barreto, conforme visualizado na Figura 53, onde se encontra a demarcação da área de reservação e as imagens capturadas do local durante a visita de campo.



Figura 53 - Área de Reservação escolhida para a intervenção
 Fonte: Elaborado com base em ortofoto do Google Earth, 2017.

Sendo assim, iniciou-se o processo de definição das características necessárias para a intervenção. Antes disto, definiram-se as novas seções para os condutos e nós a montante do reservatório, que apresentaram problemas de sobrecarga e inundações. Todas as seções responsáveis pela travessia da rede nas vias e as quais apresentam uma redução de seção em relação aos trechos a montante foram redimensionadas, de forma que as seções apresentem capacidade hidráulica suficiente. Estas mudanças estão relacionadas no Quadro 20.

Quadro 20 -Mudanças de seções

Trecho	Cenário 1		Cenário 2	
	Seção (Largura x Prof)	Forma	Seção (Largura x Prof)	Forma
T3	2 x 1,00	Circular	1,5 x 1,5	Retangular fechada
T1.4	2 x 1,50	Circular	2,0 x 1,7	Retangular fechada
T4.1	2 x 1,20	Circular	3,6 x 2,3	Retangular fechada
T4.4	2 x 1,40	Circular	3,5 x 2,3	Retangular fechada
T4.6	2 x 1,40	Circular	3,5 x 3,0	Retangular fechada

Para a simulação do reservatório, no modelo SWMM, foram determinados os parâmetros necessários para o dimensionamento. A Figura 54 apresenta um croqui do corte transversal da área onde ocorrerá as intervenções.

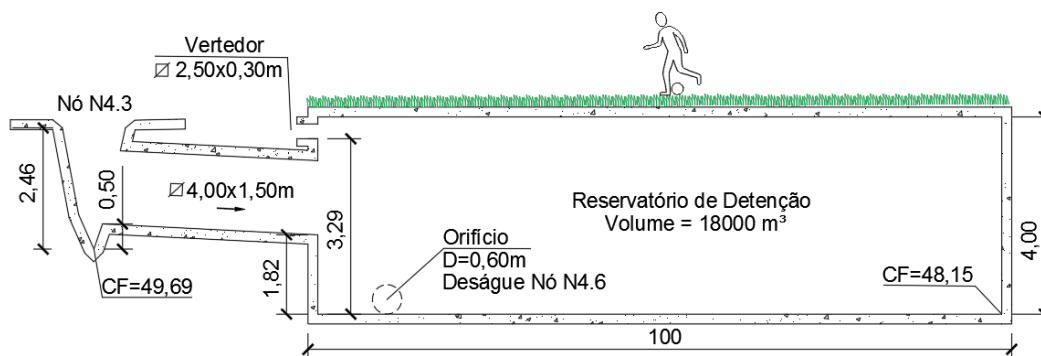


Figura 54 - Croqui do corte transversal da área de reservação

Nesta imagem pode-se verificar os valores definidos para a seção do conduto de saída do nó N4.3 da rede, as delimitações da área de reservação e as dimensões e profundidades das seções do vertedor e do orifício de fundo. Todos esses valores foram definidos de forma a obter a melhor adequação as dimensões disponíveis e atingir resultados hidráulicos satisfatórios.

A inserção dos dados de reservação é realizado através de um objeto, denominado pelo modelo como unidade de armazenamento, o qual funciona como um nó de simulação. Devem ser definidos os valores referentes à profundidade total e a cota de fundo, além de optar por umas das curvas disponibilizadas pelo programa para o dimensionamento. Foi escolhida a curva de armazenamento no formato tabular, onde são relacionadas as profundidades do reservatório com suas respectivas áreas em metros quadrados. A Figura 55 demonstra como foram inseridos os dados no modelo, desde a introdução do desenho esquemático à formulação da curva tabular e definição das características da unidade de armazenamento.

Posteriormente a inserção dos dados, foram analisados os resultados de forma a verificar a ocorrência do amortecimento da vazão e o retardo do tempo de pico do hidrograma no trecho o qual sofreu a intervenção. O Gráfico 3 demonstra os hidrogramas nos trechos imediatamente a montante e a jusante do nó responsável por transmitir o escoamento para o reservatório de detenção. A partir disto, pode-se perceber que o pico do hidrograma reduziu significativamente, de forma a amortecer 28,72% da vazão de entrada do reservatório e 11,63% da afluência total do sistema. Além disto, o tempo de pico do hidrograma sofreu um retardo de 10 minutos no trecho a montante do nó de entrada do reservatório e de 15 minutos no exutório da bacia.

Desta forma, adquiriu-se um resultado satisfatório para a rede de macrodrenagem da área, pois a redução da vazão escoada, assim como o retardo do tempo de pico pressupõe maior efetividade hidráulica para a rede existente. Na região acima dos reservatórios propõe-se a implantação de áreas de recreação, com a implementação de um novo campo de futebol, áreas verdes e academia da terceira idade. Além disto, é de essencial importância que haja um plano de manutenção bem estruturado para a realização do monitoramento frequente do reservatório, verificando a sua atuação e estabelecendo a limpeza periódica do mesmo.

Storage Editor de Curvas

Nome da Curva:

Descrição:

	Profundidade (m)	Área (m2)
1	0	5400
2	1	5400
3	2	5400
4	3	5400
5	4	5400
6		
7		
8		
9		

Visualizar...
Carregar...
Salvar...
OK
Cancelar
Ajuda

Unidade de Armazenamento DEP1

Propriedades	Valor
Identificador	DEP1
Coordenada X	3042.789
Coordenada Y	15324.881
Descrição	
Etiqueta	
Afluentes	NO
Tratamento	NO
Cota do radier	48.15
Profundidade Max.	4
Profundidade Inicial	0
Área Alagada	0
Fator de Evaporação	0
Infiltração	NO
Curva do Reservatório	TABULAR
Curva Funcional	
Coeficiente	1000
Expoente	0
Constante	0
Curva Tabular	
Nome da Curva	curva1

Curva da Storagecurva1

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1513165/CA

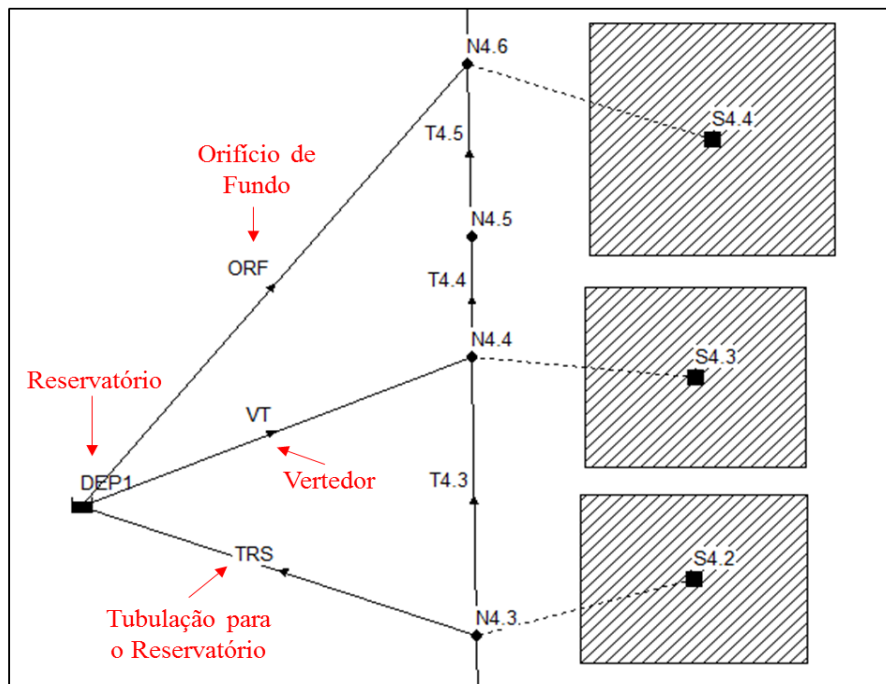
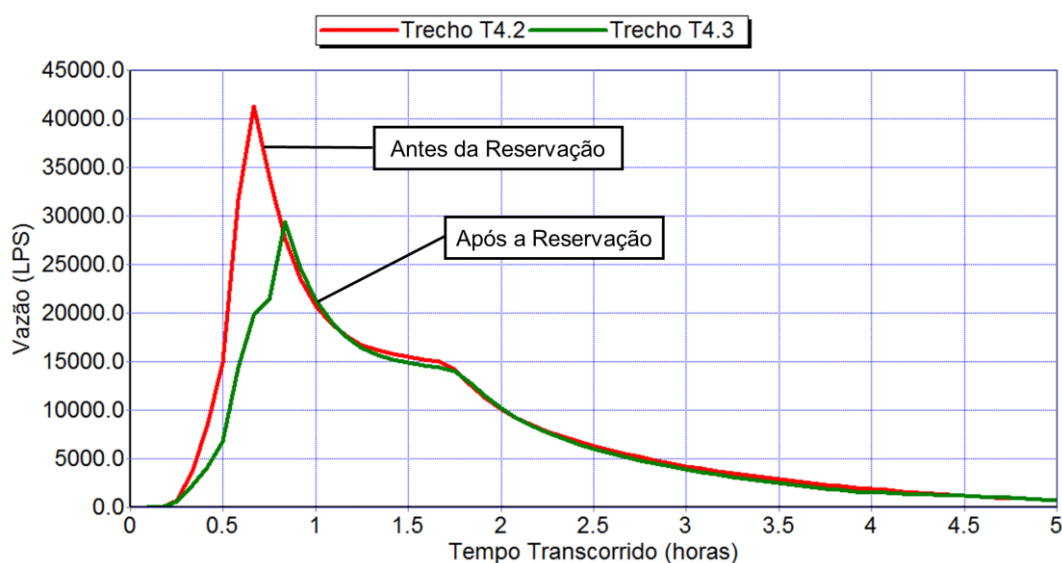


