



Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Escola Politécnica  
Programa de Engenharia Urbana

Helen Tambolim

PARQUES MULTIFUNCIONAIS COMO INSTRUMENTOS DE  
MELHORIA DO MANEJO DAS ÁGUAS PLUVIAIS EM CIDA-  
DES EM DESENVOLVIMENTO: ESTUDO DE CASO DA BACIA  
DO ALCÂNTARA – SÃO GONÇALO/RJ

Rio de Janeiro  
2019



UFRJ

Helen Tambolim

PARQUES MULTIFUNCIONAIS COMO INSTRUMENTOS DE MELHORIA DO MANEJO DAS  
ÁGUAS PLUVIAIS EM CIDADES EM DESENVOLVIMENTO: ESTUDO DE CASO DA BACIA DO AL-  
CÂNTARA – SÃO GONÇALO/RJ

Dissertação de Mestrado apresentada ao Pro-  
grama de Engenharia Urbana, Escola Politéc-  
nica, da Universidade Federal do Rio de Ja-  
neiro, como parte dos requisitos necessários à  
obtenção do título de Mestre em Engenharia  
Urbana.

Marcelo Gomes Miguez

Rio de Janeiro  
2019

## CIP - Catalogação na Publicação

T154p Tambolim, Helen  
Parques multifuncionais como instrumentos de melhoria do manejo das águas pluviais em cidades em desenvolvimento: estudo de caso da Bacia do Alcântara - São Gonçalo/RJ / Helen Tambolim. -- Rio de Janeiro, 2019.  
166 f.

Orientador: Marcelo Gomes Miguez.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Programa de Pós Graduação em Engenharia Urbana, 2019.

1. Drenagem Urbana Sustentável. 2. Bacias de Detenção. 3. Inundações Urbanas. 4. Gestão da Água. 5. Governança da Água. I. Miguez, Marcelo Gomes, orient. II. Título.



UFRJ

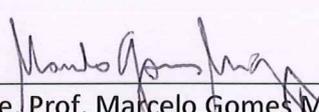
PARQUES MULTIFUNCIONAIS COMO INSTRUMENTOS DE MELHORIA DO MANEJO  
DAS ÁGUAS PLUVIAIS EM CIDADES EM DESENVOLVIMENTO: ESTUDO DE CASO  
DA BACIA DO ALCÂNTARA – SÃO GONÇALO/RJ

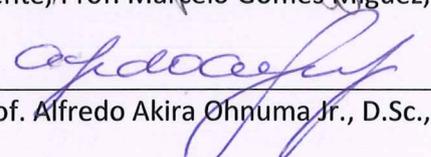
Helen Tambolim

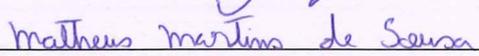
Marcelo Gomes Miguez

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Urbana, Escola Politécnica, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Aprovada pela Banca:

  
\_\_\_\_\_  
Presidente, Prof. Marcelo Gomes Miguez, D.Sc., POLI/UFRJ

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Alfredo Akira Ohnuma Jr., D.Sc., UERJ/FEN

  
\_\_\_\_\_  
Eng. Matheus Martins de Sousa, D.Sc, POLI/UFRJ

Rio de Janeiro  
2019

## RESUMO

TAMBOLIM, Helen. **Parques Multifuncionais como Instrumentos de Melhoria do Manejo das Águas Pluviais em Cidades em Desenvolvimento: Estudo de Caso da Bacia do Alcântara – São Gonçalo/RJ**. Rio de Janeiro, 2019. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Urbana, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

O modelo tradicional de gestão da água urbana, o qual preza pela centralização e compartimentação dos serviços, contribui para baixa resiliência dos sistemas a eventos climáticos extremos, tais como as inundações. Nos países em desenvolvimento, o planejamento e a infraestrutura, precários ou inexistentes, apresentam dificuldades em acompanhar o ritmo e dinamismo do crescimento urbano, contribuindo para a rápida expansão da “cidade informal” em regiões vulneráveis de fundos de vale. Esta pesquisa visa avaliar a contribuição dos parques multifuncionais para [1] mitigação dos efeitos negativos do crescimento urbano desordenado no manejo de águas pluviais, e para [2] reserva de espaços livres relevantes no controle de inundações. A Bacia do Alcântara, no município de São Gonçalo, é tomada como estudo de caso devido às suas características típicas de cidades em desenvolvimento. São propostos diversos cenários de projetos de macrodrenagem, os quais têm inundações simuladas com modelagem computacional pelo *software* MODCEL, com base em dados hidrológicos da região. Ao comparar os resultados das simulações, observa-se que a implementação de parques multifuncionais com bacias de retenção tratam-se de medidas mais sustentáveis do que a drenagem tradicional, uma vez que não transfere os problemas para jusante, e mais resilientes, por oferecer diversificação e descentralização dos serviços. As soluções propostas encontram alinhamento e complementariedade entre propostas e planos existentes para a Bacia do Alcântara, tornando-as adequadas ao contexto no qual estão inseridas.

Palavras-chave: Drenagem Urbana Sustentável; Bacias de Detenção; Inundações Urbanas; Gestão da Água; Governança da Água

## ABSTRACT

TAMBOLIM, Helen. **Multifunctional Squares as Instruments for Water Management Improvement in Underdeveloped Cities: Case Study of the Alcântara Basin – São Gonçalo/RJ**. Rio de Janeiro, 2019. Thesis (Master) – Urban Engineering Program, Escola Polytechnic School, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

The centralization and compartmentation of water services and infrastructure of traditional Urban Water Management contributes for the systems low resilience to extreme climate events, such as floods. In developing countries, planning and infrastructure, which are already precarious or non-existent, are difficult to keep up with the pace and dynamism of urban growth, contributing to the rapid expansion of the "informal city" into vulnerable vale fund regions. This research aims to evaluate the contribution of multifunctional parks to [1] mitigation of the negative effects of urban growth for rainwater management, and to [2] reservation of relevant available green space to flood control. The Alcântara Basin, in the municipality of São Gonçalo, is taken as a case study due to its typical characteristics of underdeveloped cities. Several scenarios of macro drainage projects are proposed and their floods simulated through computational modeling by MODCEL software, based on hydrological data from the region. When comparing the results of the simulations, it is observed that the implementation of multifunctional parks with detention basins, besides fulfilling the objectives proposed in this research, consists on more sustainable measures than the traditional drainage, since it does not transfer the problems to downstream, and more resilient, for offering diversification and decentralization of services. The proposed solutions find alignment and complementarity between existing proposals and plans for the Alcântara Basin, making them appropriate to the context in which they are inserted.

Key-words: Sustainable Urban Drainage systems (SUDs); Water Sensitive Urban Design (WSUD); Underdeveloped Cities; Water Management; Water Governance

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Imagem de enchente na cidade de São Paulo em 2014.....	11
Figura 2 - Frente de imóveis na comunidade Indiana, Rio de Janeiro.....	13
Figura 3 - Fundos dos mesmos imóveis da comunidade Indiana escondem o rio que passa por ela ...	13
Figura 4 - Gestão de águas urbanas ao longo do tempo.....	15
Figura 5 - Estágio atual de cidades desenvolvidas e em desenvolvimento na busca pela mudança de paradigma na gestão da água urbana .....	16
Figura 6 - Medidas estruturais e não estruturais de controle de cheias.....	20
Figura 7 - Bacia de retenção <i>in line</i> em período seco.....	22
Figura 8 - Bacia de retenção <i>in line</i> após ocorrência de chuva.....	22
Figura 9 - Planta esquemática de uma bacia de retenção.....	24
Figura 10 - Corte esquemático de uma bacia de retenção.....	25
Figura 11 - Evolução das bacias de retenção ao longo do tempo .....	29
Figura 12 - Tecnologias de saneamento ecológico.....	31
Figura 13 - WSUD deve ser aplicado de forma integrada - Esquema.....	36
Figura 14 - Hidrografia e relevo de Belo Horizonte.....	37
Figura 15 - Reservatórios para controle de cheias em Belo Horizonte .....	39
Figura 16 - Áreas de Intervenção - 5 sub-bacias - 1ª etapa.....	40
Figura 17 - Projeto Executivo do Parque da Sub-Bacia do Córrego 1º de Maio – Belo Horizonte.....	42
Figura 18 - Sub-Bacia do córrego 1º de Maio - antes das obras do Drenurbs – Belo Horizonte.....	43
Figura 19 - Sub-Bacia do córrego 1º de Maio depois das obras do Drenurbs – Belo Horizonte.....	44
Figura 20 - Projeto Executivo do Parque da Sub-Bacia do Córrego N. Sra da Piedade – Belo Horizonte .....	47
Figura 21 - Sub-Bacia do córrego N. Sra da Piedade - antes das obras do Drenurbs – Belo Horizonte	48
Figura 22 - Sub-Bacia do córrego N. Sra da Piedade depois das obras do Drenurbs – Belo Horizonte	49
Figura 23 - Córrego Engenho Nogueira antes das intervenções – Belo Horizonte .....	51
Figura 24 - Bacia de retenção Engenho Nogueira obras finalizadas – Belo Horizonte .....	51
Figura 25 - Vista do tratamento de fundo de vale da Rua Prentice Coelho – Belo Horizonte .....	51
Figura 26 - Galeria de drenagem (túnel bala) sob Anel Rodoviário (obra concluída) – Belo Horizonte	52
Figura 27 - Vista do córrego Bonsucesso antes das obras do DRENURBS – Belo Horizonte.....	53
Figura 28 - Córrego Bonsucesso antes das obras do DRENURBS – Belo Horizonte .....	54
Figura 29 – Margens do córrego Bonsucesso antes das obras do DRENURBS – Belo Horizonte.....	54
Figura 30 - Bacia de retenção de cheias da bacia do córrego Bonsucesso – Belo Horizonte .....	54
Figura 31 - Córrego Bonsucesso após obras do DRENURBS – Belo Horizonte .....	55
Figura 32 - Matriz de desempenho do Programa Drenurbs/Nascentes – Belo Horizonte.....	58
Figura 33 - Fotomontagem proposta Mizoguchi e Malinsky, conforme entorno atual – Porto Alegre - RS.....	60
Figura 34 - Macrodrenagem, arruamento e localização da bacia de retenção – Porto Alegre - RS.....	61
Figura 35 – Vista aérea de localização da CB12 e Bacia de Retenção no Parque Marinha do Brasil – Porto Alegre - RS.....	62
Figura 36 - Bacia de retenção do Parque da Marinha – Porto Alegre - RS.....	62
Figura 37 - Manutenção da bacia de retenção do Parque Marinha do Brasil – Porto Alegre - RS.....	64
Figura 38 – Tratamento paisagístico no Quarteirão Brasileiro - Petrópolis - RJ.....	67
Figura 39 - Equipamentos para atividade física no Quarteirão Brasileiro – Petrópolis - RJ.....	67
Figura 40 - Biodigestor do sistema Caxambu – Petrópolis - RJ.....	68
Figura 41 - Zona de raízes do sistema Caxambu antes de sua inauguração – Petrópolis - RJ.....	68

Figura 42- Bacia de retenção <i>in line</i> construída no projeto de requalificação do Parque das Hortas – Guimarães - Portugal.....	71
Figura 43 - Bacia de retenção <i>in line</i> construída em Guimarães - Portugal .....	72
Figura 44 - Zona de raízes do sistema Caxambu antes de sua inauguração .....	73
Figura 45 - Corte esquemático dos 3 sistemas de tratamento avançado de águas pluviais .....	75
Figura 46 - Vista aérea do Parque Mill Creek – Estados Unidos .....	76
Figura 47 - Anéis inundados após a ocorrência de chuva .....	77
Figura 48 - Estudo de Caso: Etapas de Trabalho .....	80
Figura 49 - Bacia do Alcântara e sub-bacias.....	81
Figura 50 - Mapa de drenagem urbana em domicílio com existência de bueiro/boca de lobo. ....	83
Figura 51 - Áreas de Risco de Inundação .....	86
Figura 52 - Superposição: Mapa de Drenagem Urbana em domicílios com existência de bueiro / boca de lobo e Mapa de Risco das Inundações. ....	87
Figura 53 - Representação Canal Extravasador Alcântara .....	96
Figura 54 – Modelo Original - Unificação de modelos existentes por Pereira (2018) .....	100
Figura 55 - Detalhamento das Etapas de Modelagem Matemática e Etapas 3 e 4 do Estudo de Caso .....	101
Figura 56 - Células do Modelo Matemático Original .....	102
Figura 57 - Polígonos de Thiessen. ....	104
Figura 58 – Precipitação registrada nos postos do município de São Gonçalo. ....	105
Figura 59 – Precipitação registrada nos postos do município de Niterói. ....	105
Figura 60 - Espacialização das áreas alagadas no evento de março de 2016. ....	106
Figura 61 - Células Adicionais.....	108
Figura 62 - Resultados da calibração para evento selecionado de março de 2016.....	110
Figura 63 - Hietograma - chuva de projeto para tempo de recorrência de 25 anos .....	112
Figura 64 - Mancha de inundação da situação atual para TR 25 anos.....	113
Figura 65 – Células do modelo matemático correspondentes à sub bacia selecionada para Estudo de Caso – São Gonçalo/RJ .....	115
Figura 66 - Foto aérea de região selecionada para Estudo de Caso – São Gonçalo/RJ.....	115
Figura 67 - Zoom em trecho em que canal cruza região densamente urbanizada – São Gonçalo/RJ. ....	116
Figura 68 - Localização de bacias de retenção propostas na região montante da Bacia do Alcântara/RJ .....	118
Figura 69 - Bacias de Retenção <i>in line</i> a Montante – São Gonçalo/RJ.....	120
Figura 70 - Topografia dos locais selecionados para implantação das bacias de retenção BD1 e BD2 .....	121
Figura 71 - Bacia de Retenção (BD3) <i>off line</i> a jusante do trecho canalizado, na região escolhida para Estudo de Caso .....	122
Figura 72 - Topografia do local escolhido para BD3.....	124
Figura 73 - Localização dos pontos de análise dos hidrogramas apresentados na Figura 74 e na Figura 75.....	128
Figura 74 - Hidrograma do canal (2271) em ponto a jusante do trecho urbanizado (2149) para TR25 .....	129
Figura 75 - Hidrograma de deságue do canal (2271) - e da BD3 (7) - no Rio Maria Paula (1227) para TR25 .....	130
Figura 76 – Enquadramento de projetos propostos na evolução das bacias de retenção ao longo do tempo .....	131
Figura 77 - Bacias de Retenção Propostas no Município de São Gonçalo/RJ .....	134
Figura 78 - Comparação de resultado da simulação para cenário atual e cenário de replicação do modelo .....	136

Figura 79 – Diferença entre lâmina máxima da replicação do Projeto Piloto e Cenário Atual .....	137
Figura 80 - Traçado do canal extravasor representado pela linha verde.....	138
Figura 81 - Proposta do Cenário 2 .....	139
Figura 82 - Percentual de redução da lâmina máxima na margem esquerda do rio Alcântara .....	140
Figura 83 - Percentual de redução da lâmina máxima na margem direita do rio Alcântara. ....	140
Figura 84 - Diferença entre lâmina máxima do cenário atual com replicação do Projeto Piloto com e sem proposta PDUI .....	142
Figura 85 - Perfil traçado para análise comparativa.....	143
Figura 86 - Delta NAmáx das intervenções propostas nas Etapas 3 e 4 e cenário atual.....	144
Figura 87 - Perfil longitudinal de montante para jusante dos rios Maria Paula e Alcântara .....	145

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Escalas de aplicação das BMPs Estruturais .....	18
Tabela 2 - Classificação quanto a localização em relação ao curso d'água.....	22
Tabela 3 - Classificação quanto a existência de lâmina d'água permanente .....	23
Tabela 4 - Vantagens, precauções e aplicações de bacias de retenção .....	26
Tabela 5 - Visão geral dos principais empreendimentos da primeira etapa do programa DRENURBS	39
Tabela 6 - Sistemas de saneamento ecológico no município de Petrópolis - RJ .....	65
Tabela 7 - Características dos 3 sistemas de tratamento avançado de águas pluviais .....	74
Tabela 8 - Classificação de riscos de inundação no Município de São Gonçalo .....	84
Tabela 9 - Síntese do Serviço de Drenagem no Município de São Gonçalo .....	88
Tabela 10 - Ações Estruturantes para Drenagem.....	90
Tabela 11 - Objetivos Metropolitanos.....	92
Tabela 12 - Diretrizes estabelecidas pelo PDUI para Manejo de Águas Pluviais.....	94
Tabela 13 - Propostas PDUI para São Gonçalo: Eixo Transversal Alcântara.....	96
Tabela 14 - Propostas PDUI para São Gonçalo: Cinturão Sanitário .....	97
Tabela 15 - Coeficientes de escoamento superficial. ....	103
Tabela 16 - Postos pluviométricos utilizados .....	103
Tabela 17 - Parâmetros ajustados para o posto Niterói.....	112
Tabela 18 - Tabela com parâmetros $\alpha$ .....	112
Tabela 19 - Melhoria do Canal em trecho urbanizado na região de Estudo de Caso – São Gonçalo/RJ .....	119
Tabela 20 - Características BD1 e BD2.....	121
Tabela 21 - Características BD3 .....	124
Tabela 22 - Resultados para TR25 de projetos propostos da sub-bacia de estudo – São Gonçalo - RJ .....	127
Tabela 23 - Reservatórios criados para simulação de replicação do projeto piloto .....	135

# SUMÁRIO

RESUMO.....	
ABSTRACT.....	
LISTA DE FIGURAS.....	
LISTA DE TABELAS.....	
SUMÁRIO .....	
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 MOTIVAÇÃO.....	2
1.2 OBJETIVOS.....	5
1.3 METODOLOGIA .....	6
<b>2 GOVERNANÇA E GESTÃO DA ÁGUA .....</b>	<b>9</b>
2.1 CONTRATO HIDRO-SOCIAL .....	12
2.2 PROJETO URBANO SENSÍVEL À ÁGUA (WSUD).....	14
<b>3 GESTÃO DE QUANTIDADE .....</b>	<b>17</b>
3.1 DRENAGEM URBANA SUSTENTÁVEL (SUDS) .....	17
3.2 RESERVATÓRIOS DE DETENÇÃO .....	19
<b>4 GESTÃO DA QUALIDADE.....</b>	<b>28</b>
4.1 SANEAMENTO ECOLÓGICO .....	30
<b>5 PARQUES MULTIFUNCIONAIS.....</b>	<b>33</b>
<b>6 APRESENTAÇÃO DE PRÁTICAS NACIONAIS.....</b>	<b>36</b>
6.1 BELO HORIZONTE – DRENURBS.....	37
6.1.1 <i>Caracterização e Histórico.....</i>	<i>37</i>
6.1.2 <i>Resultados e Desafios .....</i>	<i>55</i>
6.2 PORTO ALEGRE .....	59
6.2.1 <i>Caracterização e Histórico.....</i>	<i>59</i>
6.2.2 <i>Resultados e Desafios .....</i>	<i>62</i>
6.3 PETRÓPOLIS – ÁGUAS DO IMPERADOR.....	64
6.3.1 <i>Caracterização e Histórico.....</i>	<i>64</i>

6.3.2	<i>Resultados e Desafios</i> .....	68
6.4	REFLEXÕES.....	69
<b>7</b>	<b>APRESENTAÇÃO DE PRÁTICAS INTERNACIONAIS</b> .....	<b>71</b>
7.1	GUIMARÃES – PORTUGAL.....	71
7.2	DINAMARCA – LIFE-TREASURES PROJECT.....	72
7.2.1	<i>Caracterização e Histórico</i> .....	72
7.2.2	<i>Resultados e Desafios</i> .....	75
7.3	ESTADOS UNIDOS – EARTHWORKS PARK SITUADO NO CANION MILL CREEK .....	76
7.3.1	<i>Caracterização e Histórico</i> .....	77
7.3.2	<i>Resultados e Desafios</i> .....	77
<b>8</b>	<b>ESTUDO DE CASO – BACIA DO ALCÂNTARA – SÃO GONÇALO/RJ</b> .....	<b>79</b>
8.1	[ETAPA 1] ANÁLISE HISTÓRICA E SITUAÇÃO ATUAL.....	80
8.1.1	<i>Diagnóstico da Gestão da Quantidade</i> .....	81
8.2	[ETAPA 2] PROJETOS E PROPOSTAS EXISTENTES .....	89
8.2.1	<i>PMRRSG (2008)</i> .....	89
8.2.2	<i>PMSB (2014)</i> .....	90
8.2.3	<i>PDUI RMRJ (2017)</i> .....	91
8.3	PREPARAÇÃO DE MODELO MATEMÁTICO.....	98
8.3.1	<i>Modelo Matemático Original</i> .....	101
8.3.2	<i>Adaptação e Calibração do Modelo Matemático para Estudo de Caso</i> .....	107
8.3.3	<i>Cenário Atual</i> .....	110
8.4	[ETAPA 3.1] CONCEPÇÃO DO PROJETO PILOTO.....	113
8.4.1	<i>Melhoria do Canal (C e C')</i> .....	118
8.4.2	<i>Bacias de Detenção in line a Montante (BD1+BD2)</i> .....	120
8.4.3	<i>Bacia de detenção off line a jusante (BD3)</i> .....	122
8.5	[ETAPA 3.1] ANÁLISE DOS RESULTADOS E DEFINIÇÃO DE PROJETO PILOTO .....	124
8.6	[ETAPA 3.2] REPLICAÇÃO DE PROJETO PILOTO.....	131
8.7	[ETAPA 4] PROJETO DE PESQUISA ASSOCIADO À PROPOSTA DO PDUI.....	138
<b>9</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>146</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>149</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Este estudo aborda o uso de parques multifuncionais como solução estrutural para controle de inundações e que contribui para melhoria do manejo das águas urbanas, de forma adequada ao contexto de países periféricos. As regiões de fundo de vale são tomadas como foco central da discussão, uma vez que nestes locais surgem conflitos entre demandas ambientais, de funcionamento da dinâmica fluvial, bem como se concentra aí uma problemática social, associada a um *deficit* habitacional e à expansão de uma “cidade informal”. Esta cidade informal é formada pela população menos favorecida que procura vazios urbanos e se estabelece em habitações precárias, cuja configuração agrava as inundações urbanas e coloca em risco severo esta mesma população, tanto com possíveis perdas materiais, como humanas. Além disso, essas são áreas, em geral degradadas ambientalmente, com consequente desvalorização também urbana, muitas vezes caracterizada por cidades que voltam suas costas aos rios.

Os parques multifuncionais surgiram como instrumento aplicável ao conceito de Drenagem Urbana Sustentável, conhecido pela sigla em inglês SUDs – *Sustainable Urban Drainage* (ELLIOTT e TROWSDALE, 2007; WOODS-BALLARD *et al.*, 2007), para prevenção dos riscos associados à mudança climática e eventual tratamento da poluição difusa das águas pluviais, em um contexto diferente do brasileiro: em países desenvolvidos onde o acesso à água e esgoto tratado é praticamente universalizado. A prática e o estudo desses parques como soluções estruturais de drenagem estão associados ao conceito de Projeto Urbano Sensível à Água, conhecido pela sigla em inglês WSUD - *Water Sensitive Urban Design* (ARGUE, 2004; COOMBES *et al.* 1999; MELBOURNE WATER, 2005; WONG, 2006) e se destacam por apresentarem maior eficiência, serem mais compactos e oferecerem controles quanti e qualitativos mais efetivos no manejo de águas pluviais do que as infraestruturas tradicionais.

Dado o contexto de degradação ambiental dos fundos de vale brasileiros, os parques multifuncionais surgem como oportunidade de reserva de espaço para a governança da água, garantindo área para armazenamento de águas urbanas e estabelecendo uma relação positiva entre as mesmas e a comunidade. É importante ressaltar que esta relação só será positiva se o controle quantitativo das águas pluviais for acompanhado também de uma melhoria na qualidade da água. É objetivo desse estudo apresentar soluções alternativas para o tema das

águas pluviais e sua relação com os esgotos sanitários, de tal forma que sejam mais adequadas ao contexto das cidades brasileiras.

Algumas práticas nacionais e internacionais são observadas para avaliação dos parques multifuncionais como instrumento alternativo importante para drenagem urbana sustentável em regiões de fundo de vale e reencontro dos cidadãos com as paisagens ecológicas urbanas.