Figura 55 - Inserção da Unidade de armazenamento no modelo

Gráfico 3 - Hidrograma nos trechos antes e após reservação



Avaliando o comportamento hidráulico da rede a jusante do reservatório verificou-se, mesmo com o amortecimento gerado, a permanência de algumas deficiências nas seções. Pois existem condutos que continuam sendo insuficientes hidráulicamente, além de algumas velocidades prosseguirem sendo altas. Porém estas mudanças, são mais brandas em relação aquelas que seriam implicadas sem a implantação do reservatório. Ademais cabe ressaltar, que a reservação é uma medida estrutural que retarda o escoamento, tornando a área a jusante menos suscetível a inundações.

Sendo assim, propõe-se a realização de algumas alterações nas seções conforme indicado no Quadro 21. Neste quadro verificam-se as novas seções a jusante do reservatório. Sendo assim, obtém-se uma rede de macrodrenagem livre de sobrecargas nos trechos e inundações nos nós.

Para a redução das velocidades encontradas nos condutos é proposta a inclusão de degraus em alguns trechos. Os degraus foram inseridos na extremidade de saída de cada trecho. Os valores propostos para as alturas dos degraus nos condutos necessários podem ser visualizados no Quadro 22.

Além disto, o estudo propõe a inserção de dispositivos de infiltração nas margens dos canais da Rua Barão de Capanema, uma das principais vias da bacia, que comporta trechos do Rio das Tintas, os quais vêm sofrendo com as deficiências hidráulicas. Estas medidas além de infiltrar e minimizar o escoamento superficial,

valorizam ambientalmente o curso d'água. Para a introdução destes dispositivos no modelo SWMM, utilizou-se a ferramenta LID.

Quadro 21 - Mudanças de seções

Trecho	Cenário 1		Cenário 2	
	Seção (Largura x Prof)	Forma	Seção (Largura x Prof)	Forma
T4.7	9,00 x 2,00	Triangular	3,5 x 3,0	Retangular aberta
T4.8	8,00 x 2,20	Triangular	3,5 x 3,0	Retangular aberta
T4.9	7,80 x 2,00	Triangular	4,5 x 3,0	Retangular aberta
T4.10	4,0 x 1,82	Retangular fechada	4,0 x 3,0	Retangular fechada

Quadro 22 - Inclusão de degraus para redução de velocidade

Degraus	
Trecho	Altura dos degraus (m)
T4	0,10
T4.2	0,16
T4.3	0,10
T4.4	0,10
T4.5	0,50
T4.7	0,50
T4.9	0,3*
T4.12	0,30
T4.13	0,50
T4.14	0,40

* Degrau existente

Os dispositivos LID são representados pelas combinações de camadas verticais e suas respectivas propriedades. Foi utilizada a opção da bacia de filtração,

a qual funciona de forma similar as biovaletas. A Figura 56 demonstra a representação conceitual da bacia de filtração. Desta forma, tem-se as principais funções de cada camada conforme LENHS (2012):

- Camada Superficial: Superfície que recebe de forma direta a precipitação, armazena os excessos de afluência em depressões e gera os escoamentos que afluem para o sistema de drenagem ou para as áreas a jusante.
- Camada de Solo: É o solo preparado para a manutenção do crescimento vegetal no dispositivo.
- Camada de Armazenamento: Leito de britas, seixos ou cascalhos.
- Dreno profundo: Conduto que transporta a água que provem da camada de armazenamento. O modelo apresenta os drenos como uma camada opcional.

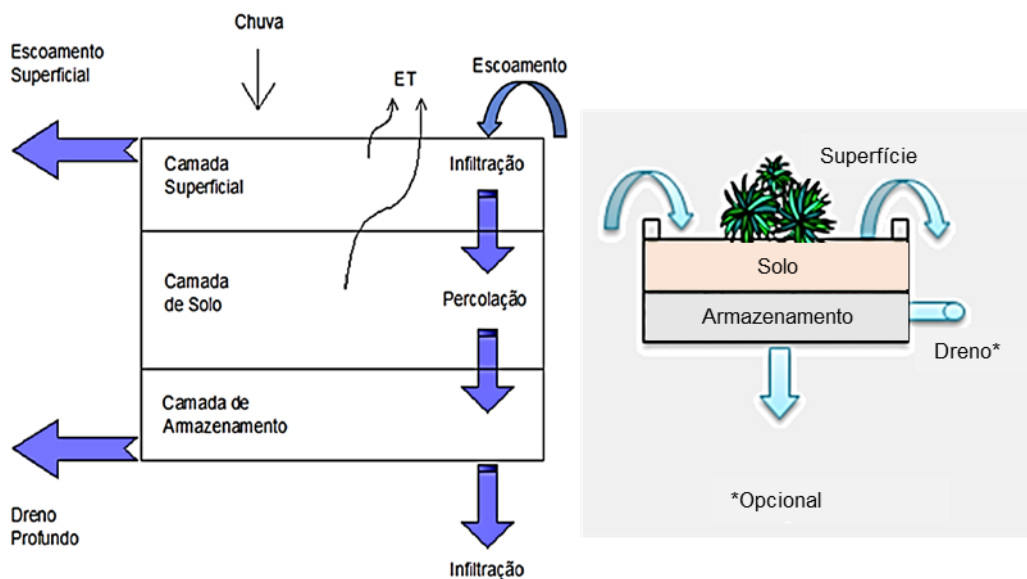


Figura 56 - Representação do controle LID

Fonte: LENHS, 2012 e adaptado de EPA SWMM.

Para a inserção dos dados referentes aos dispositivos LID, o modelo solicita a atribuição de propriedades para cada camada necessária. O Quadro 23 demonstra as características de cada camada utilizada para a inserção das bacias de filtração nas margens do Rio das Tintas na Rua Barão de Capanema.

A inclusão destes dados no modelo SWMM ocorre com a criação do controle LID, o qual está inserido nas opções de hidrologia do modelo. O controle criado é

incluído em cada sub-bacia de interesse, sendo necessária a redução da área impermeável da sub-bacia de forma proporcional a nova área LID inserida. Foram admitidos dois controles LID nas sub-bacias da Rua Barão de Capanema, um em cada margem do canal.