Por fim, a bacia do Alcântara em São Gonçalo é selecionada para um estudo de caso, visto que se trata de um local com características comumente encontradas na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) e em cidades latino-americanas em desenvolvimento: alta densidade populacional, crescimento desordenado, histórico de sufocamento de rios urbanos, pouca área verde disponível, índices muito baixos de coleta e tratamento de esgoto e inundações urbanas frequentes. A solução proposta para São Gonçalo, além de buscar mitigar problemas socioambientais atuais e futuros, tem como premissa o alinhamento com propostas e estudos existentes para o município, complementando-os em busca de um melhor resultado.

## **1.1 Motivação**

Nas últimas décadas, a população urbana cresceu de forma bastante acelerada. Segundo relatório da UN-HABITAT (2016), atualmente, 54% da população mundial vive em cidades e, no Brasil, essa proporção chega a 83%, com previsão de aumento nas próximas décadas.

A tendência em relação à urbanização tem enormes implicações nos esforços para reduzir a pobreza, gerir recursos naturais, proteger o meio ambiente e enfrentar as mudanças climáticas. Enquanto cidades ocupam 2% da massa de terra no mundo, seus habitantes usam 75% dos recursos naturais do planeta (DEPARTAMENTO DE INFORMAÇÃO PÚBLICA DAS NAÇÕES UNIDAS, 2012).

Dentre as consequências do desenvolvimento urbano no Brasil, está o aumento da frequência de inundações, produção descontrolada de sedimentos e deterioração da qualidade da água. À medida que a urbanização progride, os impactos aumentam já que a infraestrutura de saneamento não tem acompanhado o crescimento das cidades (ACADEMIES OF SCIENCES, 2015).

As cheias geram danos a edificações e a equipamentos urbanos, degradam e empobrecem áreas sujeitas à inundação, geram perdas associadas à paralisação de negócios e serviços,

interrompem a circulação de pedestres e de sistemas de transportes, são potenciais veículos de difusão de doenças, afetam e são afetadas pela coleta e disposição de esgotos e resíduos sólidos urbanos (MIGUEZ; VERÓL; REZENDE, 2015; CÂMARA METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO, 2016a).

Tendo em vista que a expansão e densificação das cidades tende a aumentar a problemática das cheias urbanas, a **primeira motivação** desta pesquisa é o estudo de soluções eficazes para seu controle, com o objetivo de mitigar seus impactos. A **segunda motivação** é de cunho social e aponta para a necessidade de conter o crescimento populacional em regiões vulneráveis de fundos de vale.

Diversos trabalhos mostram que, nas ocupações irregulares de fundos de vale, a população cresce a taxas maiores que em outros trechos das bacias e possui renda inferior (Torres, 1997; Travassos, 2004; Alves & Torres, 2006 *apud* ANPPAS, 2015). A população que ali vive é a mais vulnerável às consequências da degradação dos recursos hídricos, por estarem tão próximas ao local onde concentram-se os problemas de toda uma bacia: os rios urbanos. Mais que isso, ainda, muitas vezes essa população ultrapassa os limites da simples proximidade e ocupa o próprio espaço do rio. Toda a poluição da bacia é carregada para os fundos de vale através do escoamento superficial ou canalizações. Os rios, portanto, funcionam como uma síntese do território. Desta forma, pode-se afirmar que são os habitantes mais expostos às consequências negativas da carência de saneamento; paradoxalmente, são também responsáveis pelo próprio agravamento das inundações, ao usar o espaço destinado naturalmente às planícies de inundação. Por estarem instalados em planícies de alagamento natural dos cursos d'água, estão constantemente sujeitos a alagamentos de suas casas com alto risco a vida e constante perda de bens.

Em um nível macro, as inundações urbanas alimentam o ciclo da pobreza de cidades pouco desenvolvidas devido ao seu impacto na economia urbana. No nível micro, impede que pessoas vivendo em situação vulnerável em fundos de vale consigam juntar qualquer economia para melhorar a situação financeira e a qualidade de vida da família.

A grande densidade populacional existente nas margens dos cursos d'água, além de indicar uma deficiência na política habitacional, é um problema urgente social e de saúde pública. No entanto, vale ressaltar que a ocupação dessas áreas, também conhecidas como APPs (Áreas de Preservação Permanente), não acontece apenas pela população de baixa renda, na

busca por moradia. Também acontece por especulação imobiliária e decisões de planejamento urbano, nutridos por uma cultura de desvalorização dos rios urbanos.

A **terceira motivação**, de cunho técnico, refere-se a dificuldade de instalação de serviços tradicionais de saneamento básico devido a um histórico de sufocamento dos rios urbanos que deixou pouco ou nenhum espaço livre em suas margens para construção de equipamentos tradicionais de saneamento.

O modelo tradicional de gestão de águas urbanas preza pela setorização e centralização dos serviços. O esgoto coletado geralmente é transportado através de coletores tronco até grandes estações de tratamento, enquanto as águas pluviais são despejadas diretamente nos cursos d'água ou armazenadas temporariamente em estruturas de retenção para evitar alagamentos.

Essa abordagem tem se demonstrado pouco eficiente técnica e economicamente para atender as demandas atuais e futuras de serviços de saneamento, visto que oferecem pouca flexibilidade no atendimento de desenhos urbanos diversos e em constante transformação. Adicionalmente, deve-se destacar a necessidade de discutir formas alternativas de ação para correção de redes separadoras de esgoto, que, de fato, funcionam com a entrada de esgoto nas redes pluviais, gerando descargas *in natura*, diretamente nos corpos receptores, sem nenhuma defesa prevista pelo sistema, que não deveria operar desta forma.

Os parques multifuncionais podem contribuir para esta problemática a curto e longo prazo. A curto prazo pelo aproveitamento do pouco espaço ainda disponível para soluções de drenagem descentralizadas e alternativas. A longo prazo pela mudança da relação do cidadão com as águas urbanas ao criar equipamentos de lazer que resgatem a conexão positiva entre o homem e ciclo hidrológico ou sirvam de instrumento de educação de gerações futuras, criando uma cultura de cuidado com os recursos hídricos. De forma complementar, esses parques precisarão também de uma solução para a qualidade da água, para efetivamente permitir a aproximação da população em relação aos rios urbanos.

Uma boa governança da água depende de soluções descentralizadas, diversas, transdisciplinares e participação da população local nas tomadas de decisões. Os parques multifuncionais, assim como outros instrumentos da drenagem urbana sustentável, podem contribuir muito para essa mudança de paradigma e servir como ferramenta estratégica alternativa de melhoria da gestão da água urbana em países com pouco recurso econômico.

## 1.2 Objetivos

### Objetivo geral:

Apresentar um projeto piloto de controle de cheias com a utilização de reservatórios de detenção concebidos de forma a permitir o múltiplo uso do seu espaço. Propõe-se sua inserção em um parque multifuncional em região de fundo de vale, atendendo aos propósitos de evitar ocupações urbanas informais em áreas de risco de inundação e incentivar a reaproximação entre cidadãos e águas urbanas.

A pesquisa aborda temas diversos com intuito de reconhecer a importância de uma variedade de disciplinas no atendimento às demandas de uma comunidade no projeto de um parque multifuncional. No entanto, seu principal objetivo é o dimensionamento dos instrumentos de controle quantitativo das águas pluviais que atendam às necessidades de cidades em desenvolvimento.

### Objetivos específicos:

- Avaliar a relação entre o modelo tradicional de gestão de águas urbanas e sua contribuição para o círculo vicioso de degradação ambiental;
- Estudar problemas típicos relacionados a fundos de vale, com destaque para *deficit* habitacional, saneamento precário e inundações urbanas;
- Buscar exemplos de soluções estruturais de controle quantitativo/qualitativo de águas urbanas já implementadas no Brasil e no mundo para levantamento dos principais avanços e desafios observados em seus pós obras, utilizando-os como lições aprendidas;
- Desenvolver e calibrar no MODCEL um modelo matemático que represente as cheias urbanas que ocorrem em São Gonçalo sob efeito de uma chuva determinada;
- Representar no MODCEL e avaliar os resultados dos diversos cenários propostos para mitigação das cheias urbanas;
- Selecionar como projeto piloto o cenário que tenha resultados satisfatórios no controle de cheias e que esteja mais alinhado aos planos, estudos e propostas existentes para manejo de águas pluviais no município de São Gonçalo;
- Avaliar, a partir dos resultados de simulações no MODCEL, os impactos da aplicação simultânea de diversas bacias de detenção em localidades estratégicas do município

de São Gonçalo utilizando como base o projeto piloto;

- Avaliar, a partir dos resultados de simulações no MODCEL, o resultado integrado da implementação de diversas bacias de retenção concomitante a implementação do canal extravasador proposto no PDUI para a Bacia do Alcântara.

### 1.3 Metodologia

Como ponto de partida para o desenvolvimento desta Dissertação, foi realizada uma ampla revisão bibliográfica, abrangendo os temas:

- Gestão e governança da água;
- Desafios do manejo de águas pluviais em cidades em desenvolvimento;
- Drenagem urbana sustentável;
- Reservatórios de retenção;
- Saneamento ecológico.

A revisão de literatura identificou a necessidade de uma mudança de paradigmas na gestão da água que caminhe para uma melhor governança deste recurso. Isso implica em envolvimento de diversos atores da sociedade no cuidado com a água, descentralização e descompartimentação física, institucional e filosófica dos serviços de abastecimento de água, esgoto e águas pluviais.

No que se refere ao manejo de águas pluviais, verificou-se que o armazenamento artificial a montante costuma se apresentar como solução **estrutural** eficiente de drenagem urbana sustentável a medida que reduz picos de cheias e cria oportunidade para melhoria da qualidade da água. Os reservatórios de armazenamento temporário, ao serem inseridos em parques multifuncionais, podem também desempenhar o papel de solução **não-estrutural** de drenagem urbana sustentável, oferecendo a oportunidade de reaproximação entre cidadãos e paisagens ecológicas, educação ambiental, reserva de área permeável e prevenção a instalação de habitações informais nas regiões de fundo de vale. Além disso, os parques multifuncionais podem ser instrumentos para a melhoria da governança da água ao envolver diversos atores em seu projeto e também ao promover maior senso de responsabilidade e cuidado com as águas urbanas.

Os maiores desafios apontados por soluções de retenção de águas pluviais já implemen-

tados no Brasil e no mundo são relacionados à poluição da água e manutenção dos reservatórios. Nos casos internacionais estudados, há uma grande preocupação com a poluição difusa e o tratamento de partículas finas dissolvidas. Já nos países periféricos, em especial o Brasil, há, além da poluição difusa, primariamente uma preocupação com a alta carga de resíduos sólidos e efluentes domésticos nas águas pluviais, mesmo em cidades onde os serviços de saneamento possuem alto índice de atendimento. Além disso, notoriamente, há ainda preocupações com a quantidade da água, em geral, não controlada nestes países em desenvolvimento.

Tendo em vista os crescentes problemas de inundação urbana e a contaminação da água drenada, esta pesquisa propõe uma **solução combinada** de controle de quantidade e qualidade da água, visando sustentabilidade e inserção dos instrumentos na paisagem do parque. A proposta é o uso de uma bacia de retenção para amortecimento de cheias urbanas (e sua replicação, posteriormente, na escala da bacia) com um reservatório de primeira chuva em sua entrada. O objetivo deste reservatório de entrada é oferecer uma solução paliativa de captação de tempo seco, interceptando o esgoto lançado em redes de drenagem, enquanto não há boa cobertura de serviço de saneamento básico. Em períodos de chuva, o mesmo reservatório será usado para captação, por decantação, de parte da poluição difusa do primeiro volume de chuva (*first flush*), o qual carrega a maior concentração.

A cidade de São Gonçalo é usada como estudo de caso nos dimensionamentos das estruturas de retenção. Dentre os maiores desafios previstos neste projeto está a restrição de espaço físico do parque para integrar lazer, paisagem e os instrumentos de controle de quantidade e qualidade.

Os dimensionamentos se constituem de:

- Seleção de área próxima a fundo de vale em São Gonçalo onde deverá ser projetado o parque;
- Caracterização da precipitação e escoamento pluvial da região;
- Diagnóstico da situação atual – volume de escoamento e condições atuais da infraestrutura;
- Desenvolvimento e calibração de um modelo matemático que represente as principais bacias hidrográficas de São Gonçalo;

- Dimensionamento de bacia de detenção e análise dos resultados de sua simulação no MODCEL;

Espera-se que a composição de um cenário integrado possa equacionar os problemas da sub-bacia, para o cenário da chuva de projeto, em relação à mitigação dos impactos nos sistemas de controle de cheias na macrodrenagem.

## 2 GOVERNANÇA E GESTÃO DA ÁGUA

Segundo o Banco Mundial (1992, apud GONÇALVES, 1996) a governança é “a maneira pela qual o poder é exercido na administração dos recursos sociais e econômicos de um país visando o desenvolvimento”, implicando ainda “a capacidade dos governos de planejar, formular e implementar políticas e cumprir funções”.

Em contraste com ‘governo’, ‘governança’ destaca a mudança de uma gestão centralizada no poder público para ‘uma maior dependência de formas de governo horizontais, híbridas e associativas’, envolvendo uma rede mais ampla de atores, incluindo cidadãos (WEHN *et al.*, 2015).

De acordo com o relatório da UN-HABITAT (2016), no final dos anos 90, governança se tornou o mantra do desenvolvimento de países emergentes. Guiados por instituições multilaterais, o conceito de governança tem sido promovido juntamente com os conceitos de descentralização e democratização.

“Como afirma o Relatório mundial das Nações Unidas sobre o desenvolvimento dos recursos hídricos 4: ‘O manejo dos recursos hídricos em condições de incerteza e risco’, a água é o único meio pelo qual grandes crises globais de alimentos, de energia, saúde e de mudanças climáticas, bem como crises econômicas, podem ser conjuntamente abordadas.

O conceito de governança da água tem se tornado popular em debates sobre políticas urbanas desde que surgiu nos anos 70, pois engloba “os processos e instituições através dos quais decisões relacionadas a água são tomadas” (Lautze *et al.*, 2011, p. 4). Consiste nos processos de decisão e definição de objetivos por uma gama de atores, enquanto gestão da água (e gestão de riscos de cheias mais especificamente) consiste em atividades específicas para alcançar estes objetivos. Os parques multifuncionais, objeto deste estudo, oferecem oportunidade de envolver diversos atores a nível de bacia, na tomada de decisão de projetos de controle de cheias, a partir da gestão participativa e, portanto, podem ser uma ferramenta valiosa na construção da governança local. Abordagens analíticas para avaliação de processos de governança da água e participação decorrem de uma variedade de disciplinas, mas geralmente se concentram em aspectos institucionais que variam desde os metodologicamente pragmáticos até os muito abrangentes (WEHN *et al.*, 2015).

Exceto nas regiões do planeta em que há uma severa limitação natural, a maioria dos casos de escassez hídrica nas cidades não está relacionada à quantidade, mas sim a uma crise

de governança e gestão inadequada da água, que possui um risco associado e uma piora na qualidade cada vez maiores, devido ao mau uso. Desmatamento, consumo excessivo e desperdício, superexploração e poluição têm colocado vastas áreas do planeta e grandes contingentes de população em risco de estresse hídrico (WHATELY&CAMPANILI, 2016).

Contrariamente ao problema de escassez, a crescente urbanização também colabora para o aumento da população em situação de vulnerabilidade às enchentes e desastres provocados por chuvas fortes. Alguns fatores que colaboram com isso são: alta impermeabilização do solo, ocupação de planícies de alagamento e encostas, aumento da quantidade de lixo descartada indevidamente e canalização de cursos d'água. Com as mudanças climáticas em curso e o aumento da frequência e da intensidade de eventos climáticos extremos, a tendência é de agravamento dos atuais problemas onde eles já existem e de extensão para outras regiões. (WHATELY&CAMPANILI, 2016)

A abordagem convencional de gestão de águas urbanas é amplamente aceita como altamente inadequada para abordar questões de sustentabilidade atuais e futuras. Esta crítica baseia-se na visão de que os resultados não otimizados foram produzidos a partir da tradicional compartimentação dos serviços de abastecimento de água, esgoto e águas pluviais. Esta compartimentação tem sido física, em termos de infra-estrutura e institucional em termos de responsabilidade pela prestação de serviços, operação e manutenção, que, ao longo do tempo, levou a compartimentalização filosófica e a percepções em forma de limites de sistemas (WONG; BROWN, 2008).

Estima-se que cerca de 12% dos recursos hídricos de superfície do mundo estão localizados no Brasil, que sempre foi considerado um país rico em água. Mas o rápido processo de urbanização nas últimas décadas produziu vários problemas e desafios que o país agora precisa enfrentar (ACADEMIES OF SCIENCES, 2015). A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) é o exemplo mais emblemático desse desafio. No ano de 2014 a população sofreu de escassez hídrica e intenso racionamento, gerando preocupações quanto à segurança hídrica na maior cidade na América Latina. No entanto, no mesmo ano, a cidade também foi assolada por enchentes - como pode ser observado da Figura 1 - o que revela a má gestão desse recurso, decorrente, entre outras coisas, da compartimentação de seus usos e responsabilidades.



**Figura 1 - Imagem de enchente na cidade de São Paulo em 2014**

Fonte: FOLHA DE SÃO PAULO (2014)

A situação não é muito diferente em outras capitais do país. A segurança hídrica passou a ser uma preocupação tão grande que levou os estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais a selarem um acordo sobre o uso da Bacia do Paraíba do Sul. Esta bacia é o principal responsável pelo abastecimento da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) pois transporta água para o Sistema Guandu (DIANNI, 2016).

Os esforços de desenvolvimento no setor se concentram nos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM) e no alcance dos objetivos internacionais de desenvolvimento de água e saneamento como contribuição para a erradicação da pobreza e para a sustentabilidade ambiental. A governança da água é regularmente observada como um elemento essencial desses esforços e há um consenso geral entre os que trabalham no setor sobre a necessidade de "boa governança da água", como observado pela Declaração Ministerial do Quarto Fórum Mundial da Água no México (WWC, 2006) e por outras agências internacionais (DFID, 2005; UN, 2005a). Este consenso baseia-se na constatação de que a prestação de serviços de água para todos está fora do alcance dos governos e do setor público por si só e que a contribuição dos setores privado e voluntário é essencial se os objetivos de água e saneamento forem cumpridos. O conceito de governança fornece uma maneira de conceituar e entender como os diferentes setores da sociedade podem trabalhar juntos para alcançar esses resultados (FRANKS; CLEAVER, 2007).

## 2.1 Contrato Hidro-Social

No modelo tradicional de manejo de águas urbanas, a água chega às moradias e estabelecimentos através de uma torneira e sai por um ralo. São poucas as pessoas que sabem de onde ela e vem e para onde ela vai, assim, os rios urbanos e o ciclo hidrológico não existem no inconsciente coletivo e o cidadão desconhece seu impacto, como indivíduo, sobre eles. Andoh (2002) aponta que a revisão das práticas de drenagem e tratamento de águas residuais mostram que a abordagem convencional é reativa-corretiva regida por controle dos efeitos indesejados com ações remediadoras. A filosofia central é “livrar-se da água o mais rápido possível” e “transportar e tratar a poluição o mais distante possível”.

Essa filosofia de rápido transporte de efluentes para longe das áreas urbanas somada ao manejo e processamento remotos, promoveram a atual e convencional infraestrutura que Andoh (2002) chama de “*out-of-sight-out-of-mind*” e foco em soluções de controle a jusante – “*end-of-pipe*”. Ou seja, as soluções de infraestrutura tradicional fazem com que o cidadão tenha pouco ou nenhum contato com a captação da água consumida e nem com os resíduos gerados, por estarem distantes fisicamente ou “escondidos” no meio urbano em sistemas centralizados de saneamento básico. Uma vez que o cidadão se torna um mero consumidor de serviços de saneamento, este modelo contribui para um baixo nível de consciência ambiental a medida que não há para o cidadão preocupação quanto à exploração e poluição excessivos da água.

No entanto, com o crescimento populacional e cidades cada vez mais densas, o homem passou a viver cada vez mais perto de seus próprios resíduos e efluentes, provocando uma necessidade de mudança do paradigma “*out-of-sight-out-of-mind*” o qual levou à abordagem “*end-of-pipe*”.

É muito comum, no Brasil, que os rios urbanos degradados sejam reconhecidos em áreas urbanas mais carentes por “valão”, remetendo a única função que a população do entorno ainda atribui a eles: local de descarte de resíduos. Nesses casos, o contato com suas águas passou a ser perigoso, seu odor e aspectos visuais desagradáveis. A medida que a qualidade de suas águas piora, os rios passam a ser vistos como um problema a ser escondido e a cidade vira suas costas a eles. As Figura 2 e Figura 3 representam bem esta realidade comum em cidades brasileiras.

CIRIA (2013) afirma que a presença da água é frequentemente central para a identidade

de um local. No entanto, a relação entre os lugares em que vivemos e os recursos hídricos dos quais dependemos, muitas vezes, não é priorizado no projeto e na evolução desses lugares. Pode-se dizer que a água define um local: sendo um elemento vital no crescimento da população, provê suporte para a produção de alimentos, se associa a uma paisagem desejável e traz oportunidades de recreação e lazer e, muitas vezes, é um elemento chave de identidade de uma paisagem, com a presença de rios, lagoas, ou linhas de costa (VERÓL, 2013).



**Figura 2 - Frente de imóveis na comunidade Indiana, Rio de Janeiro.**

Fonte: arquivo pessoal da autora



**Figura 3 - Fundos dos mesmos imóveis da comunidade Indiana escondem o rio que passa por ela.**

Fonte: arquivo pessoal da autora

É um círculo vicioso: a falta de identidade com os rios degradados gera falta de cuidado e o processo de poluição ambiental, bem como os riscos à saúde pública, aumentam exponencialmente. Para transformar este ciclo vicioso em virtuoso, é necessário que os cidadãos, deixem a posição de meros consumidores para assumir o protagonismo inerente à sua função social, pois a administração deste recurso é fundamentalmente uma questão de justiça ambiental baseada em três conceitos essenciais: equidade, justiça e acesso para as futuras gerações. Ou seja, a água exige uma administração democrática, participativa, com distribuição de responsabilidades e um arranjo institucional complexo (WHATELY&CAMPANILI, 2016).

Para Wong e Brown (2008) a relação atual entre cidadãos e o ciclo hidrológico urbano, ou o “contrato hidro-social”, sustenta as abordagens tradicionais de gestão e governança das águas. Por isso, para que as cidades tornem-se mais sustentáveis e resilientes, é imprescindível que este contrato seja revisto por meio de novas filosofias de governança e gestão da água como proposto pelo Projeto Urbano Sensível à Água.

## 2.2 Projeto Urbano Sensível à Água (WSUD)

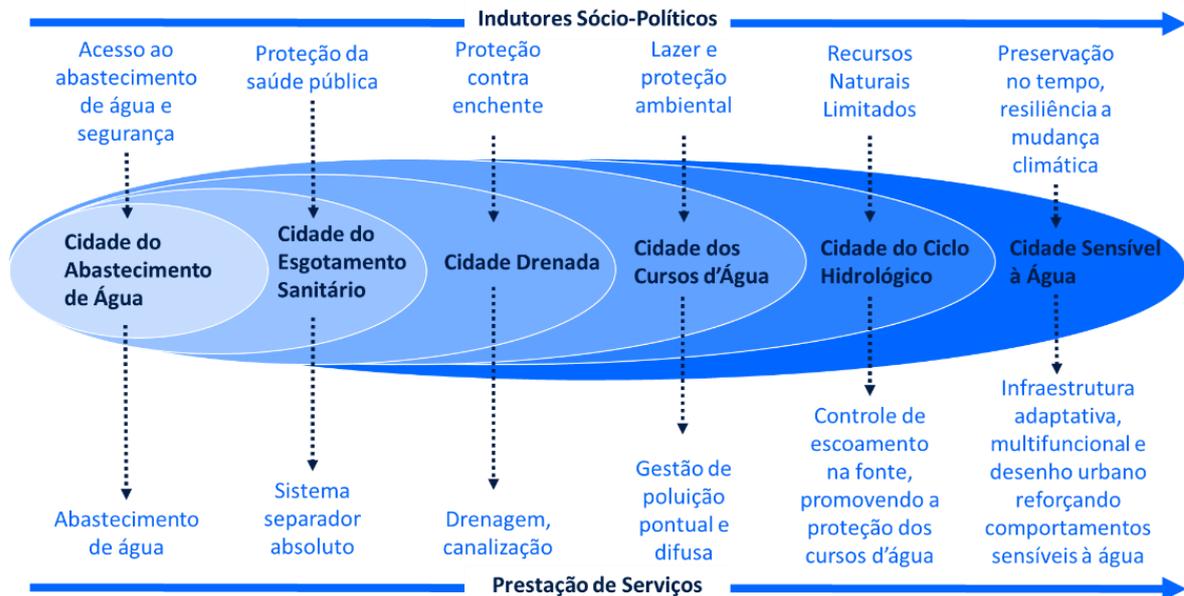
O conceito do Projeto Urbano Sensível à Água, do termo em inglês *Water Sensitive Urban Design*, ou, simplesmente, WSUD (ARGUE, 2004; COOMBES *et al.* 1999; MELBOURNE WATER, 2005; WONG, 2006), foi inicialmente desenvolvido na Austrália. Wong (2006) afirma que o WSUD tenta integrar as ciências sociais e físicas em uma proposição de gerenciamento holístico para águas urbanas, considerando conjuntamente a oferta de água potável, o manejo dos esgotos e da drenagem das águas pluviais, desde a escala do lote até a escala da bacia, envolvendo o desenho de edificações e da própria paisagem, alinhando medidas estruturais e não estruturais. A introdução da participação social amplia o quadro de requisitos para a solução integrada do problema e torna mais densa a discussão sobre soluções sustentáveis para a drenagem urbana (VERÓL, 2013).