Quadro 23 - Características atribuídas as camadas do dispositivo LID

	Característica	Valor	Fonte
Camada Superficial	Profundidade de Armazenamento (mm)	100	Canholi (2013)
	Cobertura Vegetal	0,6	Estimado
	Rugosidade Superficial	0,24	Rio Águas (2010)
	Declividade Superficial (%)	0,8	Estimado
Camada de Solo (Solo Franco Arenoso)	Espessura (mm)	700	Canholi (2013)
	Porosidade	0,453	Rawls <i>et al.</i> (1983) <i>apud</i> LENHS (2012)
	Capacidade de Campo	0,19	Rawls <i>et al.</i> (1983) <i>apud</i> LENHS (2012)
	Ponto de murcha	0,085	Rawls <i>et al.</i> (1983) <i>apud</i> LENHS (2012)
	Condutividade Hidráulica (mm/h)	10,92	Rawls <i>et al.</i> (1983) <i>apud</i> LENHS (2012)
	Declividade de Condutividade	5	LENHS (2012)
	Potencial Matricial (mm)	109,98	Rawls <i>et al.</i> (1983) <i>apud</i> LENHS (2012)
Camada de Armazenamento (infiltração para o solo classe C)	Altura (mm)	200	Canholi (2013)
	Índice de Vazios	0,6	LENHS (2012)
	Taxa de Filtração (mm/h)	5,05	Tucci (1995) <i>apud</i> Tomaz (2010)
	Fator de Colmatação	0	LENHS (2012)

A partir da execução da simulação analisa-se os resultados encontrados de forma a verificar os impactos gerados no sistema. Foi possível visualizar que as

bacias de filtração de cada sub-bacia resultaram em uma perda por evaporação de 3,6% e uma perda por infiltração de 11,5% da precipitação total interceptada nas áreas ocupadas pelos dispositivos.

Considerando as perdas decorrentes de cada sub-bacia como um todo, é possível analisar o escoamento superficial admitido nos momentos anteriores e posteriores a inclusão dos controles LID no Quadro 24. Verifica-se que a redução de vazão concorda com a porcentagem ocupada pelos controles LID nas sub-bacias. Ou seja, a área de ocupação dos dispositivos LID é muito pequena em relação a área total da sub-bacia, sendo assim a porcentagem de perda por infiltração e evaporação é reduzida. Porém os resultados foram positivos, e se pensarmos na ocupação de controles LID em grandes áreas, teremos resultados cada vez melhores levando a uma grande redução do escoamento superficial.

Quadro 24 - Redução gerada com a inserção do controle LID

	Escoamento Superficial anterior ao LID (L/s)	Escoamento Superficial posterior ao LID (L/s)	Diferença de Vazões (L/s)	% da Redução do escoamento superficial	% LID ocupada na Sub-bacia
S4.1	1004,89	991,39	13,50	1,34%	0,88%
S4.2	267,04	253,80	13,24	4,96%	2,98%
S4.3	1155,11	1141,41	13,70	1,19%	0,75%
S4.4	6769,22	6759,48	9,74	0,14%	0,13%
S4.5	5731,74	5721,21	10,53	0,18%	0,17%
S4.6	9235,22	9220,41	14,81	0,16%	0,20%
S4.7	3706,51	3699,68	6,83	0,18%	0,23%
S4.8	3941,30	3925,17	16,13	0,41%	0,32%

Desta forma, é interessante e recomendável a replicação de controles LID em toda a bacia. Ou seja, além das bacias de filtração nas margens dos canais deve-se investir na implantação de outras tipologias de infraestrutura verde como os telhados verdes nas coberturas de casas e edifícios, a inclusão de pavimentos permeáveis e áreas verdes em loteamentos, e entre outras opções existentes que reduzam o escoamento superficial. Sendo assim, considerando os resultados positivos encontrados com os controles LID inseridos no projeto e adicionando outras medidas estruturais nos loteamentos existentes, é possível que a bacia atinja um alto potencial de infiltração, além de importar uma nova paisagem para a área.

Sendo assim, o cenário 2 incluindo todas as soluções consideradas resulta em um balanço hídrico final conforme indicado no Quadro 25, considerando que hidraulicamente, o tempo de escoamento foi retardo e a vazão reduzida devido a proposta de reservação.

Quadro 25 - Balanço Hídrico Final

Balanço Hídrico	
Precipitação (mm)	85,28
Perdas por Evaporação (mm)	2,874
Perdas por Infiltração (mm)	38,964
Escoamento Superficial (mm)	42,664
Armazenamento Superficial final (mm)	0,778

5.2.

Valorização do Rio das Tintas

Para valorizar a paisagem urbana da região e principalmente a interação da sociedade com o meio hídrico propõe-se algumas intervenções urbanísticas ao redor do Rio das Tintas. A proposta refere-se a inclusão de ciclovias, iluminação, áreas verdes e de recreação na Rua Barão de Capanema, já que atualmente, esta rua é utilizada para o lazer aos domingos e feriados.

Além disto, as ciclovias funcionarão como continuação para as já existentes na Avenida Engenheiro Pires Rebelo, cabendo somente a melhoria da sinalização necessária e a revitalização das áreas verdes na avenida. A Figura 57 apresenta imagens referente à ciclovia existente da Avenida Engenheiro Pires Rebelo e o informativo sobre o funcionamento da Rua Barão de Capanema como área de lazer.

Propõe-se a implementação de ciclovias, preferencialmente em pavimentos porosos, em cada lado da margem do Rio das Tintas, cada qual em uma direção. Optou-se por reduzir as passagens de automóveis, já que se trata de uma via em uma região residencial, além de estimular o uso de transporte não-motorizado. As dimensões das ciclovias, assim como a faixa de rolamento, foram estipuladas de acordo com os parâmetros mínimos estabelecidos pela Subsecretaria de Obras e Projetos Viários da Prefeitura do Rio de Janeiro (2013).

Para a segurança dos pedestres e ciclistas optou-se por estabelecer, além da largura mínima de 1,20 metros para a ciclovia unidirecional, uma faixa de serviço para arborização e iluminação pública (Prefeitura do Rio de Janeiro, 2013).



Rua Barão de Capanema – área de lazer

Avenida Engenheiro Pires Rebelo – ciclovia existente

Figura 57 - Área de Lazer e Ciclovias na região

Fonte: Acervo Pessoal, 2017.

Quanto as áreas de recreação, propõe-se a inclusão de equipamentos urbanos de lazer na região localizada acima dos reservatórios de detenção, a qual terá acesso tanto para a Escola Municipal Professor Célia Martins Menna Barreto quanto para a Rua Barão de Capanema. Sugere-se, ainda, a integração da Praça Guaicurus Piranema com as intervenções a serem realizadas nas margens do Rio das Tintas, adicionando áreas de recreação ao parque e trazendo vitalidade para a região. Também seria interessante o incentivo da iniciativa pública quanto a implementação de eventos culturais na área.

As áreas verdes serão distribuídas a partir dos dispositivos LID nas margens do rio das Tintas, assim como nos locais destinados a recreação. As Figura 58 e Figura 59 apresentam os desenhos esquemáticos que demonstram as propostas para a valorização da área e do curso d'água em estudo.

Vale ressaltar, que a qualidade da água é um elemento de extrema importância para a valorização do meio hídrico. Desta forma, é essencial que a esfera pública implemente os projetos necessários para que os cursos d'água da bacia hidrográfica possuam bons padrões de qualidade.

O ideal e recomendado para projetos futuros é que a área verde seja reproduzida nas margens de todos os canais da bacia hidrográfica, de forma a estabelecer a conexão da vegetação nativa e das áreas multifuncionais. Além disso, implica-se na decorrência de corredores verdes interligando as áreas verdes desde a vegetação nativa da Serra do Bangu até a vegetação ripícola do exutório. Sendo assim, seria importante, para continuar estabelecendo a interação dos sistemas naturais e antrópicos, que estas ligações ocorram em toda a bacia hidrográfica e se repliquem para as demais bacias a jusante.