Trata-se de uma abordagem filosófica do planejamento e projeto urbano, que visa minimizar os impactos do desenvolvimento urbano no ciclo hidrológico e seu ambiente circundante. (WONG; BROWN, 2008) propõem três pilares fundamentais que precisam apoiar o desenvolvimento e a prática de cidades sensíveis a água:

- Acesso às fontes de água diversas sustentado por uma variedade de infra-estruturas centralizadas e descentralizadas;
- Prestação de serviços ecossistêmicos para o ambiente construído e natural; e
- Capital sociopolítico para sustentabilidade e comportamentos sensíveis à água.

A partir de uma pesquisa histórica, até os dias atuais e fazendo uma prospecção de futuro, Brown *et al.* (2008), analisa cidades australianas e propõe um quadro que apresenta uma tipologia de seis cidades representando as transições ocorridas ao longo do tempo, no que se refere à relação entre água e cidade. Essa tipologia inclui: a “Cidade do Abastecimento de Água”, a “Cidade do Esgotamento Sanitário”, a “Cidade Drenada”, a “Cidade dos Cursos

d'Água”, a “Cidade do Ciclo Hidrológico” e a “Cidade Sensível à Água”. Este quadro, mostrado na Figura 4, reconhece o movimento das cidades em direção a uma gestão sustentável das águas urbanas.” (VERÓL, 2013)



**Figura 4 - Gestão de águas urbanas ao longo do tempo.**

Fonte: BROWN *et al* (2008), adaptado pelos autores, 2018

Esta evolução linear da gestão de águas urbanas reflete bem seu avanço histórico em países desenvolvidos como a Austrália, onde surgiu o conceito de WSUD. Com acesso satisfatório a saneamento básico, hoje a preocupação destes países é com o futuro e por isso há uma discussão bastante avançada sobre mudança climática e resiliência. No entanto, nos países em desenvolvimento, o desafio de tornar uma cidade sensível à água está muito distante da realidade e chega a ser quase utópico, uma vez que passos mais básicos ainda representam lacunas nesta evolução.

Embora a mudança climática e a resiliência representem uma preocupação também para países em desenvolvimento, há uma preocupação ainda maior e mais urgente com o desafio da universalização dos serviços de saneamento. Há muito trabalho a ser feito de promoção da saúde pública e erradicação da pobreza a partir de melhorias ao acesso a água, esgoto, drenagem urbana e manejo de resíduos sólidos e, por isso, o foco da discussão ainda se encontra muito no não atendimento básico do presente.

A observação da experiência internacional é importante para que países periféricos reavaliem a adoção do modelo tradicional como solução de seus desafios atuais e futuros. Não apenas o modelo tradicional tem-se mostrado pouco efetivo em regiões em desenvolvimento,

como a prática internacional dos países desenvolvidos demonstra, com suas falhas, que esse tipo de solução não resolverá o problema do saneamento no longo prazo.

O WSUD propõe soluções mais criativas, inovadoras e transdisciplinares para gestão da água, de forma a criar oportunidades e não apenas reagir aos impactos da urbanização no ciclo hidrológico. Trata-se de uma ferramenta pouco desenvolvida e ainda não existe uma cidade que possa ser considerada sensível à água de forma plena. No entanto, algumas práticas de planejamento e gestão se destacam por seguirem este propósito de buscar soluções multidisciplinares e apresentarem resultados positivos.

As cidades com carência de infraestrutura de saneamento têm a oportunidade de construir um novo sistema de gestão de águas urbanas mais alinhado com o modelo que os países desenvolvidos têm buscado, sem necessariamente trilhar o mesmo caminho apresentado na Figura 4. A Figura 5 demonstra em que estágio se encontram cidades em diferentes situações econômicas, destacando a oportunidade que cidades em desenvolvimento têm de pular etapas, ao optar por um modelo de gestão da água não tradicional.



**Figura 5 - Estágio atual de cidades desenvolvidas e em desenvolvimento na busca pela mudança de paradigma na gestão da água urbana**

Fonte: BROWN *et al.*, 2008, adaptado pela autora, 2018.

## 3 GESTÃO DE QUANTIDADE

### 3.1 Drenagem Urbana Sustentável (SUDS)

As inundações urbanas são cada vez mais preocupantes, devido à crescente densificação das áreas urbanas, mudanças no uso da terra e mudanças climáticas, que tornam maiores as exposições e os consequentes danos. A abordagem de engenharia tradicional para inundações propõe a concepção de sistemas de drenagem de uso único, canalização e retificação de cursos d'água, barragens e diques. Contudo, estes métodos são conhecidos por aumentar o risco de inundação a longo prazo e prejudicar os ecossistemas ribeirinhos nas áreas urbanas (SÖRENSEN *et al.*, 2016). Como resultado, há hoje (contrariamente à concepção tradicional) uma forte tendência de olhar as águas pluviais como um recurso positivo no meio urbano. Novos aspectos importantes nesta nova abordagem são a estética, o uso múltiplo e a aceitação pública das soluções técnicas (STAHERE, 2005).

A drenagem urbana sustentável, conhecida pelo termo em inglês "*sustainable urban drainage systems*" e pela sigla SUDS (ELLIOTT e TROWSDALE, 2007; WOODS-BALLARD *et al.*, 2007) é um subconjunto do WSUD. O SUDS é destinada a fornecer controle de inundações, gerenciamento de fluxo, melhorias da qualidade da água e oportunidades para colher as águas pluviais para usos não potáveis". Seus objetivos atendem aos objetivos do WSUD ao incluir, segundo (FLETCHER *et al.*, 2015):

- Integração do tratamento das águas pluviais na paisagem a partir da incorporação de corredores de uso múltiplo que maximizam a amenidade visual e recreativa dos equipamentos urbanos,
- Proteção da qualidade da água drenada dos efeitos do desenvolvimento urbano,
- Redução do volume de escoamento superficial e dos picos de cheia no meio urbano, empregando medidas de retenção local e reduzindo áreas impermeáveis, e
- Valor agregado e redução de custo dos equipamentos de infraestrutura de drenagem.

Em drenagem urbana, sustentabilidade implica que as inundações urbanas não podem ser transferidas no espaço ou no tempo. Sistemas de drenagem urbana têm que ser planejados de forma integrada com o crescimento urbano e as soluções de drenagem devem ser integradas com a paisagem urbana (MIGUEZ *et al.*, 2007a). Neste contexto, tanto o processo de

urbanização quanto o controle do uso do solo urbano devem ser pensados de forma a minimizar os impactos sobre o ciclo hidrológico natural (VERÓL, 2013).

A mudança cultural na disciplina tem sido substancial; enquanto a drenagem urbana já foi vista apenas como um problema, as oportunidades que apresentam, por exemplo, fornecimento adicional de água, aumento da biodiversidade e melhoria do microclima, são amplamente reconhecidas (ASHLEY *et al.*, 2013 *apud* FLETCHER *et al.*, 2015).

As medidas de controle de inundação podem ser estruturais, quando envolvem obras de engenharia, ou não estruturais, como zoneamento, sistemas de alerta e seguros (DECINA; BRANDÃO, 2016). LLOYD *et al.* (2002) lista algumas das melhores práticas de gestão estruturais, conhecidas pelo termo em inglês *Best Management Practices* (BMPs), já adotadas de manejo de águas pluviais que seguem a filosofia do WSUD. Estas são apresentadas na Tabela 1 e classificadas quanto às escalas de aplicação de cada uma.

**Tabela 1 – Escalas de aplicação das BMPs Estruturais**

BMP Estrutural em Bacias	Escala		
	Lote	Ruas e vizinhança	Áreas abertas ou regional
Desvio de escoamento para jardins	✓		
Tanque para água de chuva / esquema de reutilização (ex. rega de jardim, descarga de banheiro)	✓		
Coletor de sedimentos	✓		
Sistema de infiltração e coleta (biofiltração)	✓	✓	
Sistema de infiltração	✓	✓	
Vegetação nativa, pavimentos impermeáveis, sistemas de irrigação por gotejamento	✓	✓	
Pavimentos permeáveis	✓	✓	✓
Corredor verde		✓	✓
Banhados		✓	✓
Bacia de detenção		✓	✓
Armadilhas de lixo (gradeamento de entrada lateral)		✓	
Tanque de coleta de sedimentos		✓	✓
Valas de infiltração		✓	✓
Lagoas			✓
Armadilha de poluentes (resíduos sólidos grosseiros)			✓
Requalificação fluvial			✓
Água de reúso (ex. áreas abertas e descarga sanitária)			✓
Floresta urbana			✓

Fonte: Traduzido pela autora de LLOYD *et al.* (2002)

Para o controle de cheias, as bacias de retenção e detenção se destacam dentre as melhores práticas estruturais de controle de cheias em nível de bacia. Em função do grande volume de escoamento a ser controlado nos períodos de chuva no Brasil, as bacias de retenção e detenção também parecem as mais adequadas para controle dos escoamentos, na situação atual. Mas é claro que, para estas soluções terem característica de projeto urbano sensível a água, devem ser multidisciplinares e oferecer oportunidades de recreação e desenvolvimento do pensamento sensível a água. Desta forma, existe a necessidade de construção dessas medidas estruturais em um contexto multidisciplinar, como em áreas de lazer inundáveis ou parques inundáveis.

Os desafios comumente enfrentados para implementação de SUDS são:

- Trabalho conjunto de instituições públicas
- Envolvimento da comunidade no projeto e planejamento
- Mudança da cultura de cuidado com água
- Custo de projetos de drenagem
- Conflito de projeto para controle de quantidade e qualidade da água com os demais usos que se quer atribuir a paisagem

Alguns trabalhos mostram que as soluções de drenagem no SUDS acabam mais caras, justamente porque têm vários benefícios complementares como lazer, revitalização do espaço, valorização imobiliária e melhoria da qualidade ambiental. Assim, é necessário incluir os benefícios mais amplos, chamados pelo termo em inglês de *wider benefits*, na avaliação econômica que busca viabilizar o projeto, ou seja, deve-se fazer aparecer, na análise econômica, todos esses benefícios complementares e seus efeitos.

### **3.2 Reservatórios de Detenção**

Os projetos de controle de cheias devem prever tanto medidas estruturais como não-estruturais. As primeiras são intervenções diretas nas calhas dos rios ou na paisagem urbana, como canalização, barragens, reservatórios, criação de parques longitudinais inundáveis, diques, reservatórios em praças ou lotes, entre outros. São consideradas medidas de controle e, geralmente, imprescindíveis para ações corretivas. Por sua vez, as medidas não-estruturais

são constituídas por ações indiretas, como zoneamento urbano (identificação das áreas alagáveis e restrições na legislação urbana), reservação de áreas para alagamento, preservação das várzeas, educação ambiental, sistemas de alerta, plano de resíduos sólidos e outros. Essas medidas podem ser vistas como um aprendizado de convivência harmônica com os eventos de enchentes, tendo um caráter preventivo e complementar ao corretivo (REZENDE, 2010).

A Figura 6 apresenta alguns exemplos de medidas estruturais e não estruturais de controle de cheias urbanas. Pode-se observar a classificação dos reservatórios de detenção como uma medida estrutural de armazenamento artificial a jusante, portanto ideal para regiões de fundo de vale.

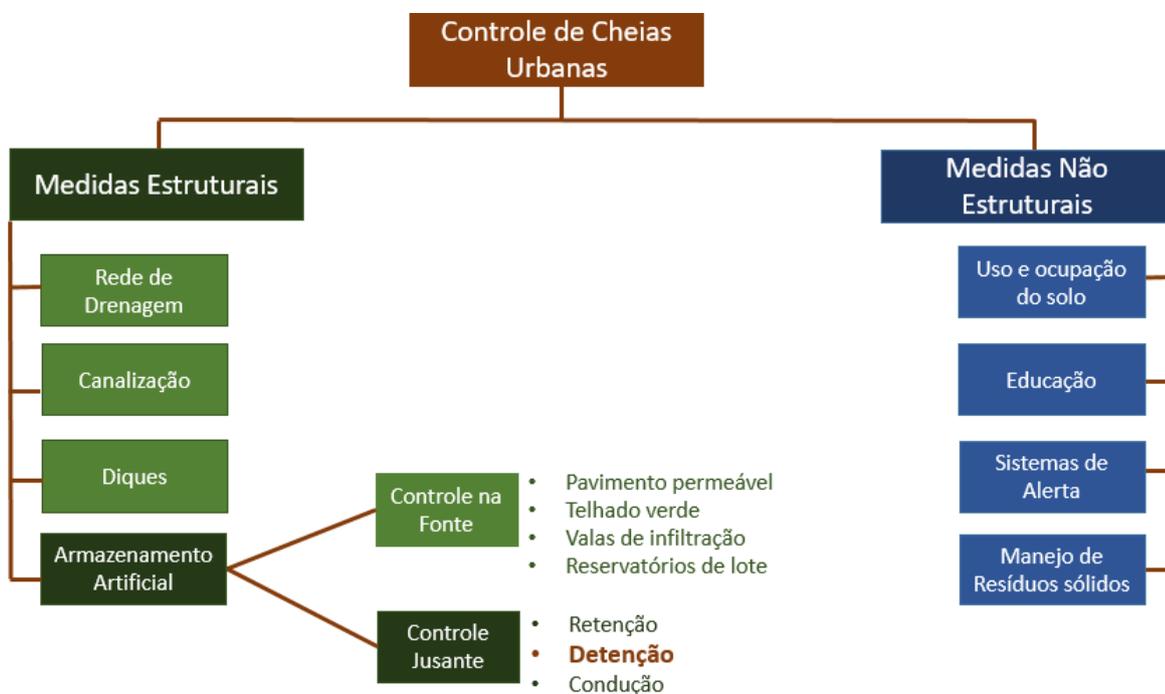


Figura 6 - Medidas estruturais e não estruturais de controle de cheias

Fonte: Elaboração própria

Embora o foco do estudo sejam as medidas estruturais, ao inserirmos um reservatório de detenção em um parque multifuncional, outras medidas de controle de cheias, em especial as não estruturais, podem ser combinadas a ele, como por exemplo projetos educacionais que promovam a consciência ambiental e a participação da sociedade no cuidado com água, contribuindo assim para uma melhoria da governança deste recurso.

Nakazone (2005) e ABPC (2002) classificam as soluções estruturais de amortecimento de cheias urbanas conforme o local de atuação na bacia hidrográfica ou dimensão da área de contribuição:

- **Na fonte** (ou distribuídas): área de contribuição menor do que 2 ha ou 20.000

m<sup>2</sup>. Envolvem o controle no lote ou em qualquer área primária de desenvolvimento, atuando próximo à formação do escoamento superficial direto;

- **A jusante:** área de contribuição maior que 2 ha ou 20.000 m<sup>2</sup>. Agem sobre os principais cursos d'água urbanos, nas regiões de concentração do escoamento de bacias ou sub bacias de contribuição, tratando de vazões de maior porte.

As soluções de armazenamento a jusante, podem ser classificadas em 3 tipos (Britte et. Al, 2014):

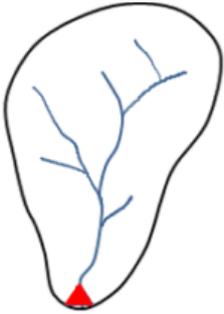
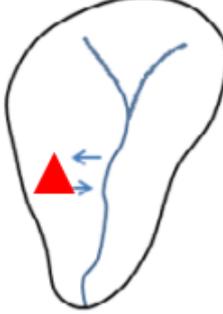
- Controle Jusante: **Retenção**
  - O escoamento armazenado NÃO é totalmente descarregado no sistema de drenagem a jusante
  - A água da chuva retida no reservatório é aproveitada para outros fins (paisagístico, irrigação, água de reúso, etc) ou armazenada até que o volume de água do reservatório volte ao original devido a evaporação.
  - Reservatório é permanentemente preenchido com água
  - Exemplo de retenção *in line*: barragem
- Controle Jusante: **Detenção**
  - Armazenamento de curto prazo com atenuação do pico
  - Todo o volume é descarregado no curso d'água da bacia
  - Volume pode ser armazenado *in line* ou *off line*, em reservatórios a céu aberto ou fechados
- Controle Jusante: **Condução**
  - O armazenamento é feito de forma transitória, em calha, com pequeno amortecimento, quando os canais, várzeas e drenos conduzem o escoamento superficial.
  - Construção de canais de baixa velocidade, com seções transversais largas ajudam nesse armazenamento.

Esta pesquisa estuda com mais detalhe os reservatórios de detenção devido a sua capacidade de armazenar um volume maior de água por área ocupada do que o reservatório de retenção. Ao considerarmos que a grande maioria das cidades em desenvolvimento possuem

pouco espaço disponível a jusante para reservatórios de retenção e margens densamente ocupadas para armazenamento por condução, esta solução pode se enquadrar melhor à realidade das cidades emergentes, em especial São Gonçalo, caso a ser estudado nesta dissertação.

As soluções de controle por **detenção**, por sua vez, podem ser classificadas quanto a sua localização em relação ao curso d'água e quanto a existência de lâmina d'água permanente, conforme representados respectivamente nas Tabela 2 e

Tabela 3 (ABPC, 2002):

Tabela 2 - Classificação quanto a localização em relação ao curso d'água	
Reservatórios de Detenção	
Classificação quanto a localização em relação ao curso d'água	
1. Detenção <i>in line</i>	2. Detenção <i>off line</i>
	
Implantados sobre ou ao longo do curso d'água.	Construídos nas margens ou paralelamente ao curso d'água.
Fonte: ABPC (2002)	Fonte: ABPC (2002)

A Figura 7 e a Figura 8 apresentam um exemplo de Bacia de detenção *in line* na cidade Guimarães, Portugal.



Figura 7 - Bacia de detenção *in line* em período seco.

Fonte: Green Savers (2016)



Figura 8 - Bacia de detenção *in line* após ocorrência de chuva

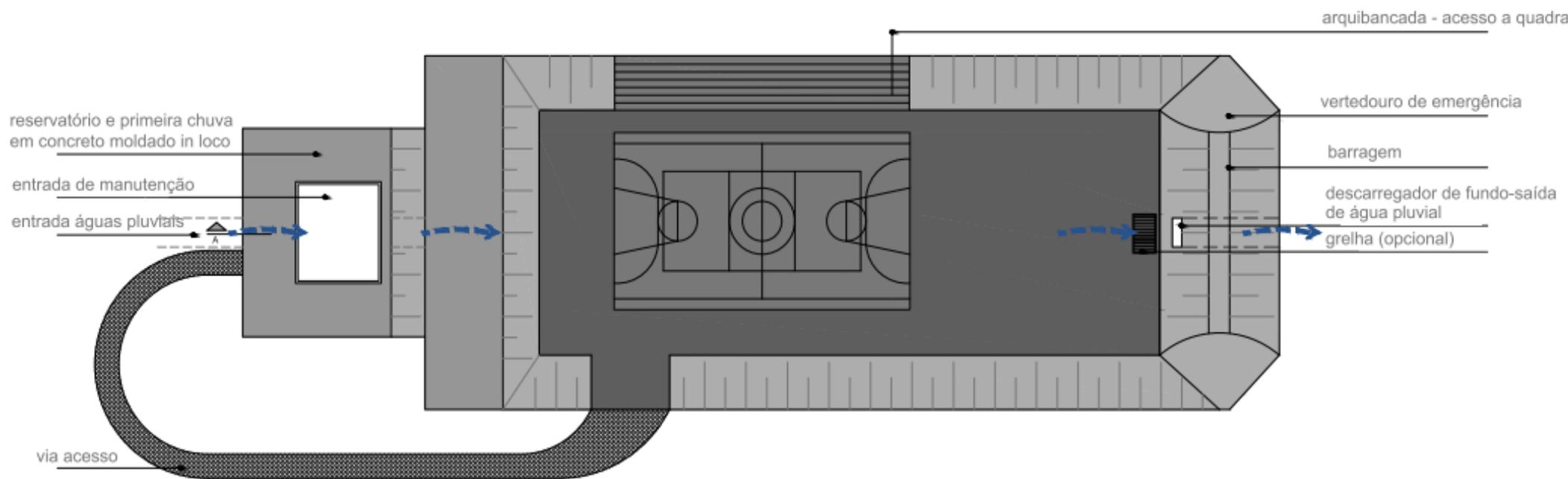
Fonte: Green Savers (2016)

Tabela 3 - Classificação quanto a existência de lâmina d'água permanente

Reservatórios de Detenção	
Classificação quanto a existência de lâmina d'água permanente	
<b>1. Bacia de detenção</b>	<b>2. Lagoa de d/retenção; 3. Bacia de retenção; 4. Banhados construídos</b>
Só há armazenamento temporário, após ocorrência de chuva. Pode armazenar grandes volumes, no entanto sua capacidade de melhoria da qualidade da água é limitada por armazenar a água por curto período.	Possuem lâmina d'água permanente e capacidade de armazenar volume temporário adicional. Armazena água pluvial por mais tempo e por isso tem maior potencial de melhoria da qualidade da água (ANGLIAN WATER, [s.d.]).
	
Bacia de detenção Praça Júlio Andreatta, Porto Alegre/RS Fonte: (MARTINS, 2015)	Lagoa de detenção no condado de Montgomery, Estados Unidos Fonte: MONTGOMERY COUNTY ([s.d.])

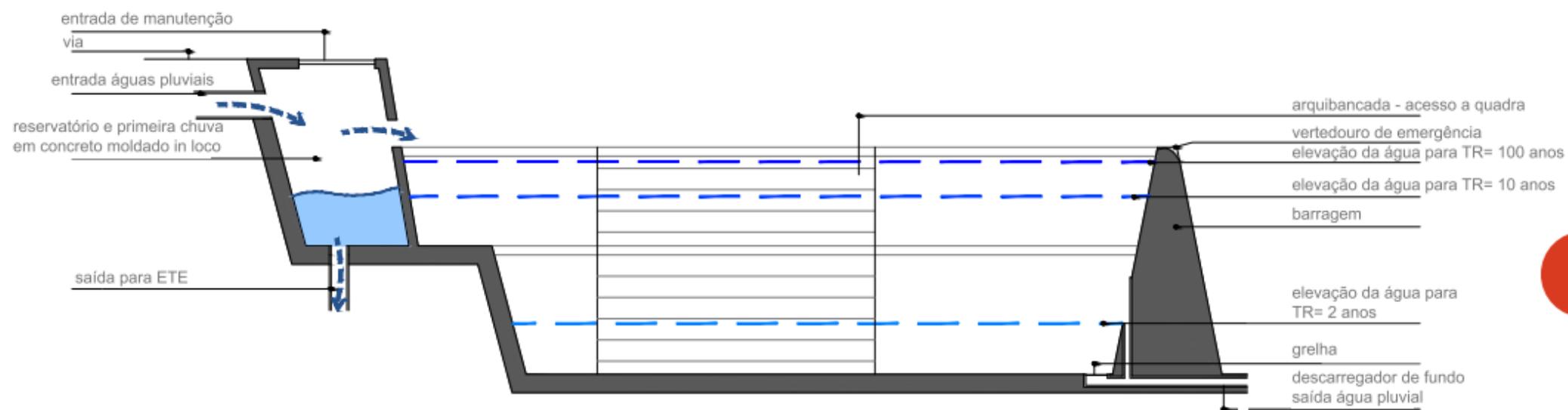
A Figura 9 apresenta um desenho esquemático de uma bacia de detenção do tipo *off line*. O reservatório possui uma quadra poliesportiva para uso recreativo em períodos secos. Além disso, há um reservatório de primeira chuva, cujo objetivo é separar a parcela de águas pluviais com maior carga poluidora.