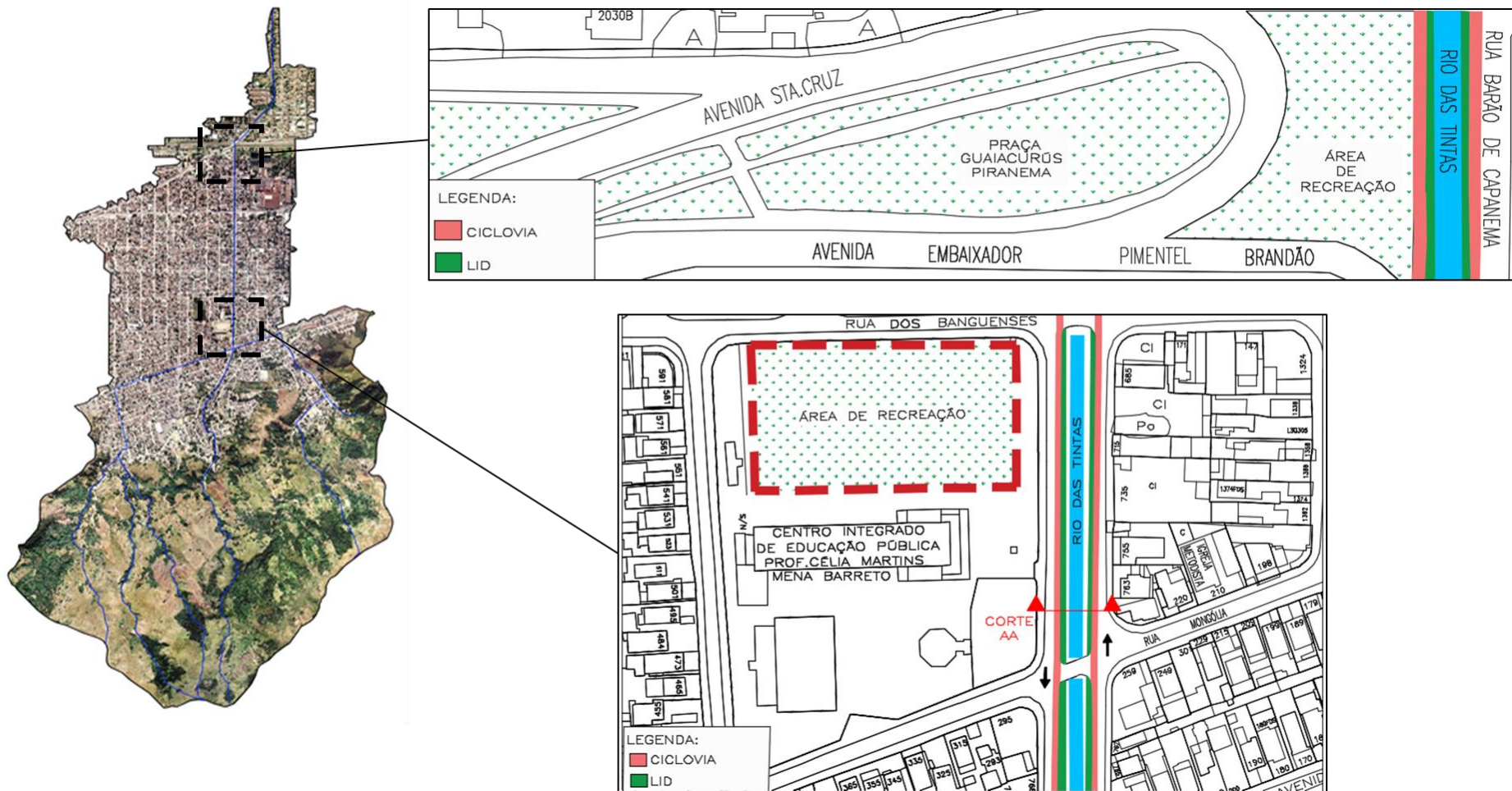


Figura 58 - Intervenções urbanísticas na Rua Barão de Capanema

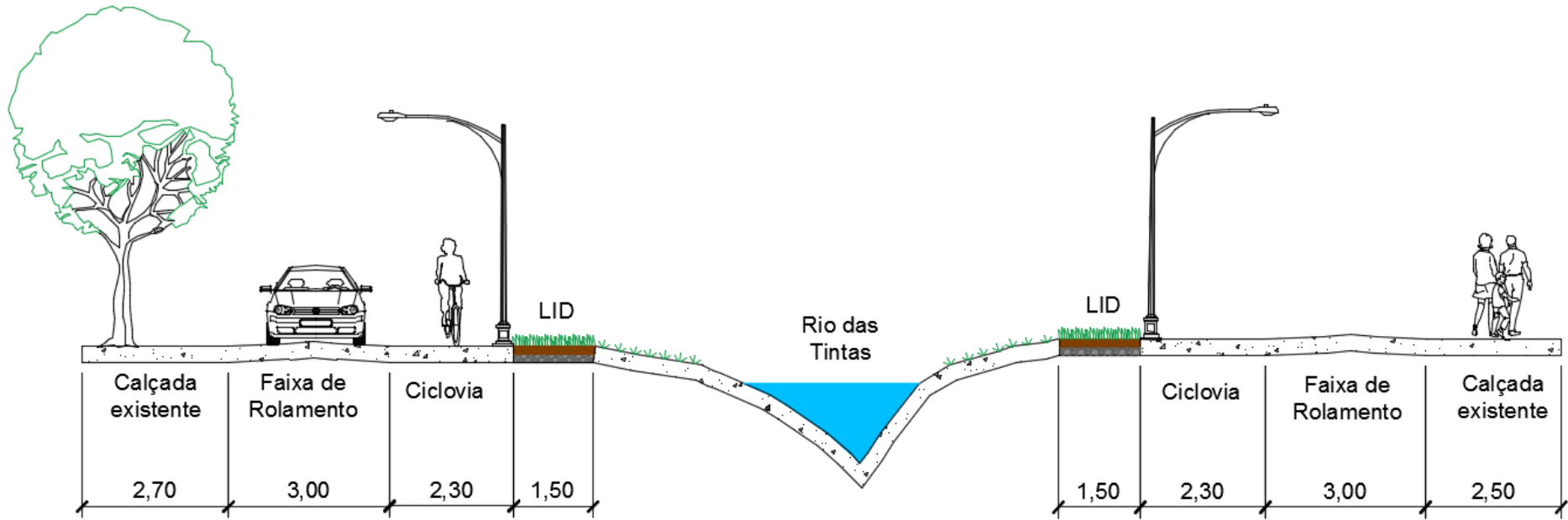


Figura 59 - Corte longitudinal esquemático (AA) da Rua Barão de Capanema

6.

Conclusão e Recomendações

Ações e técnicas referentes à valorização de cursos d'água na paisagem podem perfeitamente integrarem-se à utilização de medidas compensatórias para o controle e gerenciamento de cheias urbanas, contribuindo, de forma associada, à construção de espaços e ambientes sustentáveis às comunidades circunvizinhas. Tais ações também induzem a um aumento da resiliência das cidades aos eventos de chuvas intensas, na medida que promovem a redução dos picos dos hidrogramas e ainda, nos casos de medidas de reservação, o conseqüente retardo dos tempos de ocorrência dos mesmos.

O desenvolvimento de diversas propostas com abordagens relacionadas à drenagem urbana sustentável, em uma evolução dos conceitos referentes à interligação da natureza com o meio urbano, conduz a uma linha de pesquisa de suma importância para a resiliência das cidades. A utilização de melhores práticas de gestão (BPM's), de técnicas de baixo impacto (LID) e de sistemas de drenagem sustentável (SUD's) contemplam um rol de intervenções que se caracterizam, em linhas gerais, pelo planejamento da conservação e restauração dos recursos naturais, em associação com o conceito de multidisciplinaridade de sistemas.

A estruturação de planos diretores de águas pluviais são ferramentas de gestão essenciais para diagnosticar os impactos adversos no âmbito do sistema de drenagem urbana. Além disto, estes estudos são responsáveis por elaborar estratégias que controlem os impactos quantitativos e qualitativos em uma bacia hidrográfica, desenvolvendo planos que viabilizem economicamente a implementação de projetos que estejam de acordo com as legislações vigentes. Sendo assim, é indispensável o desenvolvimento destes para a gestão urbana, de forma a alcançar objetivos efetivos para a sociedade e o meio ambiente.

Modelos matemáticos de simulação hidrológica e hidráulica permitem uma análise mais específica e abrangente do fenômeno físico, na medida que viabilizam a definição e construção de cenários para a avaliação de parâmetros hidrológicos e

hidráulicos fundamentais no controle e gerenciamento do manejo das águas pluviais urbanas. Sendo assim, o uso destas ferramentas por gestores da esfera pública e privada torna-se imperativo, incrementando o potencial dos resultados a serem apresentados nos projetos desenvolvidos.

A partir do estudo de caso na bacia hidrográfica do rio das Tintas, na zona oeste da cidade do Rio de Janeiro, utilizando o modelo hidrológico-hidráulico *Storm Water Management Model* (SWMM) foi possível constatar que a área apresenta diversos pontos de alagamentos e trechos do curso d'água trabalhando em sobrecarga durante eventos de chuvas intensas, proporcionando inundações na região. A simulação computacional, através do modelo matemático SWMM, viabilizou a realização de um diagnóstico amplo, capaz de avaliar as variáveis hidrológicas e hidráulicas presentes na área de estudo. A partir disso, foi possível encontrar alternativas capazes de mitigar os impactos negativos diagnosticados na região.