No corte esquemático deste projeto, apresentado na Figura 10, pode-se observar que há uma saída para ETE do lodo sedimentado no fundo do reservatório de primeira chuva. Este modelo de projeto é muito interessante para o tratamento de poluição difusa e, no caso de lançamento clandestino de esgoto na rede de drenagem, funciona como uma captação em tempo seco, similar àquela observada em sistemas unificados de coleta de esgoto e água pluvial.



**Figura 9 - Planta esquemática de uma bacia de detenção**

Fonte: ABPC (2002)



**Figura 10 - Corte esquemático de uma bacia de detenção**

Fonte: ABPC (2002)

Embora as bacias de retenção apresentem como principal função o amortecimento das ondas de cheias e a redução das inundações urbanas, elas podem também proporcionar a captação de sedimentos e detritos, assim como a recuperação da qualidade das águas dos córregos e rios urbanos (ABPC, 2002), ainda que em menor escala. As vantagens da construção de bacias de retenção, as precauções a serem tomadas e as aplicações indicadas são apresentadas a seguir:

**Tabela 4 - Vantagens, precauções e aplicações de bacias de retenção**

<b>Vantagens</b>	<b>Precauções</b>
Os reservatórios de retenção podem ter um caráter multifuncional agregando áreas verdes e de lazer e, compondo projetos urbanísticos com valorização da presença de água em espaço urbano	A implantação de reservatórios de retenção somente para o controle de inundações, sem a integração de outros usos potenciais (como quadras de esportes, espaços para lazer e melhoria da qualidade das águas), pode conduzir à não aceitação da medida pela população do entorno.
Depois de construídos, causam pouca interferência no tráfego de veículos e no funcionamento de atividades de comércio e serviços.	A ausência de manutenção planejada e contínua pode acarretar na proliferação de animais vetores de doenças e vegetação, bem como na utilização do terreno para o lançamento ilegal de lixo e entulho.
Facilitam a limpeza e diminuem seu custo, pois os sedimentos e o lixo carregados pelas águas de chuva acabam concentrados em um único ponto.	Carências de ações de saneamento, como a coleta de lixo e a coleta adequada de esgoto, fazem com que os reservatórios de retenção sejam submetidos a cargas elevadas de poluentes.
Reduzem os custos de canalizações a jusante, pois armazenam grandes volumes de água pluvial.	No caso de estruturas que necessitem de bombeamento, há o risco de falha nas bombas que pode causar inundações a jusante.
	Podem requerer desapropriações para sua construção.
<b>Aplicações Indicadas</b>	
Bacias hidrográficas urbanas altamente impermeabilizadas e densamente povoadas, onde o reforço ou a ampliação dos canais e galerias de drenagem existentes torna-se muito oneroso ou inviável.	
Bacias onde ocorrem inundações que causem grandes perdas materiais e humanas para a população.	
Áreas de terrenos ociosos e degradados, pois possibilitam a criação de áreas verdes e de lazer, valorizando a presença de água e aumentando a qualidade de vida da região.	

Fonte: Adaptado de ABPC (2002)

A retenção de águas pluviais em reservatório amortece os picos de cheia e poluição e permite a remoção de sólidos em suspensão e de alguns poluentes associados. Os poluentes dissolvidos são eliminados principalmente por processos químicos e biológicos, mas a capacidade das bacias de retenção de remoção de poluentes coloidais e dissolvidos é bastante baixa. Os poluentes solúveis como o ortofosfato e os metais pesados podem, no entanto, ser

removidos com o uso de diferentes tipos de filtros de sorção ou pela adição de produtos químicos de precipitação, como sais de alumina ou ferro (ARIAS *et al.*, 2014).

No próximo capítulo o tratamento de águas pluviais é discutido com mais detalhes.

## 4 GESTÃO DA QUALIDADE

Águas pluviais provenientes de ruas, estradas, áreas urbanas ou industriais costumam conter altas concentrações de sólidos em suspensão, matéria orgânica biodegradável, nutrientes, metais pesados e micropoluentes orgânicos que podem afetar de formas diversas os corpos hídricos. Além disso, o volume de escoamento e a concentração de poluentes variam drasticamente de acordo com o período de tempo observado, de acordo com as características físicas da bacia hidrográfica e intensidade de chuvas. A poluição das superfícies urbanas geralmente é diluída em grandes volumes de água durante as ocorrências de chuva, resultando em baixas concentrações, com exceção da primeira descarga, que contém alta carga de poluentes. Devido a estas flutuações aleatórias de volume e carga poluidora nas águas pluviais, a concepção e operação de equipamentos de tratamento de água da chuva enfrentam o desafio de reduzir tanto a alta concentração de poluentes da primeira descarga como as baixas concentrações subsequentes (ARIAS *et al.*, 2014).

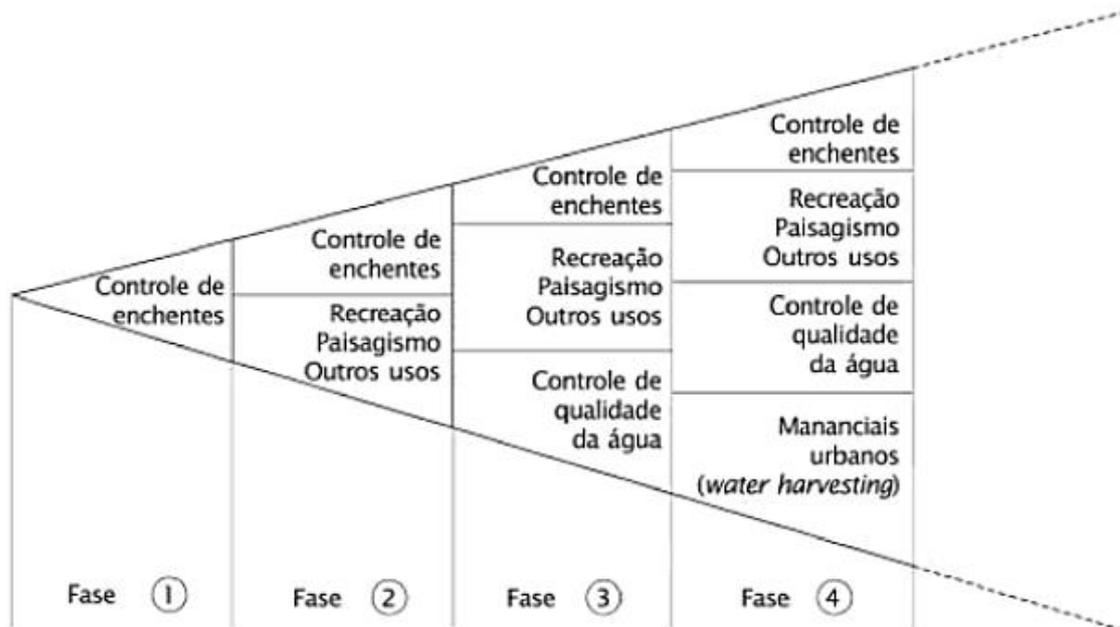
Uma variedade de sistemas alternativos de tratamento de águas pluviais estão sendo usados, incluindo as lagoas/bacias de retenção e os banhados construídos. Estes estão entre as tecnologias mais utilizadas e confiáveis, conseguindo uma remoção de poluentes relativamente boa e consistente. A retenção do escoamento pluvial em uma lagoa amortecida os picos de vazão e de concentração de poluentes, além de permitir a remoção de sólidos em suspensão e alguns dos poluentes associados (ARIAS *et al.*, 2014)

Esse tratamento alternativo de águas pluviais em zonas de clima temperado é bem pesquisado e bem estabelecido como uma estratégia de gestão de águas superficiais. No entanto, este não é o caso de regiões do globo de clima tropical. Nestas regiões há duas estações: seca e chuvosa, enquanto o clima temperado costuma ter chuva o ano todo. Maksimović *et al.* (1993 *apud* CHARLESWORTH; MEZUE, 2016) detalha os problemas específicos de drenagem urbana relacionados ao clima, os quais estão associados principalmente a chuvas intensas e altas temperaturas. Além disso, comparando-se a realidade de países desenvolvidos com a dos países em desenvolvimento, percebe-se um desnivelamento em relação ao estágio de resolução das questões envolvendo as águas urbanas. Nos países desenvolvidos, diversos problemas relativos ao abastecimento de água, esgotamento sanitário (coleta e tratamento) e drenagem urbana (seus aspectos quantitativos) estão em grande medida solucionados (TUCCI, 2003).

Enquanto os países desenvolvidos voltam seus esforços para o controle da poluição difusa ocasionada pela drenagem pluvial, nos países em desenvolvimento, em geral, e no Brasil, em particular, os esforços ainda se concentram no problema da universalização dos benefícios do saneamento básico e no controle de inundações (MEDEIROS; MAGALHÃES JR, 2009).

Ao pensar em drenagem urbana sustentável para cidades em desenvolvimento isso deve ser levado em consideração. Para que soluções descentralizadas de drenagem urbana como os parques multifuncionais com sistema de retenção, objetos desta pesquisa, contribuam para a melhoria da governança da água, a relação da população com a água deve ser positiva. Para isso, é necessário que a melhoria da qualidade da água também seja empregada de forma descentralizada, a partir do tratamento da poluição difusa e/ou do tratamento de esgotos lançados no sistema de drenagem - devido à ausência de sistema separador ou lançamento clandestino.

Walesh (1989, *apud* Canholi, 2014) citou a evolução das obras de retenção ao longo do tempo conforme representado na Figura 11. Segundo Canholi atualmente as obras desse tipo aplicadas no Brasil situam-se na Fase 2. Esta pesquisa pretende estudar soluções de Fase 3 que se apliquem ao contexto de cidades brasileiras.



**Figura 11 - Evolução das bacias de retenção ao longo do tempo**  
Fonte: Canholi (2014)

Desta forma, é ideal que soluções que visam a melhoria da qualidade da água também

sejam instaladas nos parques multifuncionais inundáveis que se pretende construir. O conceito de saneamento ecológico, inicialmente pensado para comunidades rurais e isoladas pode surgir como uma ferramenta de baixo custo e que atende o princípio da descentralização dos serviços. Além disso o saneamento ecológico é sustentável na medida que não transfere a carga orgânica no espaço-tempo e seus instrumentos podem ser adequados para o tratamento de diversos tipos de poluição.

#### **4.1 Saneamento Ecológico**

O movimento de ecossaneamento, idealizado na década de 1990, para designar o tratamento de efluentes em moldes mais compatíveis e amigáveis com o meio natural, representou uma oportunidade para recriar tecnologias. Em essência, o significado do conceito de saneamento sustentável pode ser entendido como uma forma de saneamento ecológico ou ecossaneamento, devido à premissa de separação dos materiais na origem. A abordagem é uma resposta às desvantagens representadas pelo processamento a jusante, em que a topologia de rede projeta as estações de tratamento para o final das linhas de coleta (*end-of-pipe*) (LOURENÇO, 2017).

A perspectiva de descentralização mais ampla do sistema de saneamento – ainda fortemente centralizado nos grandes centros urbanos – tem implicações profundas no arranjo arquitetônico e paisagístico da cidade, podendo criar oportunidades de repensar a disposição física em consonância com a funcionalidade. Uma forma de colocar em prática essa nova configuração é, por exemplo, estudando a tecnologia com maior alcance para os grupamentos subnormais incrustados no grande centro urbano, especialmente na cidade do Rio de Janeiro, onde as habitações de baixa renda estão presentes em quantidade expressiva (LOURENÇO, 2017).

A Associação Internacional de Água (IWA), o Conselho Colaborativo de Água e Saneamento (WSSCC) e o Instituto Suíço de Tecnologia e Ciência Aquática (Eawag) escreveram, em 2008, o “Compêndio de Sistemas e Tecnologias de Saneamento”, o qual veio a se tornar a compilação mais popular de tecnologias de saneamento e teve sua segunda edição publicada em 2014 (TILLEY *et al.*, 2014). O compêndio chama de Semi-Centralizadas as soluções de tratamento ecológico de efluentes que podem atender à população de um bairro ou de uma bacia inteira. Estas são projetadas para acomodar uma contribuição maior que as soluções

ecológicas comuns, geralmente aplicadas a nível de lote. Na maioria dos casos, também apresentam melhoria na remoção de nutrientes, matéria orgânica e patógenos. Estas tecnologias são apresentadas na Figura 12 e são divididas em dois grupos: T.1 a T.12 são primariamente para o tratamento de águas negras, marrom, cinza ou efluente, enquanto T.13 a T.17 são mais aplicadas a tratamento de lodo. Tecnologias de pré e pós tratamento também são descritas pelo compêndio, embora não sejam sempre necessárias.

<b>PRE</b>	<b>Tecnologias de Pré-Tratamento</b>	
T.1	Decantador	} Tecnologias para tratamento de águas negras, marrom, cinza ou efluente
T.2	Tanque Imhoff	
T.3	Reator Anaeróbio Compartimentado	
T.4	Filtro Anaeróbio	
T.5	Lagoas de Estabilização de Resíduos	
T.6	Lagoa Aerada	
T.7	Banhados Construídos (sem água na superfície)	
T.8	Banhados Construídos de Fluxo Horizontal Subsuperficial	
T.9	Banhado Construído de Fluxo Vertical	
T.10	Filtro Biológico	
T.11	Reator UASB	
T.12	Lodo Ativado	
<hr/>		
T.13	Lagoas de Sedimentação	} Tecnologias para tratamento de lodo
T.14	Leito de Secagem (não plantados)	
T.15	Leito de Secagem (plantados)	
T.16	Co-Compostagem	
T.17	Reator de Biogás	
<b>PÓS</b>	<b>Filtragem e Desinfecção</b>	

**Figura 12 - Tecnologias de saneamento ecológico**

Fonte: TILLEY *et al.* (2014)

Os projetos de engenharia de sistemas de tratamento semi-centralizados devem criar uma combinação apropriada dessas tecnologias para atingir o padrão final de qualidade da água desejado. Em qualquer contexto, a escolha da tecnologia geralmente depende dos fatores:

- tipificação e quantificação dos produtos a serem tratados (incluindo desenvolvimento futuro);
- produto final desejado (uso e/ou requisitos legais de qualidade);
- recursos financeiros;
- materiais disponíveis localmente;
- espaço disponível;
- características de solo e lençol freático;
- disponibilidade de energia elétrica;

- habilidades e capacidade (para projeto e operação) e
- considerações de gestão.

Os sistemas de águas pluviais são frequentemente colocados em áreas com valor recreacional e, portanto, devem ser projetados com a arquitetura da paisagem urbana. Uma mistura de espécies de plantas de zonas húmidas contribui para uma aparência agradável de uma lagoa e também pode atrair uma fauna diversificada. As plantas de zonas úmidas também desempenham um papel ativo na remoção de poluentes, principalmente modificando a hidráulica e aumentando assim o potencial de sedimentação na lagoa e mantendo ou melhorando as características hidráulicas das unidades de filtragem. Os filtros de areia plantados junto a vegetação de área alagada demonstraram ser particularmente eficientes na remoção de sólidos em suspensão e metais pesados de águas pluviais (CHARLESWORTH; MEZUE, 2016).

No Capítulo 6.3 é apresentado um caso de aplicação de tecnologia de saneamento ecológico no Brasil para avaliação de sua funcionalidade.

## 5 PARQUES MULTIFUNCIONAIS

As paisagens ecológicas nas comunidades urbanas têm um papel fundamental, não apenas de amortecer o impacto das mudanças climáticas nos ambientes aquáticos naturais e restabelecer os serviços ecossistêmicos, mas também de reverter a abordagem filosófica convencional que as comunidades urbanas têm com o ciclo hidrológico e seus rios (WONG; BROWN, 2008).

Justamente por ter o princípio da funcionalidade, o projeto de um parque urbano multifuncional deve atender às demandas particulares de cada contexto onde é inserido. Desta forma não existe uma norma ou modelo a ser seguido. O envolvimento de diferentes atores da sociedade é então fundamental no levantamento dos problemas locais e busca pela melhor solução. Ou seja, o parque urbano multifuncional para drenagem urbana sustentável, nada mais é do que um instrumento da governança da água, pois tem como princípio fundamental o pacto hidro-social.

Os múltiplos usos de um parque devem, naturalmente, ser considerados no projeto. O grande desafio é que os critérios de projeto para o controle de quantidade e qualidade da água às vezes (se não tomados os devidos cuidados) podem ser contraditórios aos critérios de projeto para outros fins, como estética, recreação, acesso público, educação, segurança etc (STAHRE, 2005).

A construção e o uso de soluções estruturais inovadoras em bacias hidrográficas altamente urbanizadas para fornecer sistemas alternativos de controle da quantidade de água (alívio das inundações) e da qualidade da água (prevenção da poluição) de águas pluviais mostraram-se mais eficientes, mais compactos por oferecerem "controles" mais efetivos em comparação com os sistemas convencionais, proporcionando assim uma economia significativa de custos, além da eficácia melhorada (STAHRE, 2005).

Pensando na RMRJ, os projetos de parques destinados a drenagem urbana sustentável devem atentar para alguns requisitos peculiares para que cumpram bem sua função:

- Atenção à qualidade da água: mesmo que não projetados para tratamento de esgoto doméstico, é necessário atentar à qualidade da água drenada na paisagem do parque, já que, devido ao *deficit* de saneamento, as águas pluviais costumam carregar esgoto doméstico e resíduos sólidos lançados clandestinamente a rede, o que pode inviabilizar a multifuncionalidade ou criar resistência na população do entorno.

- Cuidado com acúmulo de água limpa e parada: o acúmulo de água limpa e parada, se não estiver inserido em um ecossistema equilibrado, pode se tornar criadouro de mosquitos transmissores de doenças (como dengue, zica e chikungunya), gerando outro problema sanitário.
- Violência urbana: o oferecimento de lazer à população, iluminação pública e ambiente agradável é essencial para que estes parques sejam usufruídos e não se tornem locais propícios a violência urbana, devido ao não uso e abandono.
- Manutenção: para cumprir seu papel na mudança da abordagem filosófica convencional que as comunidades urbanas têm com o ciclo hidrológico e seus rios, é necessário que os parques mantenham-se limpos e funcionais para que esta relação seja positiva e educativa.

O Relatório de Propostas de Cenários do Modelar a MetrÓpole (CÂMARA METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO, 2016b) destaca alguns tipos de parques multifuncionais de acordo com o principal objetivo ecológico atribuídos a eles:

- **Parques Urbanos Inundáveis:** São parques longitudinais, implantados propositalmente em áreas mais baixas, destinadas a frequentes inundações, com objetivo de armazenamento temporário de cheias. Em função de suas dimensões, dependendo da disponibilidade de espaço, pode-se realizar a implantação de campos de futebol, quadras poliesportivas, ciclovias, praças de lazer, dentre outros, considerando-se que esses equipamentos deverão ficar submersos em alguns períodos e por poucas horas. Onde possível, a parte mais baixa pode ter vegetação natural, de baixa necessidade de manutenção.
- **Parques Urbanos Fluviais:** São parques longitudinais, cuja finalidade é a proteção das margens dos cursos d'água, impedindo a reocupação das margens e garantindo o livre acesso aos trabalhos de limpeza e desobstrução das calhas dos cursos d'água, que eventualmente precisam ser realizados de forma periódica. As residências existentes nessas margens devem ser demolidas e as famílias relocadas para outras áreas – essa ação visa concomitantemente evitar a presença de famílias em áreas de risco. Em função de suas dimensões, o Projeto Executivo desses parques deve prever equipamentos urbanos, ciclovias, calçadões ou pequenas praças de lazer. No seu entorno, quando

não houver espaço físico junto às margens do curso d'água sob intervenção, será previsto, pelo menos, o plantio de uma fileira de árvores em cada margem delimitando seu contorno. Onde possível, a vegetação ciliar deve ser recuperada.

- **Parque Urbano de Preservação Ambiental:** Parques com objetivo de garantir a manutenção de áreas permeáveis e ampliar a presença de áreas de ambiente natural no tecido urbano.
- **Parques Urbanos Multifuncionais de Transição:** Possuem como atributo principal a transição entre os parques inundáveis e as áreas de expansão urbana. Espera-se que esses parques tenham mais infraestrutura urbana do que os parques inundáveis de forma a evitar o avanço da urbanização e também promover a aproximação da população em relação aos parques destinados ao amortecimento de cheias. A implantação da infraestrutura é indicada para uma maior apropriação do espaço pela população. Além do papel ambiental, esses parques também possuem potencial para exploração econômica de seus atributos paisagísticos, como por exemplo, os areais.

## 6 APRESENTAÇÃO DE PRÁTICAS NACIONAIS

A gestão integrada das águas urbanas, embora ainda pouco empregada, vem tendo sua importância reconhecida no Brasil a partir de leis, planos e políticas urbanas. A Lei do Saneamento de 2007 teve um papel fundamental na difusão da importância da integração dos serviços relacionados à água, ao definir a drenagem e o manejo de águas pluviais urbanas como peças indispensáveis do saneamento básico de todas as áreas urbanas. A lei não se refere apenas a infraestruturas e instalações operacionais de drenagem urbana de águas pluviais, de transporte e disposição final, que compreendem as atividades tradicionais deste sistema, mas também prevêem a detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias e o seu tratamento como elementos do sistema (CÂMARA METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO, 2016a).

O Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB foi elaborado pela Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA), órgão do Ministério das Cidades, para regular a condução das políticas públicas de saneamento básico, com metas e estratégias de governo para o setor. O objetivo principal é universalizar o acesso aos serviços de saneamento (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE AGÊNCIAS E REGULAÇÃO, 2012). O PLANSAB previu, pela primeira vez, uma atuação articulada voltada para os quatro componentes do saneamento básico: água, esgoto, drenagem de águas pluviais e o destino adequado aos resíduos sólidos (CASTRO, 2016).

No Manual de Apresentação de Propostas de Drenagem Urbana Sustentável, publicado pelo Ministério das Cidades, em 2006 (BRASIL, 2006), o conceito de desenvolvimento de baixo impacto já é mencionado como orientação à apresentação das propostas técnicas, como pode ser observado na Figura 13 (VERÓL, 2013).



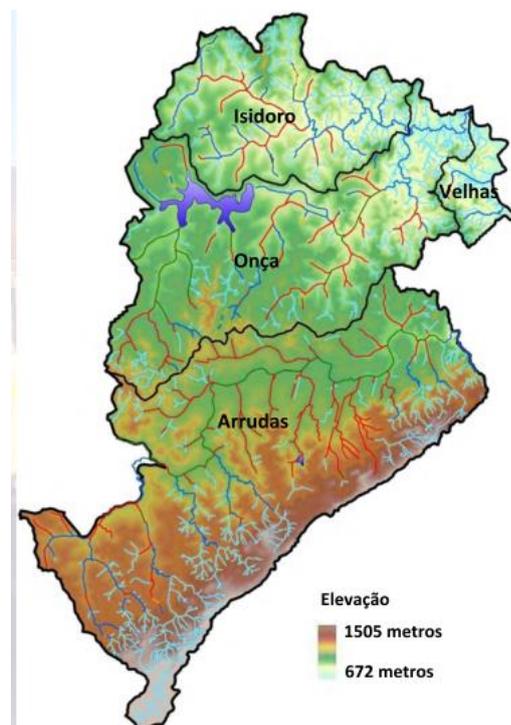
Figura 13 - WSUD deve ser aplicado de forma integrada - Esquema

Fonte: CIRIA (2013)

Alguns projetos urbanos já implementados no Brasil demonstram que há abertura para soluções estruturais inovadoras e mais sustentáveis e alguns deles são destacados neste capítulo com o objetivo de apontar os avanços observados e também os desafios encontrados.

## 6.1 Belo Horizonte – DRENURBS

A cidade de Belo Horizonte, capital do Estado de Minas Gerais, apresenta características geográficas propícias aos efeitos negativos da chuva. Sua ocupação deu-se ao longo do Ribeirão Arrudas, em áreas de fortes declividades (em praticamente todas as suas nove Regionais há ocupações acima de 30%), o que ampliou as probabilidades de ocorrência de processos naturais perigosos, principalmente inundações e escorregamentos (PAOLUCCI, 2012). A Figura 14 apresenta as características de relevo e a hidrografia da cidade.



**Figura 14 - Hidrografia e relevo de Belo Horizonte**  
 Fonte: PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE (2010)

### 6.1.1 Caracterização e Histórico

A Prefeitura Municipal de Belo Horizonte lançou, no ano de 2001, o Programa de Recupe-

ração Ambiental e Saneamento dos Fundos de Vale e dos Córregos em Leito Natural do Município de BH – Drenurbs/Nascentes. Este programa surge como uma proposta abrangente e integrada para o saneamento ambiental a fim de estabelecer um novo modo de tratar os cursos d'água que ainda correm em leito natural na cidade. O Drenurbs/Nascentes é fruto de uma evolução conceitual, jurídica e institucional no tratamento dado pela Prefeitura de Belo Horizonte – PBH às questões relativas ao saneamento e à salubridade ambiental no município (MEDEIROS; MAGALHÃES JR, 2009).

São diretrizes do Programa (WSTANE, 2013):

- Tratamento integrado dos problemas sanitários e ambientais;
- Estocagem de águas pluviais;
- Integração dos cursos d'água na paisagem urbana;
- Participação popular.

A orientação geral para elaboração dos projetos estabeleceu que o controle das cheias deva priorizar a retenção de água, evitando-se as soluções que impliquem em revestimentos das calhas dos córregos e ribeirões com o conseqüente e indesejável incremento das velocidades de escoamento (PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE, 2016).

Como resultado deste programa e de outros subsequentes, recentemente o sistema de drenagem em Belo Horizonte passou a ser composto por diversas bacias para estocagem de águas pluviais. A Figura 15 apresenta todos os reservatórios construídos e planejados para a cidade.

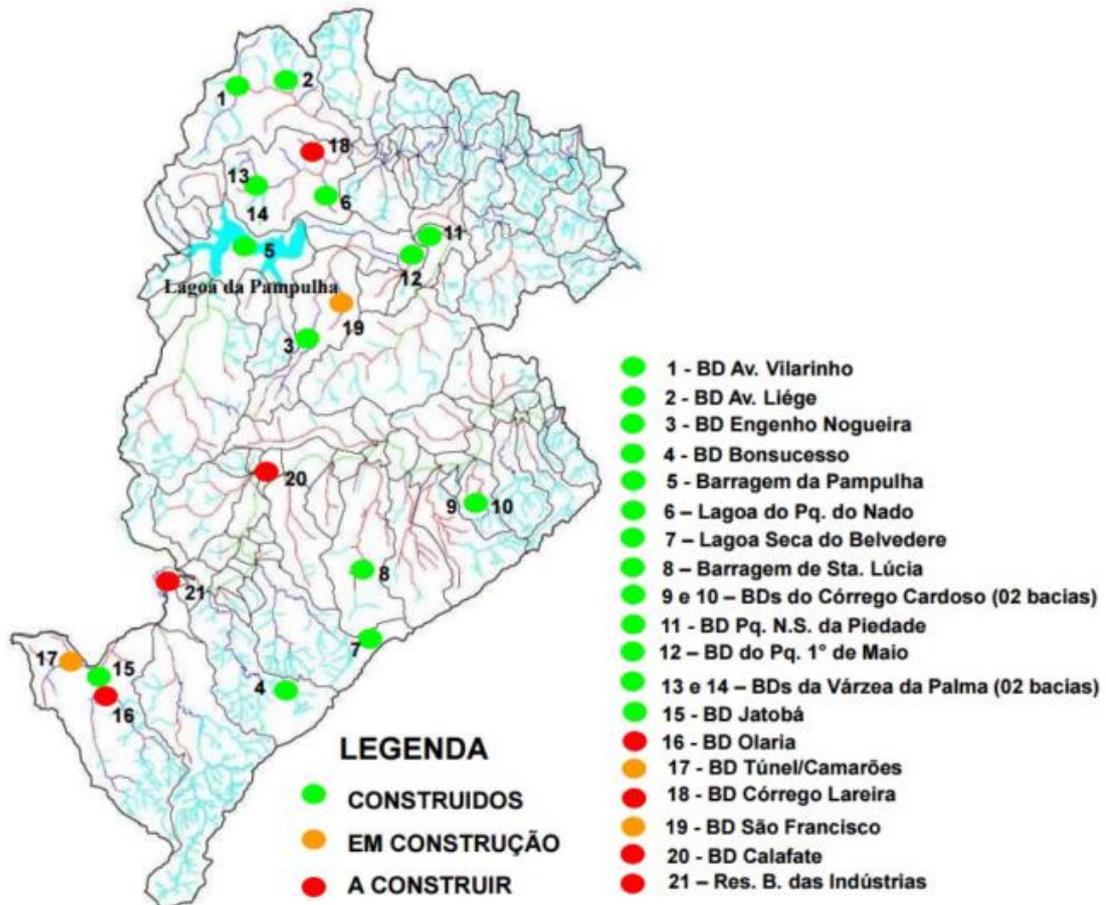


Figura 15 - Reservatórios para controle de cheias em Belo Horizonte

Fonte: PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE (2016)

Na primeira etapa do programa DRENURBS, dos 5 principais empreendimentos – 1º de Maio, Baleares, Nossa Sr. Da Piedade, Engenho Nogueira e Bonsucesso – 4 tiveram bacias de controle de cheia construídos. A Tabela 5 apresenta uma visão geral dos empreendimentos e a Figura 16 apresenta a localização de cada um dos projetos no município.

Tabela 5 - Visão geral dos principais empreendimentos da primeira etapa do programa DRENURBS

Projeto do Córrego:	Regional						Fim da Obra	Pop beneficiada	Custo (MM)	
		Qualidade da Água	Detenção/Retenção	Tratamento Fundo Vale	Educação Ambiental	Área de Lazer				
1º de Maio	Norte	✓	✓	✓	✓	✓	Abr/2008	2.983	R\$	4,6
Baleares	Venda Nova	✓		✓	✓	✓	Mai/2008	3.741	R\$	7,8
Nossa Sra da Piedade	Norte	✓	✓	✓	✓	✓	Mai/2008	6.713	R\$	14,8
Engenho Nogueira	Pampulha e Nordeste	✓	✓	✓			Dez/2011	19.641	R\$	21,8
Bonsucesso	Barreiro / Oeste		✓			✓	Dez/2011	47.213	R\$	189,6

Fonte: Elaboração própria



**Figura 16 - Áreas de Intervenção - 5 sub-bacias - 1ª etapa**  
Fonte: PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE (2010)

Apresentam-se, a título de ilustração, as quatro intervenções prioritárias com soluções de armazenamento temporário de águas pluviais em parques multifuncionais.

#### 6.1.1.1. Parque do Córrego 1º de Maio

O Córrego 1º de Maio é um afluente da margem esquerda do Ribeirão Pampulha, com área de 0,48 km<sup>2</sup> e talvegue com extensão de 0,44 km (PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE, 2016).

Sua nascente situa-se em área pouco habitada, sofrendo processos de degradação resultantes de deposição de lixo, entulhos e dos lançamentos de esgoto. A maior parte da extensão do córrego encontrava-se em leito natural, enquanto pequena parte em canal revestido e fechado (CAMACHO, 2016).

A sub-bacia apresentava grande foco erosivo, instabilidade dos taludes e grande quantidade de sedimentos. Não havia interceptores e a rede coletora, existente em praticamente todas as vias (96% de cobertura), lançava seus esgotos na calha natural do córrego. Depoimentos de moradores indicavam a existência de grande volume de lixo depositado no corpo

d'água, oriundos de bairros localizados em níveis mais altos, tornando a ocorrência de inundações sempre constantes em épocas de chuva. A degradação e abandono ali existentes tornavam a área propícia à marginalidade (CAMACHO, 2016).

As intervenções realizadas são apresentadas na Figura 17, Figura 18 e na Figura 19, como (PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE, 2016):

- Implantação do Parque Urbano 1º de Maio;
- Tratamento de fundo de vale e contenção de margens;
- Proteção de nascentes;
- Implantação de redes coletoras e interceptores de esgotos;
- Tratamento de focos erosivos;
- Pavimentação de vias;
- Implantação de sistema de drenagem e melhoria do já existente;
- Recomposição e tratamento de taludes;
- Implantação de bacia de retenção de cheias com espelho d'água;
- Desapropriação, indenização e remoção de famílias;
- Implantação dos Programas de Educação Ambiental e de Mobilização Social junto à comunidade residente na sub-bacia.

As obras da primeira etapa foram concluídas em abril de 2008. Dentre os resultados, destacam-se a melhoria efetiva do índice de qualidade das águas do córrego, a redução dos riscos de inundações, a melhoria das condições ambientais e sanitárias da região, a melhoria da acessibilidade e a retirada das famílias ocupantes de áreas de risco. A implantação do projeto ainda proporcionou meios de lazer e recreação para a população local, que carecia de equipamentos urbanos com estas finalidades (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA CIMENTO PORTLAND-ABCP, 2013).



Figura 17 - Projeto Executivo do Parque da Sub-Bacia do Córrego 1º de Maio – Belo Horizonte  
 Fonte: PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE (2016)



**Figura 18 - Sub-Bacia do córrego 1º de Maio - antes das obras do Drenurbs – Belo Horizonte**  
Fonte: Medeiros (2009)



Figura 19 - Sub-Bacia do córrego 1º de Maio depois das obras do Drenurbs – Belo Horizonte  
Fonte: Medeiros (2009)

#### 6.1.1.2. Parque do Córrego Nossa Senhora da Piedade

O Córrego da Avenida Nossa Senhora da Piedade é um afluente da margem esquerda do Ribeirão da Onça, com área de 0,73 km<sup>2</sup> e talvegue com extensão de 0,64 km (leito natural) e 0,48 km (canalizado), totalizando 1,12 km (PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE, 2016).

A ocupação da área já era bastante consolidada, sendo que grande parte das famílias residiam há mais de vinte anos no local. No vale do Córrego Av. Nossa Senhora da Piedade verificava-se que a maior parte dos focos de produção de sedimentos estava ligada às atividades antrópicas de descartes de materiais terrosos e restos de construção. Ao longo do córrego observavam-se lançamentos de entulhos diretamente em suas margens e a vegetação primitiva havia sido removida. A população localizada nas proximidades do córrego não era atendida em sua totalidade pelos serviços de esgotamento sanitário, que eram lançados diretamente no córrego, pois não havia sistema de interceptação implantado (CAMACHO, 2016).

As intervenções realizadas são apresentadas na Figura 20, Figura 21 e na Figura 22 e listadas, como (PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE, 2016):

- Implantação de Parque Urbano;
- Tratamento de fundo de vale e contenção de margens;
- Implantação de bacia de controle de cheias;
- Recuperação de nascentes;
- Implantação de interceptores de esgoto e complementação da rede coletora;
- Tratamento de focos erosivos;
- Implantação de sistema viário e melhoria do já existente no entorno;
- Recomposição de taludes;
- Desapropriação, indenização e remoção de famílias;
- Implantação dos Programas de Educação Ambiental e de Mobilização Social junto à comunidade residente na sub-bacia.

As obras foram concluídas em maio de 2008. Com as intervenções, os problemas relacionados à inundação foram mitigados. A qualidade das águas do Córrego da Av. Nossa Senhora da Piedade, antes do início das obras, apresentavam estado “muito ruim” e “ruim”, enquanto que após a conclusão das obras, agora figuram entre o estado “bom” e “excelente”

(CAMACHO, 2016).

Houve melhoria na qualidade de vida e das condições de salubridade dos habitantes (representada pela eliminação dos problemas de inundação, da interceptação dos esgotos e da redução de deposição irregular de lixo nos cursos d'água) e também do padrão de habitabilidade de grande parte das famílias indenizadas, que foram retiradas das áreas de risco de inundação (BELO HORIZONTE, 2009).



Figura 20 - Projeto Executivo do Parque da Sub-Bacia do Córrego N. Sra da Piedade – Belo Horizonte

Fonte: PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE (2016)



Figura 21 - Sub-Bacia do córrego N. Sra da Piedade - antes das obras do Drenurbs – Belo Horizonte  
Fonte: Medeiros (2009)



**Figura 22 - Sub-Bacia do córrego N. Sra da Piedade depois das obras do Drenurbs – Belo Horizonte**  
 Fonte: Medeiros (2009)

### 6.1.1.3. Parque do Córrego Engenheiro Nogueira

O Córrego Engenho Nogueira é um afluente da margem direita do Ribeirão Pampulha, e está localizado na porção norte do Município de Belo Horizonte (PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE, 2016).

A bacia está inserida, na sua quase totalidade na Regional Pampulha do Município, com pequenas porções integrando a Regional Noroeste. Possui uma área total de 10,04 km<sup>2</sup>, entretanto as intervenções ocorreram em 5 sub-bacias, totalizando 6,0 km<sup>2</sup> (PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE, 2016).

A Bacia de Detenção de Cheias do Córrego Engenho Nogueira foi construída em terreno da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), doado em comodato para a Prefeitura, na prevenção de inundações em pontos como a própria UFMG e o Aeroporto da Pampulha. A bacia construída é do tipo seca, sem espelho d'água permanente. Sua alimentação é feita através de um túnel bala de 278 metros de comprimento com mais de 2 metros de altura (PBH, 2010).

As intervenções realizadas foram (PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE, 2016):

- Implantação de bacia de detenção de cheias;
- Tratamento de fundo de vale e contenção de margens;
- Implantação de redes coletoras e interceptores de esgotos;
- Implantação de macro e microdrenagem;
- Implantação de redes condominiais;
- Tratamento de focos erosivos;
- Implantação de áreas de convívio social;
- Implantação e melhorias no sistema viário;
- Desapropriação, indenização e remoção de família

As obras foram concluídas em dezembro de 2011. Da Figura 23 a Figura 26 são apresentadas a situação da região antes e depois das intervenções.



**Figura 23 - Córrego Engenho Nogueira antes das intervenções – Belo Horizonte**

Fonte: PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE (2016)



**Figura 24 - Bacia de detenção Engenho Nogueira obras finalizadas – Belo Horizonte**

Fonte: PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE (2016)



**Figura 25 - Vista do tratamento de fundo de vale da Rua Prentice Coelho – Belo Horizonte**

Fonte: PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE (2016)



**Figura 26 - Galeria de drenagem (túnel bala) sob Anel Rodoviário (obra concluída) – Belo Horizonte**

Fonte: PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE (2016)

O túnel-bala, construído pela Cia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA) em parceria com a equipe do DRENURBS, está localizado embaixo do Anel Rodoviário, no âmbito da Bacia do Córrego Engenho Nogueira. Segundo Aroeira (2010), devido à sua localização a montante da bacia de retenção não haverá excesso de água a jusante, como tradicionalmente ocorre quando há lançamento em corpos d'água canalizados. Todavia, Paolucci (2012) afirma que, assim como ocorre com as galerias de águas pluviais e com as bacias de retenção, esse túnel não escapará de uma carga poluidora de resíduos sólidos e seu entupimento pode ser desastroso para os arredores dada a sua posição e concentração de águas que poderá acumular.

#### 6.1.1.4. Parque do Córrego Bonsucesso

O Córrego Bonsucesso é um afluente da margem direita do Ribeirão Arrudas e está localizado na porção sul do Município de Belo Horizonte, nascendo nas encostas da Serra do Curral, próximo à divisa com o Município de Nova Lima (PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE, 2016). Localizada nas Regionais Barreiro e Oeste, a bacia do córrego Bonsucesso possui área total de 11,77 km<sup>2</sup>, população de 42.213 habitantes e talvegue com extensão de 22,60 km (BELO HORIZONTE, 2011; EVANGELISTA, 2011).

O córrego apresentava-se em sua maioria em leito natural com presença de vegetação em parte das áreas adjacentes ao rio, porém com problemas de lançamento de esgotos, focos erosivos e de assoreamento, lançamento de resíduos sólidos e ocupação da planície de inundação por algumas casas (CAMACHO, 2016).

A primeira etapa de intervenções foi concluída em dezembro de 2011 e faziam parte de seu escopo (PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE, 2016):

- Construção de 440 unidades habitacionais;

- Implantação de bacia de retenção de cheias;
- Implantação de área de convívio social – campo de futebol e equipamentos de apoio;
- Implantação de redes coletoras nos bairros Hosana/Liberdade;
- Desapropriação, indenização e remoção de famílias.

A região ainda está passando por intervenções adicionais, como parte do Programa Drenurbs Suplementar à 1ª Etapa (PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE, 2016):

- Tratamento de fundo de vale e contenção de margens do córrego Bonsucesso;
- Implantação e melhorias no sistema viário;
- Complementação do sistema de microdrenagem;
- Implantação de parque linear e áreas de uso social;
- Tratamento das áreas remanescentes com plantio de gramas esmeraldas e 1.489 espécimes arbóreas;
- Tratamento de focos erosivos ao longo das margens dos córregos;
- Implantação de interceptores de esgotos, redes coletoras e ligações domiciliares.

A bacia de retenção de cheias do Córrego Bonsucesso, com 1.192 hectares e capacidade para 250.000 m<sup>3</sup> de água, foi decisiva para a redução de enchentes na região do bairro Bonsucesso e Av Tereza Cristina. A obra inclui intervenções nos 22 quilômetros da bacia hidrográfica e foram concluídas em dezembro de 2011. Da Figura 27 à Figura 31 é apresentada a situação da região antes e depois das intervenções (PORTAL PBH, 2013).



**Figura 27 - Vista do córrego Bonsucesso antes das obras do DRENURBS – Belo Horizonte**

Fonte: Camacho (2016)



**Figura 28 - Córrego Bonsucesso antes das obras do DRENURBS – Belo Horizonte**  
Fonte: PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE (2010)



**Figura 29 – Margens do córrego Bonsucesso antes das obras do DRENURBS – Belo Horizonte**  
Fonte: PBH (2012)



**Bacia de retenção de cheias**

**Figura 30 - Bacia de retenção de cheias da bacia do córrego Bonsucesso – Belo Horizonte**  
Fonte: PBH (2012)



**Figura 31 - Córrego Bonsucesso após obras do DRENURBS – Belo Horizonte**  
 Fonte: PBH (2012)

### 6.1.2 Resultados e Desafios

O programa de Drenagem em BH (DRENURBS) é paradigmático porque colocou a água como norteador de um entendimento institucional do território pois entende o mesmo não por divisões administrativas ou simbólicas, mas sim pelo recorte da sub-bacia hidrográfica e como potencial território de construção cotidiana de uma relação de lazer com a água como elemento principal (ROCHA *et al.*, [s.d.]).

A Prefeitura Municipal de Belo Horizonte (2016) considera que mesmo após os avanços alcançados com a implantação da Política Municipal de Saneamento, do Plano Diretor de Drenagem e do início efetivo das obras do Programa Drenurbs, ainda podem-se identificar como causadores dos problemas de drenagem da cidade (PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE, 2016):

- Dificuldades para a efetiva gestão integrada do sistema municipal de drenagem, principalmente no que se refere às interferências com as redes de água e esgotos, sob a responsabilidade da Copasa;
- A existência de lançamentos clandestinos de esgotos em redes de drenagem e de águas pluviais em redes coletoras de esgotos, cujos cadastros ainda são falhos nas identificações dessas ocorrências e sem uma definição clara quanto às responsabilidades institucionais para sua correção;
- A execução apenas parcial de obras de drenagem, principalmente por falta de recursos;

- A insuficiência da estrutura técnica e administrativa para fazer frente às demandas de obras emergenciais, principalmente no âmbito das Administrações Regionais, e dos setores responsáveis pela elaboração de projetos para o atendimento com a agilidade necessária aos setores de manutenção;
- Recursos ainda insuficientes, ainda que com os financiamentos dos organismos nacionais e internacionais, para fazer frente a todos os problemas relacionados à drenagem urbana no Município;
- Inexistência de modelos de chuva x vazão calibrados

Silva (2013) afirma que, ainda que a Fundação Municipal de Parques (FMP) consiga exercer certo controle e cuidados sobre os parques construídos pelo DRENURBS, não foram tomadas medidas que protegessem os cursos d'água da poluição difusa, assim denominada, justamente porque sua origem não pode ser atribuída pontualmente[...]. As chuvas lavam as ruas à montante dos parques, carreando para o curso d'água, teoricamente saneado e preservado, todos os resíduos dessa lavagem. Os cursos d'água são receptáculos dessa poluição – sedimentos finos, óleos e graxas provenientes dos veículos; o cheiro, a turbidez e a oleosidade das águas são notáveis.

A cobertura da coleta de lixo doméstico alcança 95% do município e, a de esgoto, 90%, segundo Aroeira (2010). Mas o percentual relativamente alto das coletas não impede a atuação desses resíduos nas inundações e escorregamentos (PAOLUCCI, 2012). Em um artigo da Revista Manuelzão, Bollmann e Vieira (2010, *apud* (PAOLUCCI, 2012) comparam as bacias de controle de cheias a verdadeiros lixões a céu aberto, pois, quando chove, o escoamento superficial gera um acúmulo de resíduos que agrega óleo do motor de veículos, papeis, sacos, folhas, e até geladeiras, sofás, etc. Tal concentração ilustra os obstáculos que restringem o livre fluxo das águas em momentos de chuvas extremas e denuncia a necessidade de destinação e acondicionamento correto dos resíduos.

Segundo a Prefeitura Municipal de Belo Horizonte (2016), os problemas enfrentados pelas micro e macrodrenagem ainda geram, nas comunidades urbanas, o desejo de canalizar os córregos, aspiração legítima, porém equivocada. É legítima porque reflete a vontade de se livrar de problemas decorrentes da falta de saneamento, da poluição, das doenças, dos maus odores, de cenários deploráveis de miséria e insalubridade. Porém a própria prefeitura afirma

que essa aspiração é equivocada, por tal medida apenas esconder os problemas, não os resolvendo e nem combatendo suas causas o que chama de “falso saneamento” (PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE, 2016).

Medeiros (2009) aborda alguns dos vários aspectos possíveis de análise e avaliação do Programa Drenurbs/Nascentes. Cada uma das análises feitas coloca em evidência questões e debates diferenciados relativos à temática sócio-ambiental envolvida no Programa e apresenta uma Matriz de Desempenho do Programa Drenurbs/Nascentes, exibida na Figura 32. Nela são colocadas de modo sintético impressões e avaliações suscitadas em sua pesquisa.

<b>Princípios do Programa</b>	<b>Avanços</b>	<b>Desafios</b>
Tratamento integrado dos problemas sanitários e ambientais no nível da bacia hidrográfica, utilizada como unidade para o planejamento das intervenções.	Implementado como concepção de planejamento. Impacto positivo na gestão sócio-ambiental do Programa.	Elevar o grau de compreensão acerca do conceito. Expandir opções de intervenção física para o conjunto da bacia. Compatibilizar a gestão por bacia hidrográfica com a noção de gestão da bacia de drenagem urbana.
Limitação à ampliação da impermeabilização do solo através de proposições de tipo naturalísticas.	Garantia de áreas permeáveis no território das bacias envolvidas no Programa.	Expandir o princípio para o conjunto da bacia em interação com a legislação urbanística mais ampla. Maior ousadia na implementação das intervenções.
Opção pela estocagem de águas no lugar da evacuação rápida.	Efetividade na adoção de algumas medidas sustentáveis de controle de drenagem, como reservatórios de detenção.	Inserir medidas do tipo na fonte – <i>source control</i> .
Implantação do monitoramento hidrológico.	Implantação em curso através da componente de Fortalecimento Institucional.	Dotar a gestão das águas de instrumentos que correlacionem chuva e vazão, permitindo a criação de um sistema de alerta de cheias, por exemplo.
Inserção dos cursos d'água na paisagem urbana.	Despoluição dos córregos. Garantia de sua permanência na paisagem urbana via não canalização em seção fechada. Mudança de percepção e comportamento das populações em relação aos córregos.	Manutenção dos cursos d'água em bom estado de conservação. Apropriação e revalorização por parte da comunidade.
Adoção de técnicas alternativas aos procedimentos convencionais para as questões de drenagem.	Emprego de técnicas alternativas no controle e estabilização de margens dos rios e encostas. Liberação de áreas de inundação. Criação dos parques lineares.	Reduzir ainda mais o uso de medidas estruturais nos projetos. Maior ousadia na implementação das intervenções.
Inclusão e participação das comunidades beneficiadas na gestão da implantação e na conservação das intervenções propostas.	Abertura de espaços participativos desde o início dos projetos. Fortalecimento das Comissões Drenurbs.	Consolidar e dar continuidade à organização comunitária resultante da intervenção do Programa. Consolidar a gestão participativa na bacia de contribuição e não apenas no parque implantado.