A implementação do reservatório de retenção *off-line*, como medida compensatória, resultou em um amortecimento total da vazão de pico, na seção de deságue no rio Sarapuí, de 74,8 m³/s para 66,1 m³/s, representando uma redução de 11,6% da afluência inicial do sistema, para um tempo de recorrência de 25 anos. Este fato, além de promover uma redução do pico do hidrograma de cheia também retardou em 15 minutos o tempo de pico no exutório. Sendo assim, constata-se que a contemplação desta medida trouxe resultados satisfatórios, de forma a compensar parte dos impactos gerados pela intensa urbanização da bacia hidrográfica, aumentando a resiliência local.

Cabe ressaltar, que para o funcionamento seguro do reservatório de amortecimento, a manutenção e a operação deste é indispensável. Desta forma, cabe aos órgãos públicos responsáveis estabelecer programas de monitoramento contínuo para garantir estruturas em boas condições, assegurando a limpeza e a inspeção frequente, o funcionamento hidráulico e a preservação para fins múltiplos de utilização da área.

Além disto, é essencial a manutenção dos taludes dos canais que estão dispostos em sua forma natural, de maneira a evitar erosões e o posterior assoreamento da calha dos cursos d'água. Ademais, torna-se imperativo contemplar programas de educação ambiental que conscientizem a população quanto a destinação dos resíduos sólidos, demonstrando que a disposição destes em locais

inadequados comprometem o fluxo das redes de micro e macrodrenagem, além de gerar inúmeros outros impactos sociais e ambientais negativos.

As alterações de algumas seções do canal, assim como os degraus propostos para a redução da velocidade da água, são soluções que concretizam a instauração de uma rede de macrodrenagem segura quanto ao controle de inundações. Além disso, a implantação de uma rede de microdrenagem hidraulicamente eficiente é fundamental para que juntamente com a macrodrenagem, o sistema seja capaz de controlar inundações e cessar a ocorrência de alagamentos na região.

Quanto a poluição hídrica, percebe-se que a região de estudo apresenta um diagnóstico atual no qual verifica-se a inadequada qualidade da água devido a existência de sistemas unitários de esgotamento sanitário sem o adequado tratamento dos efluentes, além da disposição indevida dos resíduos sólidos. Desta forma, é imprescindível que os projetos elaborados para sistemas de esgotamento sanitário do tipo separador absoluto sejam desenvolvidos e instaurados na área.

A inclusão de elementos de baixo impacto ambiental (LID) nas margens do Rio das Tintas, na Rua Barão de Capanema, aumentou a infiltração das águas pluviais com a conseqüente redução do escoamento superficial. As medidas de infiltração adotadas resultaram em uma perda por evaporação de 3,6% e uma perda por infiltração de 11,5% da precipitação total interceptada nas áreas ocupadas pelos dispositivos. Estas medidas trazem maior valorização para o curso d'água e aumentam o contato da população local com as áreas verdes.

As alterações urbanísticas propostas para a região, juntamente com a inclusão de dispositivos LID, trouxeram elementos que estabelecem a interação entre os fatores naturais e antrópicos, recuperando e valorizando a margem do curso d'água, incluindo áreas de lazer e incentivando o uso de transporte não poluente. Desta forma, são acrescidos instrumentos que favorecem a manutenção de um meio ambiente saudável e integram-se os preceitos de sustentabilidade social e ambiental em busca do desenvolvimento sustentável.

Recomenda-se para trabalhos futuros, a realização de análises da qualidade da água da bacia hidrográfica do Rio das Tintas no momento anterior à implementação dos projetos de sistemas do tipo separador absoluto, e em uma ocasião posterior à esta, de forma a realizar uma avaliação comparativa dos resultados, verificando a importância da melhoria quanto a redução da poluição hídrica.

Também é recomendado para projetos futuros, que a área verde seja reproduzida nas margens de todos os canais da bacia hidrográfica do Rio das Tintas, estabelecendo uma conexão da vegetação nativa com as áreas multifuncionais. Além disso, a realização de projetos, com mais detalhes urbanísticos e ecológicos, que desenvolvessem a interligação, por meio de corredores verdes, da vegetação nativa da Serra de Bangu até a vegetação ripícola do exutório implicaria na implementação de uma paisagem urbana onde os sistemas naturais estão conectados e podendo exercer suas funções bióticas e abióticas. Sendo assim, seria importante, que além destas ligações ocorrerem em toda a bacia hidrográfica, estas se repliquem para as demais bacias a jusante, para que a conexão esteja estabelecida até o exutório final na baía de Guanabara.

Ademais, é interessante contemplar estudos que visem a reprodução de outras tipologias de infraestruturas verdes nos loteamentos da região e em outras áreas urbanas da bacia, demonstrando que quanto mais dispositivos de infiltração são distribuídos, maiores são os resultados encontrados referentes a redução do escoamento superficial na bacia hidrográfica. Além da característica funcional para minimizar os efeitos de intensas precipitações, estas medidas trazerem elementos que valorizam, de forma ecológica, a paisagem urbana.

Espera-se que o presente trabalho contribua para que órgãos públicos, urbanistas, engenheiros e demais pesquisadores desenvolvam projetos que visem soluções técnicas e funcionais integradas à elementos ecológicos que busquem o desenvolvimento sustentável. Almeja-se a promoção e o incentivo de estudos específicos que utilizem metodologias para a produção de análises que impliquem no manejo sustentável das águas pluviais urbanas.

7.

Referências bibliográficas

ABNT. **NBR n° 13969, de setembro de 1997**. Dispõe sobre Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação.

ACSERLAD, Henri. **Discursos da Sustentabilidade Urbana**. R. B. Estudos Urbanos e Regionais n°1, 1999. Disponível em <<http://rbeur.anpur.org.br/rbeur/article/view/27>>. Acesso em 4 mai. 2017.

ALCÂNTARA, Ulysses M. A. de. **Roteiro para o Projeto de Galerias de Águas Pluviais de Seção Circular**. AIDIS. Rio de Janeiro, Ano I, n° 1, 1962.

ALERTA RIO. **Condições de Chuva**. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <<http://alertario.rio.rj.gov.br/alertas/condicao-de-chuva/>>. Acesso em 4 jul. 2017.

ALVES, E.M. **Medidas não-estruturais na prevenção de enchentes em bacias urbanas: Cenários para a bacia do Gregório, São Carlos - SP**. São Carlos, 2005. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-15032016-141401/pt-br.php>>. Acesso em 15 set. 2016.

ARAÚJO, Eloisa Carvalho de. **Cidades verdes: contribuições para o debate sobre rios urbanos e corredores verdes**. Cidades Verdes, Periódico Técnico e Científico, v.03, n.05, pp. 117-132, 2015. Disponível em: <http://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/cidades_verdes/article/view/958>. Acesso em 10 mai. 2017.

BAPTISTA, Márcio; NASCIMENTO, Nilo; BARRAUD, Sylvie. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. Porto Alegre: ABRH, 2005.

BASSO, R.E *et al.* **Revisão das isozonas de chuvas intensas do Brasil**. Santa Maria - Rio Grande Sul, 2016.

BIBLIOTECA NACIONAL. **Rio 450 anos - Bairros do Rio - Bangu**, 2015. Disponível em: <<https://www.bn.gov.br/acontece/noticias/2015/05/rio-450-anos-bairros-rio-bangu>>. Acesso em: 18 mai. 2017.

BONI, Filipe. **Telhado verde: uma opção sustentável?** Artigos 2030STUDIO, 2015. Disponível em: <<http://2030studio.com/teelhado-verde-uma-opcao-sustentavel/>>. Acesso em 18 jul. 2017.

BRASIL. **Decreto n° 23940, de 30 de janeiro de 2004**. Torna obrigatório, nos casos previstos, a adoção de reservatórios que permitam o retardo do escoamento das águas pluviais para a rede de drenagem. Disponível em: <<https://cm-rio-de>>

BRASIL. **Lei nº 6766, de 19 de dezembro de 1979**. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências. Presidência da República. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6766.htm>. Acesso em 23 jun. 2017.

BRASIL. **Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Ministério da Saúde - Gabinete do Ministro. Disponível em: <<http://bvsmms.saude.gov.br>>. Acesso em: 8 jun. 2017.

BRASIL. **Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial nº 053, de 18 de março de 2005, págs. 58-63. Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama>>. Acesso em: 15 jun. 2017.

BROSATO Fabiano Hugo; MARTONI Astrid. M. **Estudo da fisiografia das bacias hidrográficas urbanas no Município de Maringá**. Estado do Paraná, 2004. Disponível em: <<http://periódicos.uem.br>>. Acesso em: 10 mar. 2017.

CANHOLI, A.P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

CICLO VIVO. **Madri destrói avenida em marginal para construir parque linear de 42km**, 2017. Disponível em: <<http://ciclovivo.com.br/noticia/madri-destroi-avenida-em-marginal-para-construir-parque-linear-de-42km/>>. Acesso em: 22 out. 2017.

COLLISCHONN W; TASSI R. **Introduzindo Hidrologia**. IPH – UFRGS, 2010. Disponível em: <<http://www.ctec.ufal.br>>. Acesso em 10 ago. 2016.

COLLODEL, Milena Gardai. **Aplicação do Modelo Hidrológico SWMM na avaliação de diferentes níveis de detalhamento da bacia hidrográfica submetida ao processo de transformação chuva-vazão**. São Carlos - São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-14102009-182636/pt-br.php>>. Acesso em 10 dez. 2016.

CORMIER, N.S; PELLEGRINO, P.R.M. **Infra-estrutura verde: uma estratégia paisagística para a água urbana**. Paisagem Ambiente: ensaios, n. 25, São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/paam/article/view/105962>>. Acesso em 15 mai. 2017.

DAMÉ, Rita de C.F. *et al.* **Hidrograma de projeto em função da metodologia utilizada na obtenção da precipitação**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.14, n.1, p.46–54. Campina Grande, PB, UAEA/UFCG, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v14n1/v14n01a07.pdf>>. Acesso em 13 jun. 2017.

DNIT. **Manual de Hidrologia Básica para estruturas de drenagem**. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos de Pesquisa.

Instituto de Pesquisas Rodoviárias. 2 ed. Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <<http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais>>. Acesso em: 2 fev. 2017.

EISENMAN, Theodore S. **Frederick Law Olmsted, Green Infrastructure, and the Evolving City**. Department of City and Regional Planning, University of Pennsylvania, *Journal of Planning History*, 2013. Disponível em: <<http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/1538513212474227>>. Acesso em 25 mai. 2017.

EMBRAPA. **Mapeamento pedológico e interpretações úteis ao planejamento ambiental do Município do Rio de Janeiro**. Editores técnicos: José Francisco Lumberras & João Bosco Vasconcellos Gomes. Sergipe: Embrapa Tabuleiros Costeiros; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004.

EPA SWMM. **Storm Water Management Modal**. U.S. Environmental Agency. Cincinnati, Ohio.

EPA. **An Introduction and User's Guide to Wetland Restoration, Creation and Enhancement**. National Oceanic and Atmospheric Administration, Environmental Protection Agency, Army Corps of Engineers, Fish and Wildlife Service, and Natural Resources Conservation Service, 2003. Disponível em: <http://greatlakesresilience.org/sites/default/files/library_reference_2003_InteragencyWorkgrouponWetland%20Restoration_AnIntroductionAnd%20User%27sGuidetoWetlandResotrationCreationAndEnhancement.pdf>. Acesso em 24 mai. 2017.

EPA. **Wetland Restoration**. United States Office of Water Agency, EPA 843-F-01-002e. Environmental Protection Office of Wetlands, 2002. Disponível em: <<https://www.epa.gov/wetlands>>. Acesso em 24 mai. 2017.

FEAM. **Orientações básicas para drenagem urbana**. Fundação Estadual do Meio Ambiente. Belo Horizonte, 2006. 32p. Disponível em: <<http://www.feam.br/images/stories/arquivos/Cartilha%20Drenagem.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2017.

FIREHOCK, Karen. **A Short History of the Term Green Infrastructure and Selected Literature**. Jan, 2010. Disponível em: <<http://www.gi-cinc.org/PDFs/GI%20History.pdf>>. Acesso em 14 mai. 2017.

FLETCHER, Tim D. *et al.* **SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage**. *Urban Water Journal*, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org>>. Acesso em 25 jun. 2016.

FONSECA, Paulo Luiz da. **Integração entre modelos de simulação hidrodinâmica e sistemas de informação geográfica - bacias de retenção no controle de cheias urbanas**. Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2008.

FRANCO, E.J. **Dimensionamento de bacias de retenção das águas pluviais com base no método racional**. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004. Disponível em: <https://docs.ufpr.br/~bleninger/dissertacoes/085-Edu_Jose_Franco.pdf>. Acesso em 13 fev. 2017.

FRIEDRICH, Daniela. **O parque Linear como instrumento de Planejamento e Gestão das áreas de fundo de vale urbanas**. Porto Alegre, 2007. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/13175>>. Acesso em 19 dez. 2016.

GARCIA, J.I.B. **Monitoramento hidrológico e modelagem da drenagem urbana da bacia hidrográfica do Arroio Cancela**. Santa Maria, RS, Brasil, 2005. Disponível em: <<http://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/7668/JOAQUIN%20GARCIA.pdf>>. Acesso em 23 jul. 2017.

GERSHWIN Fran. **Update on the Muddy River Restoration Project**. National Association of Olmsted Parks, 2015. Disponível em: <<http://www.olmsted.org/update-on-the-muddy-river-restoration-project>>. Acesso em 25 mai. 2017.

GOMES, A.H.P.G. **Identificação e avaliação de técnicas não convencionais para drenagem urbana com controle na fonte**. Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2005.

GOOGLE EARTH. Ortofotos. Data SIO, NOAA, USA, Navy, NGA, GEBCO, Image Landsat/Copernius, Image IBCAO 2017.

HANDS. **Estratégia de Resiliência da cidade do Rio de Janeiro e Legado Operacional Olímpico**. Humanitarian Assistance and Needs for Disasters. Centro de Operações Rio. PUC-RIO, 2016. Disponível em: <http://www.hands.ind.puc-rio.br>>. Acesso em 15 mai. 2017.

HERZOG, Cecilia Polacow. **Cidades para todos: (re)aprendendo a conviver com a natureza**. 1 ed. Rio de Janeiro: Manuad X: Inverde, 2013.

HERZOG, Cecilia Polacow. **Infraestrutura verde: sustentabilidade e resiliência para a paisagem urbana**. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <www.revistas.usp.br/revistalabverde/article/view/61281/64217>. Acesso em 12 fev. 2017.

HUBER, W. C.; DICKINSON R. E. **Storm Water Management Model, version 4: User's manual**. Department of Environmental Engineering Sciences, University of Florida, Gainesville, Florida, 1992. Disponível em: <http://sdi.odu.edu/mbin/swmm/swmm_1.pdf>. Acesso em 14 ago. 2016.

IBGE. **Dados estatísticos do Censo de 1960 a 2010**. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=8>>. Acesso em 12 jun. 2016.

INMET. **Dados Históricos**. Instituto Nacional de Meteorologia, Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa, 2017. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em 20 abr. 2017.

IPP. **Instituto Pereira Passos** - Disponibilidade de dados geográficos em coordenadas UTM para utilização no ArcGis, 2009.

JACOB, Ana Caroline Pitzer. **BMP, LID, SUDS, WSUD e Infraestrutura Verde** – Práticas que revolucionam a Drenagem Urbana. Aquafluxus, 2015. Disponível em: <<http://www.aquafluxus.com.br/bmp-lid-suds-wsud-e-infraestrutura-verde-praticas-que-revolucionam-a-drenagem-urbana/>>. Acesso em 20 mar. 2017.

janeiro.jusbrasil.com.br/legislacao/917561/decreto-23940-04>. Acesso em 10 set. 2016.

LENHS, UFPB. **Manual do Usuário EPA SWMM 5.0** – Modelo de Gestão de Drenagem Urbana, 2012. Disponível em: <http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/swmm/SWMM_2012.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2016.

MIGUEZ M.G; VERÓL A.P; REZENDE O.M. **Drenagem urbana: do projeto tradicional a sustentabilidade**. 1. Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

MIRANDA, F.M. **Índice de susceptibilidade do meio físico a inundações como ferramenta para o planejamento urbano**. COPPE - UFRJ. Rio de Janeiro, 2016.