Figura 32 - Matriz de desempenho do Programa Drenurbs/Nascentes – Belo Horizonte

Fonte: Medeiros (2009)

## 6.2 Porto Alegre

As bacias de retenção ou retenção vem sendo estudadas como alternativas compensatórias dos efeitos adversos da urbanização. Em Porto Alegre, elas já são previstas no plano diretor para controle dos excessos de vazões na macrodrenagem. A bacia de retenção do parque Marinha do Brasil é um exemplo das bacias já implantadas na cidade (NEVES, 2006).

### 6.2.1 Caracterização e Histórico

O Parque Marinha do Brasil foi inaugurado em 9 de dezembro de 1978, situado na zona sul de Porto Alegre e ocupa uma área de 70,7 hectares (PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, [s.d.]). O Parque possui hoje dois equipamentos estruturais de controle de inundações. O primeiro, existente desde a inauguração do parque, é o dique do rio Guaíba que impede seu transbordamento e conta com um conjunto de elevatórias que transporta o escoamento pluvial da cidade para o corpo receptor. O segundo, foco principal deste estudo, é uma bacia de retenção construída em 2002, para atender ao aumento do escoamento superficial na bacia contribuinte do parque, em decorrência do processo de urbanização no seu entorno.

O projeto do parque, da década de 70, surgiu de um desejo da população de reintegrar a cidade ao rio, que devido às medidas de prevenção contra as cheias – diques do Guaíba e Muro da Mauá - haviam se distanciado. Atividades aquáticas, vinculadas ao lazer, deveriam propiciar à população uma série de possibilidades para o uso do parque, aproximando, então, os usuários do rio, da orla e das ilhas adjacentes (BARBOSA, 2016). A Figura 33 apresenta uma foto montagem da proposta original no entorno atual.

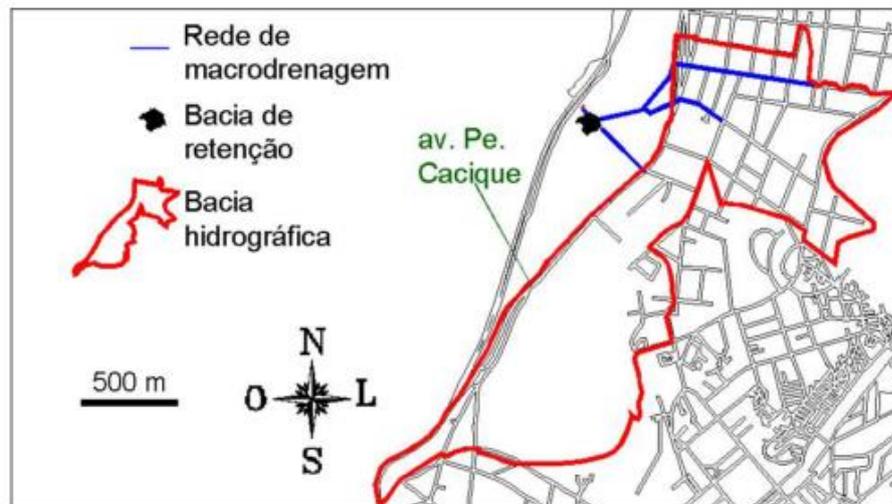


**Figura 33 - Fotomontagem proposta Mizoguchi e Malinsky, conforme entorno atual – Porto Alegre - RS**  
 Fonte: Barbosa (2016)

Uma série de implementos seriam construídos na ilha, tais como bar, sorveteria, restaurante, administração do parque, museu-aquário, ancoradouro para barcos de recreio, nautimodelismo e um anfiteatro, cujas escadas terminariam na água. Haveria também um palco sobre a água.

No entanto, seu projeto original não foi totalmente implantado. Isso se deu, segundo ofício da Secretaria do Planejamento, em consequência da lentidão no fornecimento de dados relativos aos projetos complementares, fator que condicionou o andamento das obras. Algumas partes do plano ficaram de fora da execução (KEPERN, 2011).

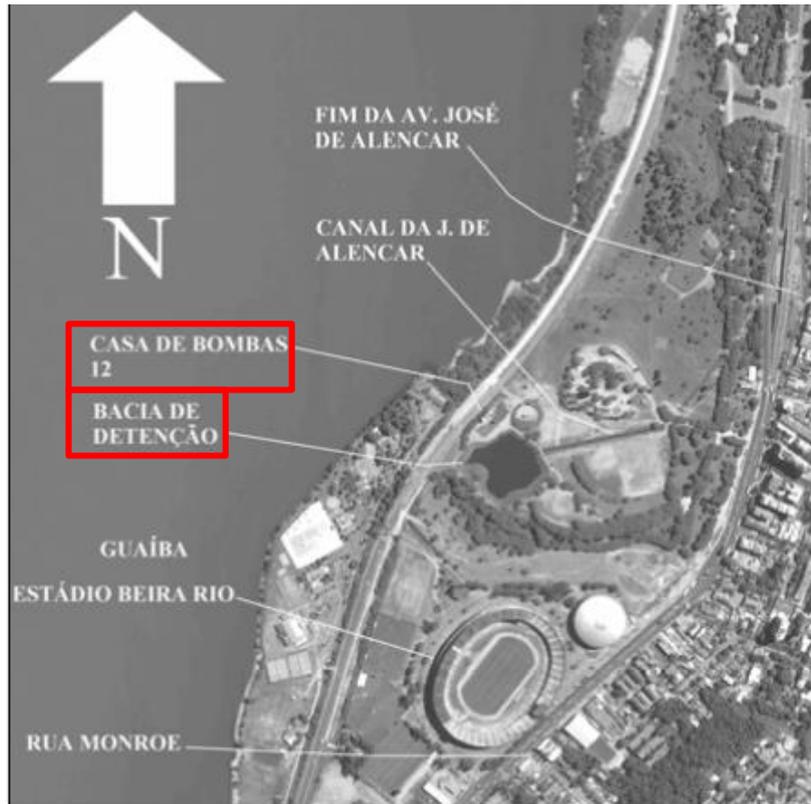
Em 2002, uma **bacia de retenção** foi construída no Parque da Marinha, conforme indicado na Figura 34. Como consequência do aumento da urbanização de seu entorno, foram realizadas obras de ampliação das redes de drenagem, cujas águas são bombeadas para o lago Guaíba através da Casa de Bombas de número 12 (CB12), componente do sistema de proteção contra inundações de Porto Alegre. A CB12, apresentada na Figura 35, no entanto, já comprometida para a época do projeto, não suportaria o acréscimo das vazões, de modo que foi proposta a instalação da bacia de retenção, permitindo o amortecimento das vazões a níveis compatíveis com a CB12 (NEVES; MERTEN, [s.d.]).



**Figura 34 - Macrodrenagem, arruamento e localização da bacia de retenção – Porto Alegre - RS**

Fonte: (NEVES, 2006)

A bacia hidrográfica contribuinte possui 1,92 km<sup>2</sup>. Parte de sua rede de drenagem converge diretamente para a CB 12, e outra parte se dirige primeiramente para a bacia de retenção do Parque Marinha do Brasil. [...] O projeto da bacia de retenção previu um rendimento na casa de bombas de 77%, resultando em uma vazão máxima de 5,0 m<sup>3</sup>/s do conjunto de bombas. A vazão afluente máxima de projeto é de 16,159 m<sup>3</sup>/s, e o volume de armazenamento de projeto é 12.649 m<sup>3</sup> (NEVES, 2006). A Figura 35 apresenta o sistema hidráulico do parque, enquanto a Figura 36 apresenta uma foto da bacia de retenção cheia.



**Figura 35 – Vista aérea de localização da CB12 e Bacia de Detenção no Parque Marinha do Brasil – Porto Alegre - RS**

Fonte: Neves (2006)



**Figura 36 - Bacia de retenção do Parque da Marinha – Porto Alegre - RS**

Fonte: (NEVES, 2006)

### 6.2.2 Resultados e Desafios

Ainda que as intenções de implementar um parque urbano de grandes dimensões para o

desfrute da natureza e para a prática de esportes e lazer tenham se mantido, os principais desafios observados no Parque Marinha do Brasil estão relacionados à qualidade da água. Alguns equipamentos previstos no projeto original do parque visavam reconectar o cidadão ao rio. Embora eles não tenham sido implementados, seu objetivo poderia ter sido prejudicado pelas condições de balneabilidade das águas do Guaíba. Em 1972, o estabelecimento da Indústria de Celulose Boregaard, de origem norueguesa e estabelecida na cidade de Guaíba, ocasionou a poluição das águas de forma mais acentuada, somada à poluição aérea agravada pelo mau cheiro. Até sua nacionalização em 1982, a indústria que passou a se chamar Riocell desencadeou manifestações contrárias às suas atividades - sendo interdita dois anos após a inauguração por um período de 100 dias, contribuindo conseqüentemente para o fortalecimento do movimento ecológico do Rio Grande do Sul. Assim, a poluição das águas do Guaíba – presente desde os primeiros assentamentos em função da presença de matadouros e depósito de dejetos orgânicos nas margens – aumentou de intensidade, passando de pontual a sistemática (KEPERN, 2011).

Ao observar o funcionamento da **bacia de retenção** do Parque Marinha do Brasil, (NEVES; MERTEN, [s.d.]) observa-se que, mais que um projeto bem feito e simulações que abranjam os principais elementos do escoamento na rede e no reservatório, é necessário um planejamento e um monitoramento durante a vida útil destes sistemas, considerando a manutenção dos sistemas. (NEVES; MERTEN, [s.d.])

Neves (2006) afirmou, na época em que realizou seu estudo, que, do ponto de vista hidráulico, a bacia estava funcionando razoavelmente bem. Havia, contudo um aporte constante de esgotos cloacais e de sedimentos, necessitando de manutenção contínua para diminuir a quantidade de aguapés, a possibilidade de redução acentuada do volume de amortecimento projetado e, por conseguinte, de amortecimento das vazões. (NEVES, 2006)

De 2005 a 2008 o Departamento de Esgotos Pluviais (DEP) da prefeitura de Porto Alegre executou 9 limpezas na bacia de retenção do Parque Marinha do Brasil. O volume de material retirado nesse período alcançou 2.722 toneladas (PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, [s.d.]). A Figura 37 mostra a atividade de manutenção da bacia de retenção.



**Figura 37 - Manutenção da bacia de retenção do Parque Marinha do Brasil – Porto Alegre - RS**  
Fonte: (PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, [s.d.]

### **6.3 Petrópolis – Águas do Imperador**

Petrópolis foi a primeira cidade do estado do Rio de Janeiro a outorgar a concessão de prestação de serviços de água e de esgoto à iniciativa privada. Águas do Imperador assumiu a concessão do município em 1º de janeiro de 1998 (ÁGUAS DO BRASIL, 2017).

Nesta época, não havia nenhum tratamento de esgoto e somente 2% da população recebiam água apenas clorada. Atualmente, 95% dos petropolitanos têm acesso a água tratada, e a cobertura de esgoto tratado é de 84%, fazendo com que a cidade ganhe destaque em relação à maioria dos municípios brasileiros (ÁGUAS DO BRASIL, 2017). São mais de 20 unidades de tratamento de esgoto instaladas no município entre estações convencionais, biodigestores e biossistema.

#### **6.3.1 Caracterização e Histórico**

Os biodigestores implantados no município de Petrópolis possuem como característica:

- São construídos em locais com ocupações desordenadas;
- As comunidades participam de projeto de educação ambiental;
- O biogás gerado no tratamento é canalizado e usado na cozinha de escolas e creches próximas;

- Os filtros são construídos com garrafas pet e pneus resgatados dos rios;
- Não usam energia elétrica para seu funcionamento;
- Não há cobrança de tarifa para a população pelo tratamento.

A cidade conta com biodigestores localizados no Quarteirão Brasileiro, Córrego Grande, Vila Rica, Vila Ipanema, Independência, Siméria, Bonfim, Nogueira e Caxambu, além de um bio sistema no Vale do Carangola. Mais de 731 mil litros de esgoto são tratados por dia, beneficiando 10 mil moradores. Também estão instaladas 12 estações intermediárias (ABCON, 2017).

Na Tabela 6 dois exemplos de sistemas de saneamento ecológico do município de Petrópolis são apresentados.

**Tabela 6 - Sistemas de saneamento ecológico no município de Petrópolis - RJ**

Projeto	Capacidade	Qualidade da Água	Detenção/Retenção	Tratamento Fundo Vale	Educação Ambiental	Área de Lazer	Fim da Obra	Pop beneficiada
Quarteirão Brasileiro	Biodigestores 160 m <sup>3</sup> /dia 70.000 garrafas PET 750 pneus	✓			✓	✓	Fev/2015	2.000
Caxambu	Biodigestores 220 m <sup>3</sup> /dia 30.000 garrafas PET 500 pneus	✓			✓	✓	Jun/2016	2.300

Fonte: Elaboração própria

#### 6.3.1.1 Quarteirão Brasileiro

O projeto do Quarteirão Brasileiro adotou o Bio sistema Integrado como solução de tratamento de efluente. O Bio sistema é constituído por etapa preliminar, digestão anaeróbia, filtro biológico de leito fixo e alagado construído. Foi dimensionado para tratar uma vazão média de 160 m<sup>3</sup> de esgoto doméstico por dia, atendendo uma população de até 2000 habitantes. Na etapa preliminar ocorre a retenção de materiais grosseiros como lixo, gordura e areia por meio de um gradeamento médio e caixa desarenadora. Foi instalado um medidor de

vazão do tipo Thompson para monitoramento da eficiência. Três biodigestores, modelo chinês, foram construídos em série, nas dimensões de 2,6m de profundidade, 3,0m de diâmetro e 18m<sup>3</sup> de volume por reator. Foi construída a instalação hidráulica para o aproveitamento do biogás produzido na cozinha da escola. O filtro biológico foi construído no formato retangular com dimensões de 8,6m de comprimento, 6,0m de largura e 1,80m de profundidade. O alagado construído tem as dimensões de 17,5m de comprimento, 6,0m de largura e 1,80m de profundidade. Foram cultivadas diferentes macrófitas, entre elas lírio do brejo (*Heychium coronarium J. König*), sombrinha chinesa (*Cyperus alternifolius*) e papiro (*Cyperus giganteus*). Como meio suporte para o desenvolvimento dos microrganismos do filtro biológico e do alagado construído, utilizou-se pneus e garrafas PET amassadas com objetivo de removê-los do meio ambiente (SOARES *et al.*, 2007).

O projeto também incluiu a construção de uma nova academia de ginástica - Figura 38 e Figura 39 - e de uma área de lazer, estimulando a prática de atividade física e uma melhor qualidade de vida dos moradores. O biogás gerado pela unidade será utilizado na cozinha da Escola Paroquial Nossa Senhora das Graças (CANAL PETRÓPOLIS, 2015). O tratamento urbanístico dado ao local integrou o biodigestor à paisagem do bairro, valorizando ainda mais o ambiente com jardim, novas baias para estacionamento e um novo abrigo de ônibus (CANAL PETRÓPOLIS, 2015).

Os filtros foram construídos com material reciclável: foram usadas 70 mil garrafas pet e 750 pneus doados pela Companhia de Desenvolvimento de Petrópolis (Comdep). Durante a implantação da unidade, colaboradores da concessionária realizaram diversas atividades de educação ambiental na Escola Paroquial, entre elas uma oficina com os alunos, que resultou em um jardim suspenso feito com pneus e canos. A empresa ainda patrocinou um projeto literário na mesma instituição (ÁGUAS DO BRASIL, 2015).



**Figura 38 – Tratamento paisagístico no Quarteirão Brasileiro - Petrópolis - RJ**  
Fonte: (ÁGUAS DO BRASIL, 2015)



**Figura 39 - Equipamentos para atividade física no Quarteirão Brasileiro – Petrópolis - RJ**  
Fonte: (ÁGUAS DO BRASIL, 2015)

#### 6.3.1.2 Biodigestor Caxambu

O Biodigestor do Caxambu foi previsto para beneficiar 2.300 habitantes com o tratamento de 220 m<sup>3</sup> de esgotos por dia. A unidade foi instalada ao lado da Escola Municipal Senador Mario Martins (ÁGUAS DO IMPERADOR, 2015). Para a instalação do biodigestor de Caxambu foram realizadas ações de educação ambiental, envolvendo todos os alunos, professores e pais de alunos da escola Senador Mário Martins, num total de 200 participantes. Toda a área da unidade foi urbanizada e recebeu tratamento paisagístico, como exibido na Figura 40 e na Figura 41 (CANAL PETRÓPOLIS, 2016)



**Figura 40 - Biodigestor do sistema Caxambu – Petrópolis - RJ**  
Fonte: CANAL PETRÓPOLIS (2016)



**Figura 41 - Zona de raízes do sistema Caxambu antes de sua inauguração – Petrópolis - RJ**  
Fonte: CANAL PETRÓPOLIS (2016)

### 6.3.2 Resultados e Desafios

Desde 1994, a ONG Instituto Ambiental vem trabalhando com o apoio da concessionária de serviços sanitários Águas do Imperador na instalação de biodigestores em Petrópolis (CAMACHO, 2016). O projeto de instalação de biodigestores em áreas carentes em Petrópolis virou referência internacional. Nesses equipamentos, toda a matéria orgânica presente no esgoto é convertida em gás metano, utilizando como combustível em fogões de cozinha e geradores. O biogás é oferecido gratuitamente para moradores, creches e outras instituições. Os biodigestores não consomem energia elétrica e usam material reciclável como pneus e garrafas PET em seus filtros (ÁGUAS DO BRASIL, [s.d.]).

O Biossistema Integrado é eficiente no tratamento de esgoto doméstico apresentando uma eficiência média de remoção de carga orgânica de 88%. Os biodigestores garantem a remoção de até 70% do potencial poluidor do efluente. A utilização de pneus e garrafas PET tem bom desempenho no uso como material suporte e retira esses materiais do meio ambiente diminuindo o impacto sobre corpos hídricos. As plantas cultivadas no alagado construído absorvem nutrientes presentes no efluente para seu desenvolvimento, como nitrogênio e fósforo, preservando o corpo receptor do processo de eutrofização (SOARES *et al.*, 2007).

O impacto social realizado na comunidade Quarteirão Brasileiro foi percebida na etapa de planejamento com as palestras e conversas com os moradores, durante a obra, gerando postos de trabalho com a contratação de mão de obra local e, finalmente posterior a conclusão da obra quando o relacionamento de educação ambiental foi mantido e conservado a partir das ações socioambientais: paisagismo, urbanização (instalação de ponto de ônibus, lixeira, faixa de pedestre e praça), incentivo às atividades físicas (construção de uma academia comunitária no local), apoio na reforma da escola (melhoria na fachada e cozinha) e realização de oficina literária com as crianças da escola. A conscientização da comunidade sobre a importância do tratamento do esgoto e preservação dos recursos hídricos é considerado fundamental para o bom desempenho operacional do Biossistema e qualidade do corpo hídrico local (SOARES *et al.*, 2007).

#### **6.4 Reflexões**

É imprescindível que se pense em um plano de manutenção e melhoria da qualidade da água em reservatórios de águas pluviais inseridos em parques multifuncionais. Tal como observado nos exemplos do DRENUNRBS – Belo Horizonte/MG e do Parque da Marinha – Porto Alegre/RS, a carga poluente carregada para as bacias de detenção é elevada e se não houver manutenção, o parque não apenas deixa de ser um ambiente agradável para a população como o reservatório sofrerá de redução de capacidade de armazenamento. A manutenção deve acontecer a partir de três práticas básicas (SMDU-SP, 2012):

- **Manutenção corretiva:** caracteriza-se como uma intervenção realizada após a ocorrência de eventuais falhas do sistema ou até mesmo após seu funcionamento, como o caso dos reservatórios de detenção que necessitam de limpeza após a ocorrência dos

eventos de chuva;

- Manutenção preventiva: é uma intervenção programada que tem como objetivo manter a disponibilidade do sistema de drenagem para quando for requisitado;
- Manutenção preditiva: permite garantir uma qualidade desejada do funcionamento do sistema de drenagem, por meio de análises e supervisões sistemáticas do sistema visando diminuir as manutenções corretiva e preventiva, ou seja, a manutenção preditiva é uma técnica de gerenciamento da manutenção.

Embora os exemplos dos Biosistemas Integrados de Águas do Imperador – Petrópolis/RJ tenham sido projetados para o tratamento de esgotos, as suas experiências de implantação revelam oportunidades a serem observadas, como:

- O sistema empregado em Petrópolis poderia ser usado para o tratamento de esgotos lançados clandestinamente na rede através de captação de tempo-seco das redes de drenagem;
- A solução é ideal para tratamento descentralizado por atender uma população reduzida, se mostrar eficiente na remoção de poluentes, ocupar pouco espaço e permitir um tratamento paisagístico que esteja em harmonia com o parque multifuncional que se pretende construir;
- A solução possui baixo custo de implantação, o que torna adequada a realidade econômica da maioria dos municípios brasileiros;
- O modelo adotado pode ser adaptado - conforme opções indicadas no Item 4.1 desta dissertação - para atender a demandas específicas de melhoria de qualidade da água, inclusive sendo adaptado para tratamento de poluição difusa.

## 7 APRESENTAÇÃO DE PRÁTICAS INTERNACIONAIS

Embora o contexto de países desenvolvidos seja diferente das cidades em desenvolvimento, muito pode-se aprender ao observar a experiência internacional de manejo de água pluviais urbanas.

### 7.1 Guimarães – Portugal

A Câmara Municipal de Guimarães, Portugal, inaugurou em Junho de 2015 as obras de requalificação paisagística e hidráulica da Ribeira da Costa/Couros. A área da bacia hidrográfica correspondente tem cerca de 11,23 km<sup>2</sup> e nela foram construídas três bacias de detenção com o objetivo de conter os problemas de inundações no centro da cidade (MUNICÍPIO DE GUIMARÃES, 2015). A Figura 42 e a Figura 43 exibem duas destas bacias em funcionamento.

O projeto privilegiou a preservação e valorização de espaços verdes, que se encontram na cidade, favorecendo a sustentabilidade e a biodiversidade do sistema natural, criando corredores ecológicos fluviais, além de aumentar o grau de utilização pública destas áreas naturais, criando lugares de interface entre as vivências sociais e os espaços ribeirinhos (MUNICÍPIO DE GUIMARÃES, 2015).



Figura 42- Bacia de detenção *in line* construída no projeto de requalificação do Parque das Hortas – Guimarães - Portugal

Fonte: (GREEN SAVERS, 2016)



**Figura 43 - Bacia de detenção *in line* construída em Guimarães - Portugal**

Fonte: (GREEN SAVERS, 2016)

## **7.2 Dinamarca – Life-Treasures Project**

O projeto LIFE-TREASURES teve como objetivo desenvolver e avaliar o custo e eficiência de tecnologias de tratamento de águas pluviais para redução da poluição difusa lançada nos corpos hídricos. O projeto visava testar e demonstrar a robustez das instalações de tratamento com lagoas de detenção semi-naturais dotadas de sistemas de filtração, absorção, tecnologias químicas e/ou absorção por plantas.

Estas instalações são interessantes de serem observadas pois uma bacia de detenção seca pode facilmente ser convertida em uma lagoa de detenção futuramente, se assim for desejado, evoluindo para uma próxima fase do tratamento de águas pluviais.

### **7.2.1 Caracterização e Histórico**

Foram construídas para teste lagoas de detenção em três estruturas urbanas diferentes nas cidades de Aarhus, Odense e Silkeborg, na Dinamarca. Os equipamentos foram construídos como elementos naturais e recreativos com objetivo de contribuir para um ambiente urbano melhorado e de aplicar técnicas simples que pudessem ser facilmente adotadas em áreas públicas urbanas. Na fase de projeto, optou-se por medidas de tratamento focadas particularmente na remoção de fósforo e substâncias tóxicas - principalmente metais pesados e micro poluentes orgânicos. A meta específica era a redução em 80-90% das substâncias tóxicas originadas em área urbana que são carregadas com as águas pluviais (EUROPEAN COMMISSION, 2010).

Cada uma das três instalações de demonstração do projeto LIFE-TREASURES incorpora operações unitárias de sedimentação, filtração e tratamento por plantas aquáticas, comuns

ao processo de tratamento de águas pluviais em lagoas de detenção (Figura 44) (EUROPEAN COMISSION, 2010).

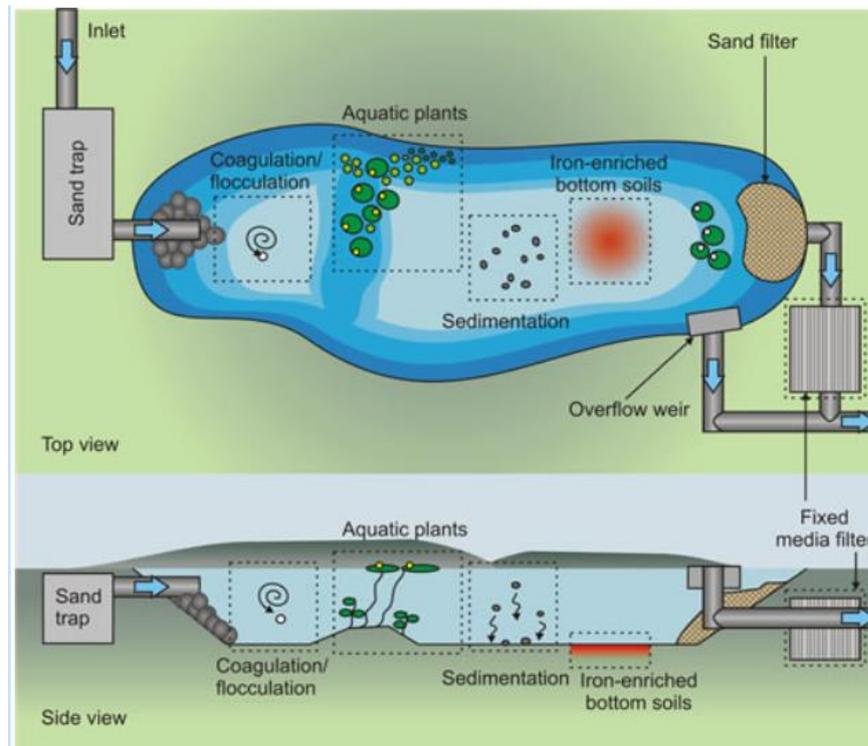


Figura 44 - Zona de raízes do sistema Caxambu antes de sua inauguração

Fonte: (EUROPEAN COMISSION, 2010)

Além disso, o tratamento foi complementado com tecnologias adicionais, geralmente usadas nos tratamentos de efluentes, tratamento de água para consumo humano e restauração de corpos d'água eutrofizados (EUROPEAN COMISSION, 2010). Isso porque foi dado foco à redução de concentração de fósforo, um dos principais agentes poluidores dos efluentes domésticos. Desta forma, esta análise pode agregar muito ao estudo de soluções para cidades em desenvolvimento, cujas águas pluviais e corpos hídricos contém altas concentrações de esgoto sanitário.

O tratamento complementar é descrito, como:

- **Fundo da lagoa enriquecido com sais de ferro**

Pesquisas sobre o ciclo do fósforo em lagos rasos mostraram que altas concentrações de ferro no solo de fundo podem controlar eficientemente a concentração de fósforo dissolvido na água. Ao misturar hidróxido férrico no solo do fundo de lagoas de detenção molhadas, a retenção de fósforo pode ser significativamente melhorada. A retenção de metais pesados também pode ser aumentada, uma vez que vários destes estão fortemente associados com

hidróxidos de ferro. Essa solução deve ser empregada em lagoas rasas, visto que lagoas profundas são mais propensas a criar condições anaeróbicas (sem oxigênio dissolvido), liberando o fósforo sorvido na coluna de água (VOLLERTSEN *et al.*, 2009).

- **Coagulação/ floculação pela adição de alumínio**

A adição de sais de alumínio é largamente utilizada para a restauração de lagos eutróficos para remoção de fósforo presente na água e imobilização de fósforo nos sedimentos. Para as lagoas de detenção, a adição de alumínio também mostrou-se efetiva (VOLLERTSEN *et al.*, 2009).

- **Meio filtrante fixo**

Os tipos de poluentes retidos no meio filtrante fixo depende da estrutura dos meios de sorção e da composição química de cada poluente. Na remoção de fósforo, por exemplo, os materiais que contêm calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) ou dolomite ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), como mármore, pedra calcária, rocha dolomítica e diferentes tipos de conchas de organismos marinhos, provaram ser eficientes. Da mesma forma, vários materiais orgânicos e materiais que contêm óxidos de ferro ou alumínio proporcionam uma absorção eficiente de metais pesados. No caso de Odense, o meio filtrante foi constituído por conchas de animais marinhos (VOLLERTSEN *et al.*, 2009).

As características gerais das três lagoas de detenção são apresentadas na Tabela 7 e na Figura 45 subsequentes.

**Tabela 7 - Características dos 3 sistemas de tratamento avançado de águas pluviais**

<b>Características</b>	<b>Odense</b>	<b>Aarhus</b>	<b>Silkeborg</b>
Uso do solo na bacia	Industrial leve	Residencial	Casas isoladas e estrada
Tecnologia adicional de tratamento	Meio filtrante fixo	Sais de ferro	Adição de alumínio
Precipitação anual	657	661	719
Área da bacia (ha)	27,4	57,4	21,5
Área impermeável da bacia (m <sup>2</sup> )	11,4	25,8	8,8
Volume permanente (m <sup>3</sup> )	1.990	6.900	2.680
Volume de detenção (m <sup>3</sup> )	1.300	1.400	3.230
Volume permanente por área impermeável da bacia (m <sup>3</sup> /ha)	175	267	305
Razão comprimento/largura (m <sup>2</sup> )	4,5	2,5	5
Profundidade permanente máx (m <sup>2</sup> )	1,45	1,25	1
Área de filtro horizontal de areia (m <sup>2</sup> )	100	400	180
Comprimento inclinado de filtro de areia (1:5) (m)	30	65	30
Comprimento vertical de filtro de areia (m)	6,3	12,6	6,3

Fonte: Traduzido de (VOLLERTSEN *et al.*, 2009)

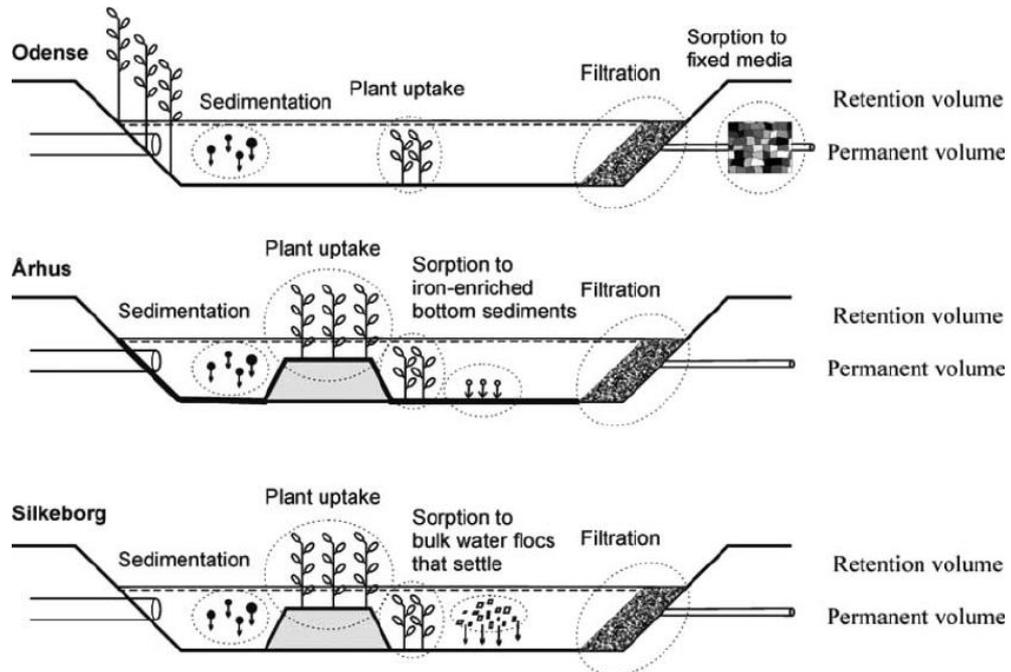


Figura 45 - Corte esquemático dos 3 sistemas de tratamento avançado de águas pluviais

Fonte: (VOLLERTSEN *et al.*, 2009)

### 7.2.2 Resultados e Desafios

Os testes apontaram que dos três, o processo de tratamento mais eficaz para redução de poluentes dissolvidos e coloidais das águas pluviais foi a lagoa de detenção de Odense, com filtro de areia e meio filtrante fixo. A vegetação contribuiu apenas marginalmente para os processos de limpeza, mas foram importantes para assegurar a integração das instalações como elementos recreativos do ambiente urbano (EUROPEAN COMMISSION, [s.d.]).

A tecnologia de meio filtrante fixo mostrou-se muito eficiente no tratamento de cargas elevadas de metais pesados dissolvidos, resultando em concentrações de saída muito baixas independentemente do nível inicial de poluição. Para todos os poluentes medidos, a concentração da saída foi consistentemente abaixo dos critérios relevantes de qualidade da água. O cobre apresentou uma taxa de remoção de 99% enquanto o fósforo de 91% (EUROPEAN COMMISSION, [s.d.]).

Os testes com enriquecimento de ferro do material de fundo e a dosagem de alumínio para aumentar a coagulação / floculação não apresentaram uma diminuição geral das concentrações de poluentes, mas neutralizou o crescimento de algas na lagoa, particularmente o alumínio. Isso mostra sua eficácia contra o fósforo e consequente eutrofização de ambientes

aquáticos (EUROPEAN COMISSION, [s.d.]).

Embora os resultados de tratamento sejam excelentes, os custos iniciais de instalação são elevados, bem como o custo de manutenção dos processos químicos. No entanto, esse estudo de caso revela a versatilidade do tratamento alternativo de águas pluviais que pode inclusive ser eficaz para tratamento de cargas de esgoto doméstico, além da poluição difusa (EUROPEAN COMISSION, [s.d.]).

### 7.3 Estados Unidos – Earthworks Park situado no Canion Mill Creek

A cidade de Kent fica localizada na parte sul da região metropolitana de Seattle, Estados Unidos. O desenvolvimento urbano ao longo do Parque de Mill Creek havia resultado em vazões excessivas de água durante períodos de chuva forte havendo a necessidade de amortecimento das vazões de pico. Ao final dos anos 1970, o Departamento de Obras Públicas do município decidiu financiar e construir uma grande lagoa de detenção ao longo de Mill Creek em resposta ao crescente volume de escoamento na bacia de 607 hectares (SHINDE, 2002).

Decidiu-se projetar uma grande instalação de detenção de águas pluviais multiuso na região do Mill Creek, apresentada na Figura 46. Herbert Bayer foi o artista selecionado para elaborar o projeto que conteria um grupo de formas com solo (SHINDE, 2002).



Figura 46 - Vista aérea do Parque Mill Creek – Estados Unidos

Fonte: (SHINDE, 2002)

Os desenhos formados por relevos são inundados durante os períodos de cheia e oferecem um convidativo parque recreativo de 10.000 m<sup>2</sup> durante períodos secos.

### 7.3.1 Caracterização e Histórico

O Earthworks Park ocupa aproximadamente 10 mil m<sup>2</sup> no fundo de vale do Cânion de Mill Creek. Projetado para uma chuva de 100 anos, o parque contém duas bacias de retenção irregulares separadas por bermas e elevações de solo. As principais características do projeto são dois montes, um cone que serve de base para uma ponte, uma lagoa em forma de anéis (Figura 47) e um anel de elevação cortado em dois pelo riacho. O parque é coberto por grama, inclusive na superfície de seus objetos e do fundo das bacias de retenção (SHINDE, 2002).



**Figura 47 - Anéis inundados após a ocorrência de chuva**  
Fonte: (SHINDE, 2002)

O riacho é primeiro dirigido para uma lagoa de decantação para remover sedimentos e detritos. Uma quantidade controlada de água corrente é desviada para um canal, compondo o *design* de relevos, enquanto o canal principal natural permanece no mesmo lado. A água desviada atravessa o parque por condutores não lineares revestidos de pedra para evitar a erosão (SHINDE, 2002).

### 7.3.2 Resultados e Desafios

O parque tem muito sucesso na retenção de águas pluviais e na proteção das áreas a jusante. As lagoas de decantação retêm sedimentos com eficiência, melhorando assim a qualidade da água. O parque passou por uma tempestade severa, com recorrência de 100 anos em 9 de janeiro de 1990 e sua capacidade de amortecimento foi testada com sucesso. Sem as

instalações do parque, as inundações a jusante teriam sido bem piores (SHINDE, 2002).

A manutenção do sistema implantado no Earthworks Park requer apenas alguns dias. Os eventos de chuva forte são raros e a instalação seca muito rapidamente após estas ocorrências (SHINDE, 2002).

O parque é bem conservado pelo Departamento de Parques e Departamento de Obras Públicas da cidade de Kent. A manutenção envolve a remoção de lixo, o corte contínuo e a dragagem anual. Algumas características do projeto representam um problema de manutenção. O *design* não acomoda o acesso para veículos pesados ao riacho, lagoa de anel e saída. Os caminhos são muito estreitos e íngremes em alguns lugares para o acesso de veículos. Devido a isso, o limo tem que ser empurrado à mão. O gramado resistiu bastante às inundações; talvez devido aos nutrientes do limo que desempenham um papel de manter um terreno saudável. As encostas íngremes das bermas, dos montes e da lagoa do anel apresentam dificuldade de corte, resultando em uma aparência desigual. A lagoa do anel também desenvolve algas devido à fraca circulação da água. Até agora, não houve acidentes ou problemas de segurança no parque. Também não parece haver um problema em relação à toxicidade do sedimento (SHINDE, 2002).

A cidade orgulha-se do projeto, chamando-o de "um marco no design do parque e um conceito revolucionário na resolução do problema do escoamento superficial" (SHINDE, 2002).

## 8 ESTUDO DE CASO – BACIA DO ALCÂNTARA – SÃO GONÇALO/RJ

O estudo de caso foi dividido em 4 etapas, cada uma com objetivo de atendimento a uma premissa. A Figura 48 representa de forma esquemática as etapas de trabalho, sendo que para as Etapas 3 e 4 é usada Modelagem Matemática para simulação de cenários e análise de resultados. Este capítulo contém as informações levantadas, análises realizadas e resultados obtidos em cada uma das etapas.

- **[Etapa 1]** Análise Histórica e Situação Atual

A primeira premissa adotada para o estudo de caso foi a seleção de um município que atualmente enfrente os desafios de gestão da água urbana comumente encontrados em cidades em desenvolvimento, abrindo precedentes para que as soluções e discussões desta dissertação possam se estender a outros locais vulneráveis. A partir da análise histórica e levantamento de dados atuais de São Gonçalo, não apenas foram identificados os problemas e desafios enfrentados na gestão e governança da água, como também se confirmou a seleção do local.

- **[Etapa 2]** Propostas e Projetos Existentes

A segunda premissa adotada foi a de alinhamento entre as proposições desta pesquisa com outros estudos, projetos e propostas existentes para o município. Ao buscar este alinhamento, garante-se maior viabilidade de implementação e complementariedade entre propostas ao invés de “concorrência”. Além disso, trata-se de um recurso para evitar interpretações equivocadas da base de informações levantadas.

- **[Etapa 3]** Proposição de Projetos desta Dissertação

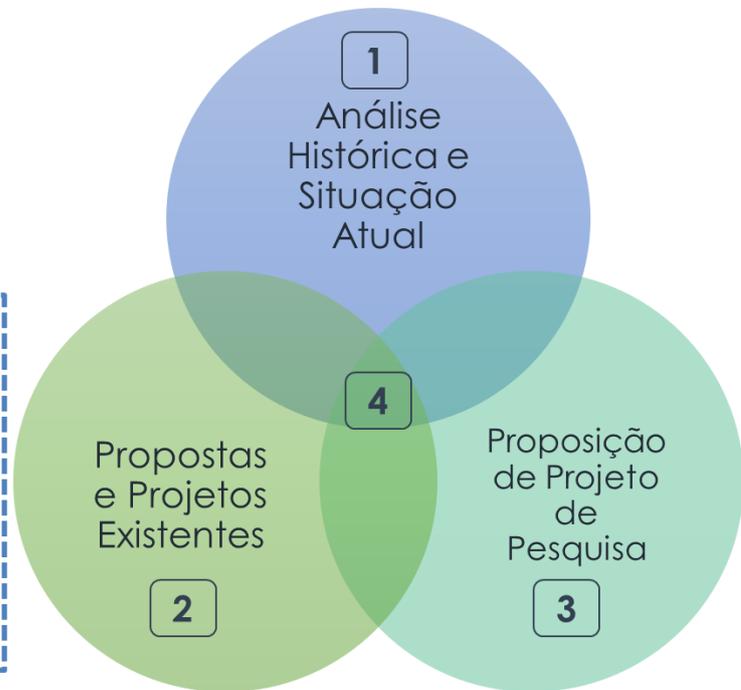
As premissas adotadas nesta dissertação para proposição de Projeto Piloto de parque multifuncional com bacia de retenção são melhores descritas no capítulo 8.4. Para definição do Projeto Piloto deste Estudo de Caso são avaliados diversos cenários, sendo esta considerada a primeira fase da Etapa 3, ou **[Etapa 3.1]**. O cenário definido como Projeto Piloto em seguida é usado de modelo para replicar parques multifuncionais com bacia de retenção para outros locais estratégicos. A replicação do Projeto Piloto, denominada **[Etapa 3.2]**, visa permitir uma análise do efeito em escala da implementação conjunta de bacias de retenção no município de São Gonçalo.

- **[Etapa 4]** Solução Integrada

Afim de validar a complementariedade entre as propostas desta dissertação e os planos e propostas existentes para o município, avaliam-se também os resultados da implantação do conjunto de parques da Etapa 3 somados à proposta do PDUI/RMRJ,

PREMISSAS:

- **[Etapa 1]** Município que enfrente os desafios comumente encontrados em cidades em desenvolvimento;
- **[Etapa 2]** Alinhamento entre as proposições desta pesquisa com outros estudos, projetos e propostas existentes;
- **[Etapa 3]**
  - [3.1]** Definição de **Projeto Piloto** que abra precedentes para desenho urbano sensível à água;
  - [3.2]** **Replicação** do Projeto Piloto para análise de ganho em escalada de uma possível mudança de paradigma;
- **[Etapa 4]** Avaliação de propostas desta pesquisa combinadas com outras propostas e estudos existentes.



**Modelagem Matemática – MODCEL**

Figura 48 - Estudo de Caso: Etapas de Trabalho

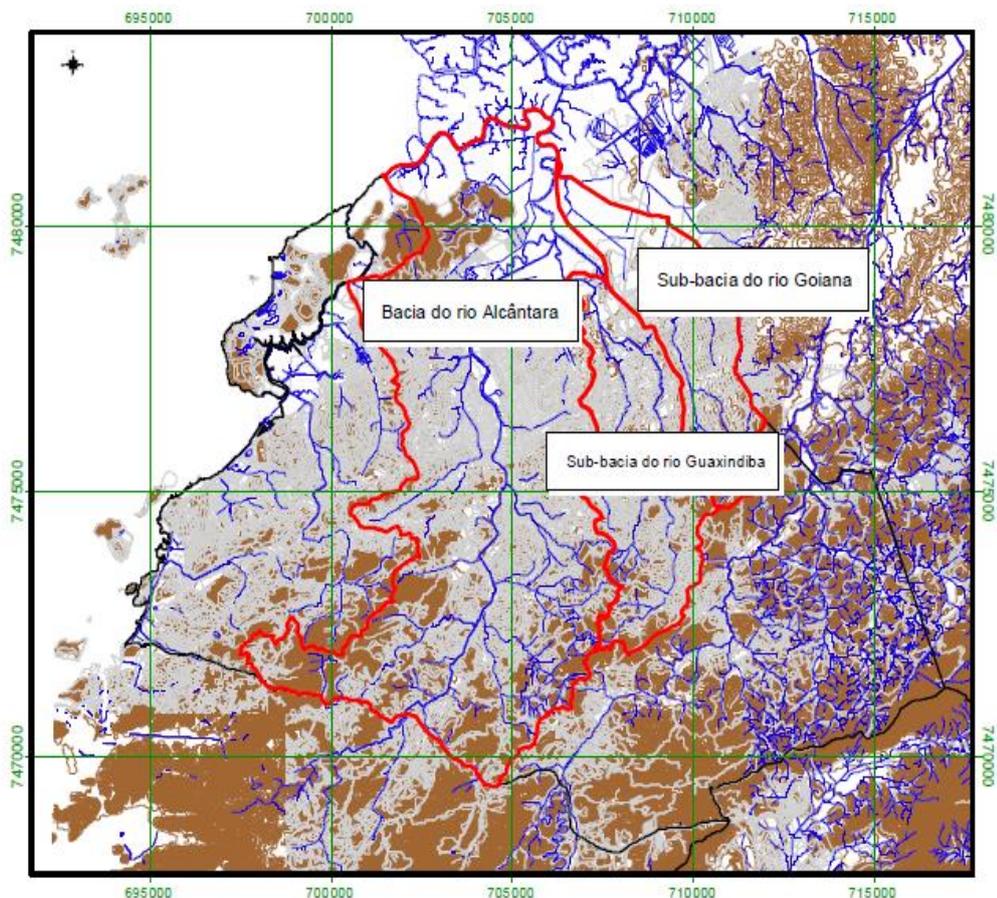
### 8.1 [Etapa 1] Análise Histórica e Situação Atual

O município de São Gonçalo possui 249 Km<sup>2</sup> e sua população atual, segundo o IBGE (2010), é de 991.382 habitantes. A topografia da região é baixa e o ponto mais alto do município possui elevação de 552 m. (RODRIGUES *et al.*, 2010)

O município foi considerado nas décadas de 1940 e 1950 grande polo industrial do Estado do Rio de Janeiro. No entanto, a mudança do polo industrial para outras áreas do Estado fez com que a cidade perdesse seu padrão econômico, tivesse seu PIB reduzido e se tornasse uma cidade dormitório, uma vez que as oportunidades de trabalho passaram a se concentrar no Município do Rio de Janeiro (RODRIGUES *et al.*, 2010).

As bacias e sub bacias hidrográficas de São Gonçalo são marcadas pelos rios: Bomba, Brandoas, Marimbondo, das Pedrinhas, Imboacú, canal do Porto da Rosa, Alcântara, Guaxindiba (sub bacia do rio Alcântara), Goianã (sub bacia do rio Alcântara) e Aldeia (PREFEITURA DE SÃO GONÇALO, 2014).

A bacia do rio Alcântara está localizada na região central do Município de São Gonçalo e deságua a oeste na baía de Guanabara. Parte de sua nascente encontra-se no próprio município e outra parte no Município de Niterói. Esta bacia é a maior de São Gonçalo, abrangendo uma área que contém 454.926 habitantes. Sua área de drenagem é de aproximadamente 130 km<sup>2</sup> e suas principais sub-bacias são: rio Guaxindiba e rio Goianã, conforme apresentado na Figura 49 (PREFEITURA DE SÃO GONÇALO, 2014). Este trabalho trata como região de interesse a Bacia do Alcântara exclusivamente, sem suas sub-bacias Guaxindiba e Goiana.



**Figura 49 - Bacia do Alcântara e sub-bacias**  
 Fonte: PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO GONÇALO (2008)

### 8.1.1 Diagnóstico da Gestão da Quantidade

Segundo o IBGE (2011), a condição de drenagem no município de São Gonçalo é definida como precária. Em uma análise conjunta dos municípios quanto à drenagem, existe grande vulnerabilidade das áreas urbanas a eventos climáticos extremos, principalmente em relação às chuvas de grandes intensidades, e que tudo isto associado a inundações, a grandes áreas

impermeáveis urbanizadas, ocupação do solo desordenada e a falta de condutos pluviais, provoca uma série de impactos que afetam diretamente as condições de deságues das bacias hidrográficas e a qualidade de vida da população (PREFEITURA DE SÃO GONÇALO, 2014).

No seu curso, o rio Alcântara atravessa a região central do município de São Gonçalo em área densamente habitada, com trechos onde há invasão da calha por moradias. Segundo informação da Superintendência do INEA, nas últimas cheias ocorreram desmoronamentos de residências ribeirinhas que permanecem em seu leito, tornando-se obstáculos à passagem das cheias (FUNDAÇÃO COPPETEC, 2014).