NUNES, Dayana Martins. **Gestão das Águas Pluviais Urbanas e Elementos da Infraestrutura Verde: Estudo de Caso da Bacia Hidrográfica do Rio Morto, Rio de Janeiro**. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2017.

ONU. **Povos Resilientes, Planeta Resiliente: um Futuro Digno de Escolha**. Painel de Alto Nível do Secretário-Geral das Nações Unidas sobre Sustentabilidade. Nova York: Nações Unidas 2012. Disponível em: <<http://www.onu.org.br/docs/gsp>>. Acesso em 3 mai. 2017.

PAIVA, J.B.D.D; PAIVA, E.M.C.D.D. **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2003.

PDMAP. **Plano Diretor de Manejo de Águas Pluviais da Cidade do Rio de Janeiro - Bacia Hidrográfica do Rio Sarapuí**. Área de Estudo I - Alto Sarapuí: Bacia do Rio das Tintas. Proposição análise e avaliação de intervenções de manejo de águas pluviais em bacia hidrográfica. Prefeitura do Rio de Janeiro. HidroStudio. Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, 2013.

PLANO DE PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS. **Plano de Prestação de Serviços de Esgotamento Sanitário da AP5 para o período de 2017-2020**. F.AB. Zona Oeste S/A. Prefeitura do Rio de Janeiro, 2017.

PORTELA, M.M; MARQUES, P; CARVALHO, F.F. **Hietogramas de projecto para a análise de cheias baseada no modelo do hidrograma unitário do soil conservation service (SCS)**. Associação Portuguesa de Recursos Hídricos. 5º Congresso de Água - A água e o desenvolvimento Sustentável: Desafios para o novo século, 2000. Disponível em: <http://www.civil.ist.utl.pt/~mps/Mod_hid/Bibliografia/artigo%20hietogramas.pdf>. Acesso em: 30 mai. 2017.

PREFEITRA DE SÃO PAULO. **Programa 100 Parques**. São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://www.prefeitura.sp.gov.br>>. Acesso em 06 nov. 2017.

PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. **Parque Nossa Senhora da Piedade, um estímulo à vida saudável.** Belo horizonte, 2013. Disponível em: <<http://portalpbh.pbh.gov.br/pbh/ecp/noticia.do?evento=portlet&pAc=not&idConteudo=90531&pIdPlc=&app=salanoticias>>. Acesso em 5 nov. 2017.

PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO. **Rio de Janeiro em busca da resiliência frente as chuvas fortes,** 2013. Disponível em: <<http://www.rio.rj.gov.br/web/defesacivil/rio-resiliente>>. Acesso em 20 ago. 2017.

PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO. **Rio Resiliente - Estratégia de Resiliência da Cidade do Rio de Janeiro.** 100 Resilient Cities, 2016. Disponível em: <<http://www.100resilientcities.org>>. Acesso em 20 jul. 2017.

PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO. **Sistema Viário da Cidade do Rio de Janeiro.** Anexo III, Lei de Uso e Ocupação do Solo da cidade do Rio de Janeiro, Coordenadoria de Macroplanejamento, 2016. Disponível em: <<http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/4224287/DLFE272707.pdf/LUOSAnexoIIISistemaViario.pdf>>. Acesso em 19 jul. 2017.

PRODANOFF, J.H.A. **Avaliação da poluição difusa gerada por enxurradas em meio urbano.** Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=34080>. Acesso em 14 mai. 2017.

RAFAEL, Hélder. **Parque das Nações Indígenas é cartão postal de MS.** G1, 2012. Disponível em: <<http://g1.globo.com/mato-grosso-do-sul/noticia/2012/12/parque-das-nacoes-indigenas-e-cartao-postal-de-ms-faca-passeio-virtual.html>>. Acesso em 5 nov. 2017.

RAMOS, Catarina. **Perigos naturais devidos a causas meteorológicas: o caso das cheias e inundações.** Centro de Estudos Geográficos, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa, Portugal, 2013. Disponível em: <<http://revistas.ulusofona.pt/index.php/revistae-lp/article/view/3320>>. Acesso em: 9 abr. 2017.

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

REZENDE, Osvaldo Moura. **Manejo de águas pluviais - uso de paisagens multifuncionais em drenagem urbana para controle das inundações.** Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <http://www.peu.poli.ufrj.br/arquivos/Monografias/Osvaldo_Moura_Rezende.pdf>. Acesso em 12 fev. 2017.

RIO ÁGUAS. **Instruções técnicas para elaboração de estudos hidrológicos e dimensionamento hidráulico de sistemas de drenagem urbana.** Prefeitura da cidade do Rio de Janeiro. Secretaria Municipal de Obras. Sub-secretaria de Gestão de Bacias Hidrográficas. Rio de Janeiro, 2010.

RIO RESIENTE, Prefeitura do Rio de Janeiro. **Estratégia de resiliência da cidade do Rio de Janeiro**, 2016. Disponível em: <<http://www.rio.rj.gov.br>>. Acesso em: 10 jan. 2017.

ROSSMAN, L. A.; HUBER, W. C. **Storm Water Management Model – Reference Manual. Volume I – Hydrology. (Revised)**. Cincinnati, OH: U. S. Environmental Protection Agency, 2016. Disponível em <<https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>>. Acesso em 13 jun. 2016.

ROSSMAN, L. A.; HUBER, W. C. **Storm Water Management Model – Reference Manual. Volume II – Hydraulics. (Revised)**. Cincinnati, OH: U. S. Environmental Protection Agency, 2017. Disponível em <<https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>>. Acesso em 20 ago. 2017.

SANTOS, Altair. **Obras olímpicas: piscinões viram área de lazer**, 2016. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/obras-olimpicas-piscinoes>>. Acesso em 10 abr. 2017.

SARTORI, Aderson; NETO F. L.; GENOVEZ A.M. **Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação**. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Volume 10, n.4, 2005. Disponível em: <<https://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=1&ID=26&SUMARIO=442>>. Acesso em 15 jul. 2017.

SILVA, Luciene. P. **Hidrologia: Engenharia e Meio Ambiente**. 1 edição – Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

SMIL, V. **Global Trends: The next fifty years**. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 2008. Disponível em: <https://mitpress.mit.edu/sites/default/files/titles/content/9780262195867_pre_0001.pdf>. Acesso em 24 jun. 2017.

SOLUÇÃO PARA CIDADES. **Projeto Técnico: Parques Lineares como medidas de manejo de águas pluviais**. Associação Brasileira de Cimento Portland. Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, 2013. Disponível em: <http://www.solucoesparacidades.com.br/wpcontent/uploads/2013/10/AF_Parques%20Lineares_Web.pdf>. Acesso em 18 jun. 2017.

SOLUÇÃO PARA CIDADES. **Projeto Técnico: Reservatório de Detenção**. Associação Brasileira de Cimento Portland. Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, 2013. Disponível em: <http://www.solucoesparacidades.com.br/wpcontent/uploads/2013/09/AF_Reservatorios%20Deten_web.pdf>. Acesso em 16 fev. 2017.

SOUSA, M. M. **Trincheiras de Infiltração**. Aquafluxus, 2012. Disponível em: <<http://www.aquafluxus.com.br/trincheiras-de-infiltracao/>>. Acesso em 23 jul. 2017.

SUZUMURA, G. Y. R. **Parque linear do canivete sob uma perspectiva do desenho ambiental**. Revista labverde/ Universidade de São Paulo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Departamento de Projeto. Laboratório Verde – v.1, n.4. São Paulo: FAUUSP, 2012. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/revistalabverde/article/download/61492/64403>>. Acesso em 15 jun. 2017.

TEODORO, Ana Cláudia. **Chuva alaga rua Tibagi em Bangu**. Youtube, 2010. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=E89HLgOo_a8&index=3&list=UUX754m9c1OEJEfta2VzLZcw>. Acesso em 18 jul. 2017.

TOMAZ, Plínio. **Cálculos Hidrológicos e Hidráulicos para Obras Municipais - Piscinões, Galerias, Bueiros, Canais. Método SCS, Denver**. Santa Bárbara, Racional, TR-55. São Paulo: Navegar, 2002.

TOMAZ, Plínio. **Pavimento Poroso**. Curso de Manejo de águas pluviais - Capítulo 6, 2009. Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/capitulo60_pavimento_poroso.pdf>. Acesso em 5 mai. 2017.

TUCCI, Carlos E. M. **Água no Meio Urbano**. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997. Disponível em: <http://www.pec.poli.br/sistema/material_disciplina/fotos/%C3%A1guanomeio%20urbano.pdf>. Acesso em: 14 mai. 2016.

TUCCI, Carlos E. M. **Águas Urbanas**. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/eav/article/view/10295>>. Acesso em: 16 set. 2016.

TUCCI, Carlos E. M. **Gerenciamento de Drenagem Urbana**. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 7 n1. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002. Disponível em: <<https://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=1&ID=99&SUMARIO=1583>>. Acesso em 21 mai. 2017.

TUCCI, Carlos E. M. **Gestão integrada das águas urbanas**. Rega, Vol 5, 2008. Disponível em: <<https://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=2&ID=72&SUMARIO=863>>. Acesso em 16 jul. 2016.

TUNDISI, José Galizia. **Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado**. Cienc. Cult, São Paulo, v.55, n.4, Dec, 2003. Disponível em: <http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S000967252003000400018&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 19 nov. 2016.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte: Ed. da UFMG, 2005.

Apêndice A

Tempo (Hora)	Tempo (min)	Intensidade (mm/h)	P (mm) T * I /60	ΔP (mm)	ΔP Ordenado (mm)	ΔP Ordenado Acumulado (mm)
0,00	0	267,12	0,00	0,00	0,00	0,00
0,02	1	252,98	4,22	4,22	0,41	0,41
0,03	2	240,44	8,01	3,80	0,42	0,83
0,05	3	229,22	11,46	3,45	0,44	1,27
0,07	4	219,13	14,61	3,15	0,45	1,72
0,08	5	209,99	17,50	2,89	0,47	2,19
0,10	6	201,67	20,17	2,67	0,48	2,67
0,12	7	194,06	22,64	2,47	0,50	3,17
0,13	8	187,08	24,94	2,30	0,52	3,69
0,15	9	180,64	27,10	2,15	0,54	4,24
0,17	10	174,68	29,11	2,02	0,57	4,80
0,18	11	169,15	31,01	1,90	0,59	5,39
0,20	12	164,00	32,80	1,79	0,62	6,01
0,22	13	159,20	34,49	1,69	0,65	6,66
0,23	14	154,70	36,10	1,60	0,68	7,34
0,25	15	150,48	37,62	1,52	0,72	8,05
0,27	16	146,51	39,07	1,45	0,76	8,81
0,28	17	142,78	40,45	1,38	0,80	9,61
0,30	18	139,25	41,77	1,32	0,85	10,46
0,32	19	135,91	43,04	1,26	0,90	11,36
0,33	20	132,75	44,25	1,21	0,97	12,33
0,35	21	129,75	45,41	1,16	1,04	13,36
0,37	22	126,91	46,53	1,12	1,12	14,48
0,38	23	124,20	47,61	1,08	1,21	15,69
0,40	24	121,61	48,64	1,04	1,32	17,02
0,42	25	119,15	49,65	1,00	1,45	18,47
0,43	26	116,79	50,61	0,97	1,60	20,07
0,45	27	114,54	51,54	0,93	1,79	21,86
0,47	28	112,39	52,45	0,90	2,02	23,88
0,48	29	110,33	53,32	0,88	2,30	26,18
0,50	30	108,34	54,17	0,85	2,67	28,85
0,52	31	106,44	55,00	0,82	3,15	31,99
0,53	32	104,62	55,79	0,80	3,80	35,79
0,55	33	102,86	56,57	0,78	4,22	40,01
0,57	34	101,16	57,33	0,76	3,45	43,46
0,58	35	99,53	58,06	0,73	2,89	46,35
0,60	36	97,96	58,78	0,72	2,47	48,82
0,62	37	96,45	59,47	0,70	2,15	50,97
0,63	38	94,98	60,15	0,68	1,90	52,87
0,65	39	93,57	60,82	0,66	1,69	54,56

Tempo (Hora)	Tempo (min)	Intensidade (mm/h)	P (mm) T * I /60	ΔP (mm)	ΔP Ordenado (mm)	ΔP Ordenado Acumulado (mm)
0,67	40	92,20	61,47	0,65	1,52	56,09
0,68	41	90,87	62,10	0,63	1,38	57,47
0,70	42	89,59	62,72	0,62	1,26	58,73
0,72	43	88,35	63,32	0,60	1,16	59,90
0,73	44	87,15	63,91	0,59	1,08	60,97
0,75	45	85,98	64,49	0,58	1,00	61,97
0,77	46	84,85	65,05	0,57	0,93	62,91
0,78	47	83,75	65,61	0,55	0,88	63,78
0,80	48	82,69	66,15	0,54	0,82	64,60
0,82	49	81,65	66,68	0,53	0,78	65,38
0,83	50	80,65	67,20	0,52	0,73	66,12
0,85	51	79,67	67,72	0,51	0,70	66,81
0,87	52	78,71	68,22	0,50	0,66	67,48
0,88	53	77,79	68,71	0,49	0,63	68,11
0,90	54	76,88	69,19	0,48	0,60	68,71
0,92	55	76,00	69,67	0,48	0,58	69,29
0,93	56	75,15	70,14	0,47	0,55	69,84
0,95	57	74,31	70,60	0,46	0,53	70,38
0,97	58	73,50	71,05	0,45	0,51	70,89
0,98	59	72,70	71,49	0,44	0,49	71,38
1,00	60	71,93	71,93	0,44	0,48	71,86
1,02	61	71,17	72,36	0,43	0,46	72,32
1,03	62	70,43	72,78	0,42	0,44	72,76
1,05	63	69,71	73,20	0,42	0,43	73,19
1,07	64	69,00	73,60	0,41	0,42	73,60
1,08	65	68,32	74,01	0,40	0,40	74,01
1,10	66	67,64	74,41	0,40	0,40	74,41
1,12	67	66,98	74,80	0,39	0,39	74,80
1,13	68	66,34	75,18	0,39	0,39	75,18
1,15	69	65,71	75,56	0,38	0,38	75,56
1,17	70	65,09	75,94	0,38	0,38	75,94
1,18	71	64,49	76,31	0,37	0,37	76,31
1,20	72	63,89	76,67	0,36	0,36	76,67
1,22	73	63,31	77,03	0,36	0,36	77,03
1,23	74	62,75	77,39	0,36	0,36	77,39
1,25	75	62,19	77,74	0,35	0,35	77,74
1,27	76	61,65	78,08	0,35	0,35	78,08
1,28	77	61,11	78,43	0,34	0,34	78,43
1,30	78	60,59	78,76	0,34	0,34	78,76
1,32	79	60,07	79,10	0,33	0,33	79,10
1,33	80	59,57	79,43	0,33	0,33	79,43
1,35	81	59,07	79,75	0,33	0,33	79,75
1,37	82	58,59	80,07	0,32	0,32	80,07
1,38	83	58,11	80,39	0,32	0,32	80,39
1,40	84	57,64	80,70	0,31	0,31	80,70
1,42	85	57,19	81,01	0,31	0,31	81,01
1,43	86	56,73	81,32	0,31	0,31	81,32
1,45	87	56,29	81,62	0,30	0,30	81,62

Tempo (Hora)	Tempo (min)	Intensidade (mm/h)	P (mm) T * I /60	ΔP (mm)	ΔP Ordenado (mm)	ΔP Ordenado Acumulado (mm)
1,47	88	55,86	81,92	0,30	0,30	81,92
1,48	89	55,43	82,22	0,30	0,30	82,22
1,50	90	55,01	82,51	0,29	0,29	82,51
1,52	91	54,59	82,80	0,29	0,29	82,80
1,53	92	54,19	83,09	0,29	0,29	83,09
1,55	93	53,79	83,37	0,28	0,28	83,37
1,57	94	53,40	83,65	0,28	0,28	83,65
1,58	95	53,01	83,93	0,28	0,28	83,93
1,60	96	52,63	84,21	0,28	0,28	84,21
1,62	97	52,26	84,48	0,27	0,27	84,48
1,63	98	51,89	84,75	0,27	0,27	84,75
1,65	99	51,53	85,02	0,27	0,27	85,02
1,67	100	51,17	85,28	0,26	0,26	85,28