O município de São Gonçalo, a exemplo do que ocorre em cidades em desenvolvimento, seguiu o mesmo modelo de ocupação desordenada que compromete os recursos naturais. O aumento populacional suscitou a construção de domicílios em áreas de risco (encostas, manguezais, margens de rios), e não foi acompanhado de investimentos em infraestrutura (habitação, coleta regular de lixo, drenagem pluvial, abastecimento de água, esgotamento sanitário etc.), além da ausência de planejamento e fiscalização do uso do solo urbano, tornando crônico o problema a ser gerenciado nas cidades. Esses fatores, associados à localização em área de baixa declividade, constantemente inundável, potencializa a ocorrência de desastres em épocas de chuvas fortes (RODRIGUES *et al.*, 2010).

O Plano Municipal de Saneamento Básico do município aponta que a Bacia do Rio Alcântara tem como característica uma densa urbanização, com encostas e as margens dos rios principais e secundários ocupadas. Os bairros em seu domínio carecem de saneamento básico de qualidade com um sistema de drenagem urbana deficitário, conforme é possível observar no mapa da

Figura 50 que mapeia o sistema de drenagem urbana em domicílio com existência de bu- eiro/boca de lobo, sendo as regiões indicadas em vermelho as mais carentes do sistema (PREFEITURA DE SÃO GONÇALO, 2014).

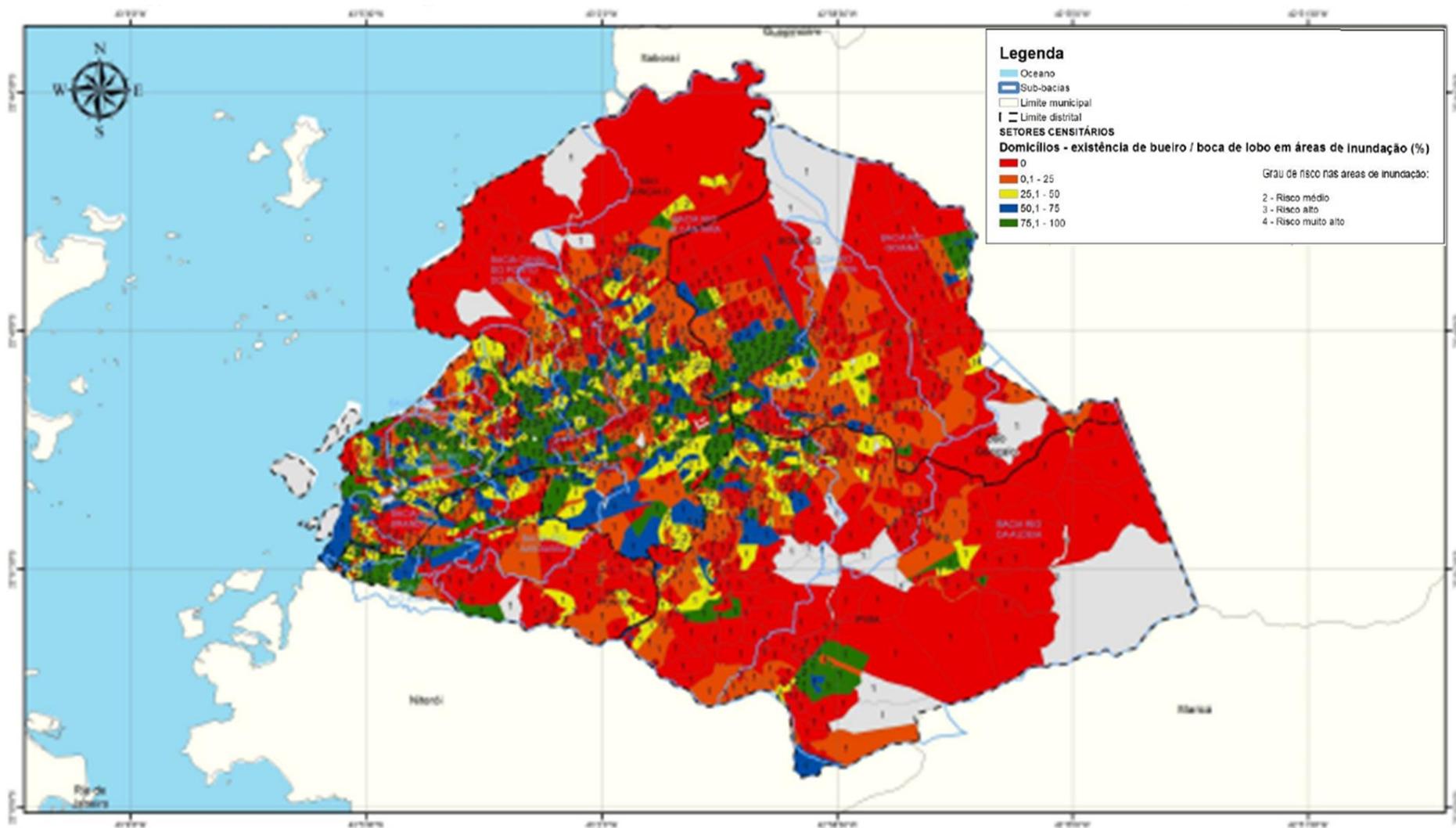


Figura 50 - Mapa de drenagem urbana em domicílio com existência de bueiro/boca de lobo.

Fonte: PREFEITURA DE SÃO GONÇALO (2014)

O Plano Municipal de Redução de Riscos de São Gonçalo (PMRRSG) baseou-se nas ocorrências de inundação registradas na Defesa Civil do município (no período de 1998 a 2005) e classificou cada uma delas quanto ao grau de probabilidade conforme apresentado a seguir:

**Tabela 8 - Classificação de riscos de inundação no Município de São Gonçalo**

Grau de Probabilidade	Descrição
<p><b>R1</b> <b>Baixo</b></p>	<p>O setor apresenta condições potenciais para o desenvolvimento de processos de inundação (localização em baixadas ou próximo a cursos d'água, por exemplo), mas os eventos de inundação são pouco frequentes, não tendo sido verificada a ocorrência de eventos de magnitude significativa (ou seja, que implicou a remoção dos moradores) nos últimos 5 anos.</p>
<p><b>R2</b> <b>Médio</b></p>	<p>O setor apresenta eventos frequentes de inundação, com registros ou relatos de moradores indicando a ocorrência de pelo menos 1 evento de magnitude significativa nos últimos 5 anos.</p>
<p><b>R3</b> <b>Alto</b></p>	<p>O setor apresenta frequência elevada de ocorrência de inundações, com registros ou relatos de moradores indicando a ocorrência de pelo menos 2 eventos de magnitude significativa nos últimos 5 anos.</p>
<p><b>R4</b> <b>Muito Alto</b></p>	<p>O setor apresenta frequência extremamente elevada de ocorrência de inundações, com registros ou relatos de moradores indicando a ocorrência de pelo menos 3 eventos de magnitude significativa nos últimos 5 anos.</p>

Fonte: PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO GONÇALO (2008)

A Figura 51 apresenta as áreas de risco de inundação em São Gonçalo levantadas no PMRRSG (2008), onde pode-se observar que uma parcela do município encontra-se em condições de vulnerabilidade.

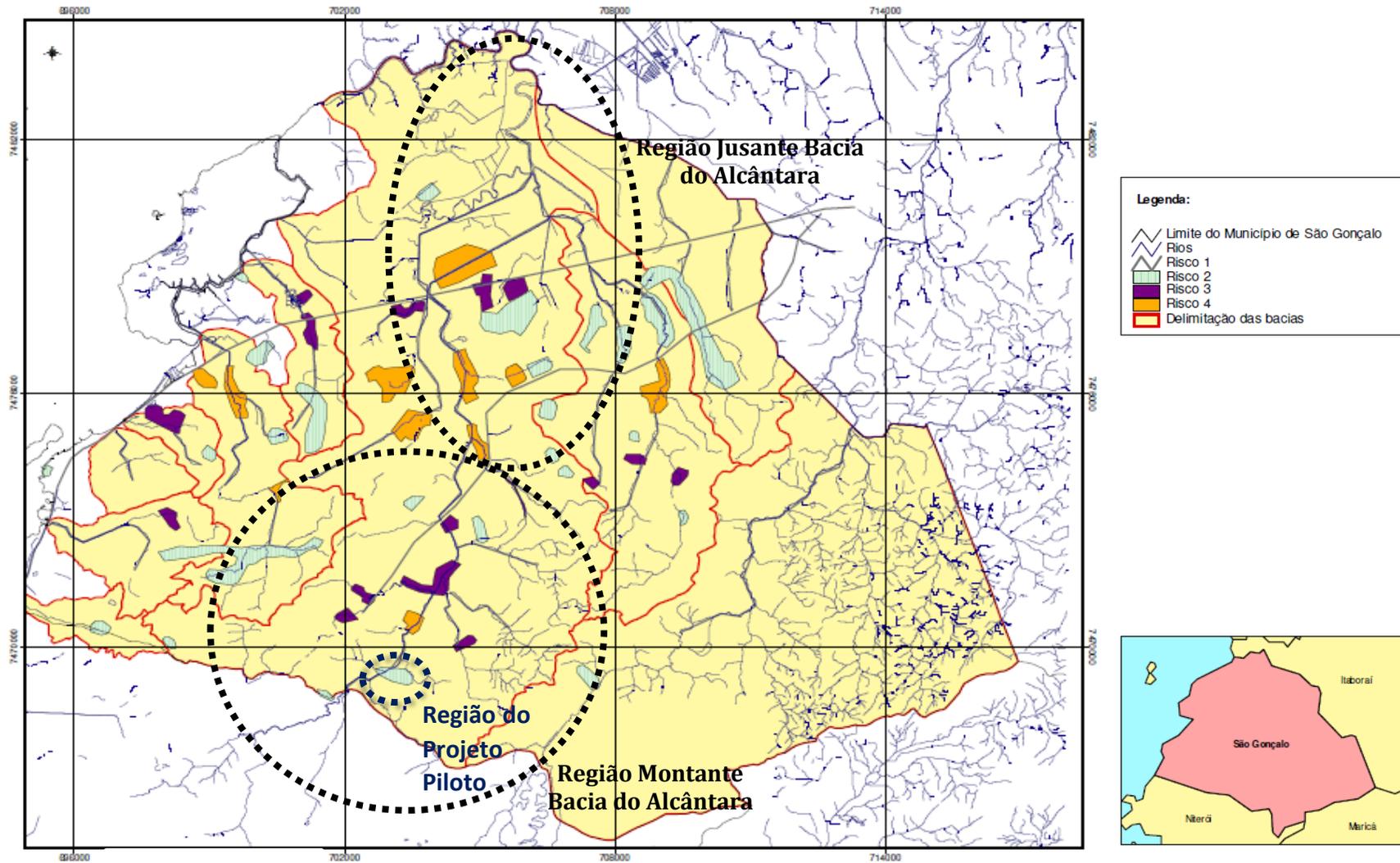
Já o PMSB (2014) comparou o mapa de área de riscos (Figura 51) com o levantamento da situação da drenagem no município (

Figura 50), gerando o diagnóstico apresentado na Figura 52 e na Tabela 9.

Ao analisá-los, pode-se observar que a infraestrutura de drenagem no município é carente, com um percentual elevado de ruas pavimentadas sem rede de drenagem. Chama a atenção o fato de que áreas de risco de inundação da Bacia do Alcântara e suas sub-bacias, ao serem comparadas com as das demais bacias do município, apresentam menor porcentagem de domicílios com existência de bueiro / boca de lobo. Ou seja, ao observar a Figura 52 nota-se que a maioria das manchas apresenta colorações vermelhas (0% dos domicílios são atendidos por infraestrutura de micro drenagem) e laranjas (0% a 25%), enquanto nas outras bacias isso varia.

Também se nota que a Bacia do Alcântara e suas sub-bacias concentram as áreas de risco de alagamento mais vastas do município, na região de menor elevação (jusante). Isso pode indicar o acúmulo excessivo de água a jusante por falta de armazenamento a montante, onde as machas são menores. A comparação aqui feita reforça a discussão de que é necessário armazenamento a montante, espaço verdes, mudança da cultura de cuidado com a água e conter o crescimento urbano nas margens dos cursos d'água.

Figura 51 - Áreas de Risco de Inundação



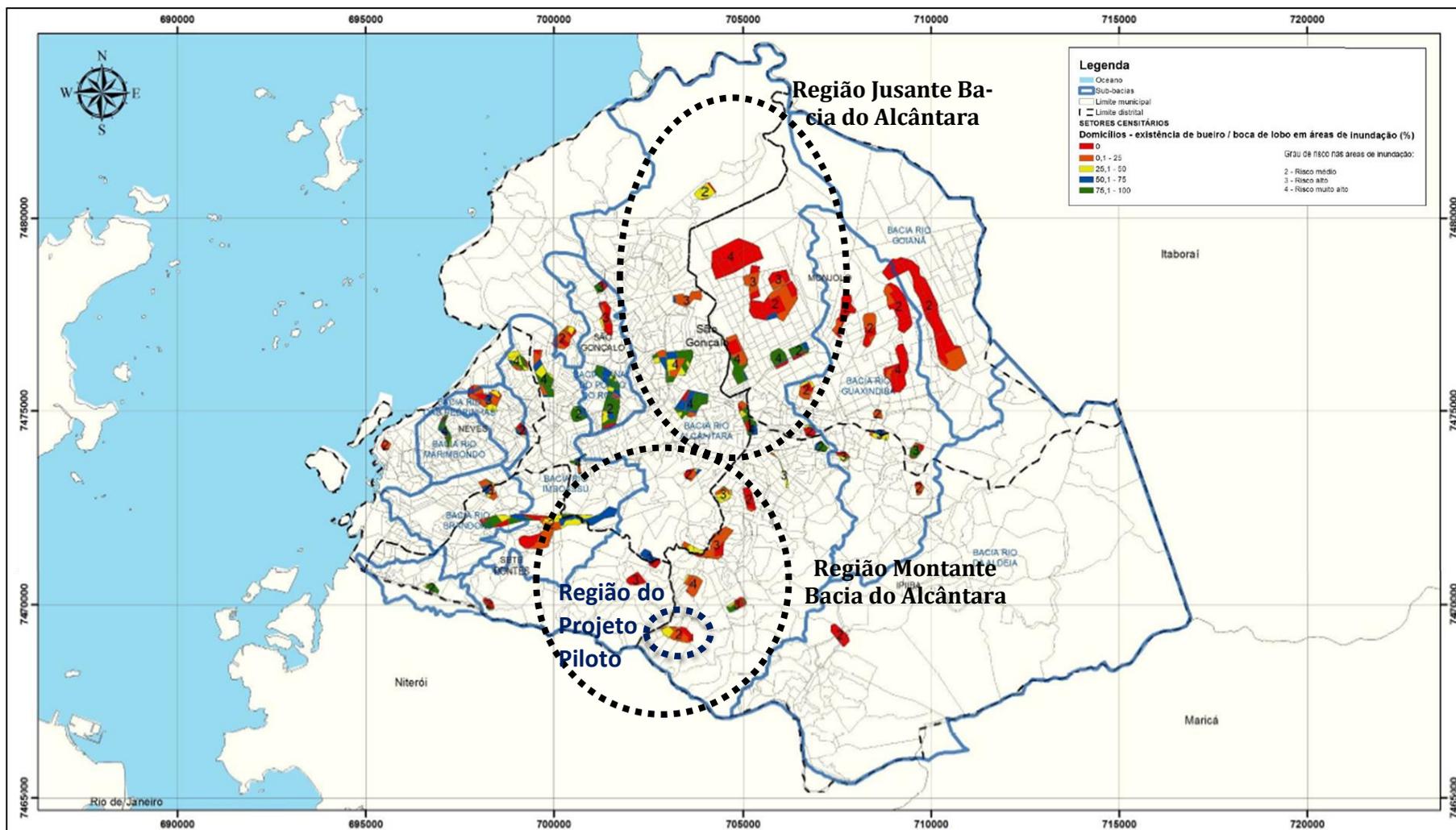


Figura 52 - Superposição: Mapa de Drenagem Urbana em domicílios com existência de bueiro / boca de lobo e Mapa de Risco das Inundações.

Fonte: PREFEITURA DE SÃO GONÇALO (2014)

Tabela 9 - Síntese do Serviço de Drenagem no Município de São Gonçalo

distrito	nº domicílios particulares permanentes	nº domicílios com existência de bueiro / boca de lobo	percentual de domicílios atendidos por rede de drenagem	nº domicílios localizados em ruas pavimentadas	percentual de ruas pavimentadas sem rede de drenagem	sub-bacias contidas no distrito	percentual predominante de existência de bueiro / boca de lobo					nº pontos com áreas de risco, conforme PMRR2008				
							0%	0-25%	25-50%	50-75%	75-100%	risco 4	risco 3	risco 2	risco 1	nº total de pontos
												multo alto	alto	médio	baixo	
1º Distrito São Gonçalo	111.929	48.917	44%	77.559	37%	Imboassú					x	2		3	1	6
						Canal do Porto do Rosa		x					2	1	1	4
						Alcântara	x	x				6	4	3	1	14
2º Distrito Ipiíba	61.080	13.082	21%	24.255	46%	Alcântara	x	x				2	3	3	5	13
						Guaxindiba	x						2	1	1	4
						Aldeia	x							1	1	2
3º Distrito Monjolo	70.749	18.545	26%	26.636	30%	Alcântara	x				x	3	2	3	2	10
						Guaxindiba		x				1	1	6	2	10
						Guaianã	x							1	1	2
4º Distrito Neves	54.221	22.332	41%	46.081	52%	Marimbondo					x	1			1	2
						Brandoas	x	x					1		1	2
						Pedrinhas		x					1	1	1	3
						Imboassú		x				1			1	2
						Bomba					x					0
						Baia de Guanabara		x			x					0
5º Distrito Sete Pontes	27.381	9.036	33%	20.255	55%	Alcântara	x					1	3	1	1	6
						Imboassú		x	x			1		1	1	3
						Brandoas				x	x		1	1	1	3
						Bomba				x	x			1	1	2
<b>Município São Gonçalo</b>	<b>325.360</b>	<b>111.912</b>	<b>34%</b>	<b>194.786</b>	<b>43%</b>	-			x			<b>18</b>	<b>20</b>	<b>27</b>	<b>23</b>	<b>88</b>

Fonte: Quadro desenvolvido a partir de dados censitários IBGE 2010 e PMRR2008.

Fonte: PREFEITURA DE SÃO GONÇALO (2014)

## 8.2 [Etapa 2] Projetos e Propostas Existentes

### 8.2.1 PMRRSG (2008)

O Programa de Urbanização, Regularização e Integração de Assentamentos Precários liderado pelo Ministério das Cidades propôs a elaboração do Plano Municipal de Redução de Riscos de São Gonçalo (PMRRSG). O plano teve como objetivo gerar subsídios para os órgãos públicos competentes, em suas diversas esferas de poder, e estabelecer ações mitigadoras e preventivas em assentamentos populares quanto a deslizamentos e inundações. Iniciado em 2006 e concluído em 2008, o projeto contou com a parceria entre a Prefeitura Municipal de São Gonçalo, Fundação Euclides da Cunha/Universidade Federal Fluminense, apoio da Caixa Econômica Federal e participação comunitária, a partir de assembleias (PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO GONÇALO, 2008).

O PMRRSG baseou-se nas ocorrências de inundação registradas na Defesa Civil de São Gonçalo (no período de 1998 a 2005) e classificou cada uma delas quanto ao grau de probabilidade, conforme já apresentado na Tabela 8 e na Figura 51.

A partir do diagnóstico obtido com suporte de visitas a campo, o PMRRSG ainda apresenta propostas de intervenção específicas para a Bacia do Alcântara. Para todas as regiões de risco da Bacia do Alcântara foi indicada a dragagem de canal/rio e a limpeza e recuperação das margens. Em alguns casos o PMRRSG destaca a dragagem como uma alternativa à solução ideal que seria a transferência de moradias, visto que esta tem um custo mais elevado que a dragagem e recuperação das margens; portanto, incompatível com a situação econômica do município. Ainda que a transferência de moradias tivesse sido evitada, em alguns trechos a jusante, a remoção de edificações foi indicada como intervenção inevitável associada à dragagem da calha do rio. Para apenas um dos pontos, na região a jusante da Bacia do Alcântara, indicou-se a construção de uma bacia detenção como forma de mitigação.

Nota-se que as intervenções propostas pelo PMRRSG têm caráter reativo e seguem a filosofia tradicional de gestão da água urbana de rápido transporte dos efluentes. A implementação destas melhorias a montante pode impactar negativamente a região jusante, o que caracterizaria uma simples transferência dos danos a outras regiões da bacia. No entanto, o PMRRSG não apresenta uma análise dos possíveis impactos.

Observa-se, também, que o remanejamento de moradias em áreas de risco é evitado ao máximo devido ao elevado custo, segundo o próprio plano. Considerando que a reserva de

água a montante poderia diminuir o volume de água a jusante, essa medida, combinada às soluções propostas poderia evitar remoções de moradias a jusante. No entanto, é necessário fazer um estudo do custo destas medidas estruturais, o que não faz parte do escopo desta pesquisa.

### 8.2.2 PMSB (2014)

O Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) de São Gonçalo foi lançado em 2014 e conta com diagnósticos dos setores de Abastecimento de Água, Esgotamento Sanitário, Resíduos Sólidos e Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas. O plano de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais usou o PMRRSG como uma de suas principais referências para diagnóstico e proposição de ações estruturantes de drenagem. A Figura 52 e a Tabela 9 apresentam os resultados desse diagnóstico enquanto a Tabela 10 apresenta as ações propostas no PMSB para o município de São Gonçalo.

**Tabela 10 - Ações Estruturantes para Drenagem**

Ações Estruturantes para Drenagem	Problema
Fiscalização de ligações cruzadas	As ligações irregulares de esgoto nas redes e galerias pluviais são um ponto fundamental a ser controlado, uma vez que em períodos de chuva intensa pode ocorrer transbordo dos despejos domésticos nas bocas de lobo, oferecendo um agravante à saúde pública.
Elaboração de um plano diretor de drenagem	O município não possui plano diretor de drenagem que discipline e planeje as ações de macrodrenagem. O presente Plano não tem condições de estabelecer as ações necessárias pela necessidade de estudos hidrológicos detalhados bem como uma base de dados georreferenciada.
Melhoria na Estrutura de Gestão	O responsável pela manutenção e a operação da drenagem é a Prefeitura Municipal, porém não foi identificado na estrutura administrativa um setor específico para tratar deste componente.
Elaboração e execução de um Plano de Manutenção e Limpeza Periódica do Sistema de Drenagem	Entupimento ou assoreamento das estruturas de drenagem (rede, sarjeta ou bocas de lobo). A disposição inadequada de resíduos sólidos por parte da população, a exemplo de acúmulo de lixo nas superfícies e deposição de sedimentos provenientes de resíduos da construção, ocasiona efeitos negativos sobre a eficiência dos dispositivos de escoamento pluvial e qualidade dos corpos hídricos receptores. Os principais efeitos da presença de resíduos sólidos nos sistemas de drenagem são referentes à obstrução das suas estruturas, favorecendo o aumento da frequência de alagamentos e inundações, e à degradação ambiental dos sistemas hídricos, em função dos resíduos que permanecem por muito tempo no meio ambiente, ou que comprometem a saúde da população, ou até em ambos os casos.
Plano de Reassentamento de Moradias Situadas em Áreas de Risco	Há inúmeras áreas de risco sujeitas a inundação em todos os distritos, essas áreas de risco foram demarcadas e classificadas pelo Plano Municipal de Redução de Riscos (PMRR), 2008, em 4 graus de probabilidade de risco.
Acompanhamento da saúde da população	As despesas com saúde pública são elevadas e boa parte é originada por doenças de veiculação hídrica e na medida em que são quantificadas é fica mais difícil combater as causas.

Ações Estruturantes para Drenagem	Problema
Ampliação de áreas verdes nos perímetros urbanizados do município com projetos de revitalização e construção de novas áreas verdes	A maior causa das enchentes e inundações são originadas do intenso desmatamento e retiradas das matas ciliares nas margens dos cursos d'água
Construção de microdrenagem nas áreas urbanizadas do município.	Apenas 34% do município possui rede de drenagem

Fonte: PREFEITURA DE SÃO GONÇALO (2014)

Ao analisar os problemas levantados e as ações propostas, nota-se que há uma preocupação grande com a qualidade da água drenada devido a ligações cruzadas, falta de limpeza e manutenção do sistema de drenagem. A captação e tratamento em tempo seco pode ser uma alternativa combinada às ações propostas para que a poluição não atinja os corpos d'água e contaminem a região a jusante de seu lançamento.

### 8.2.3 PDUI RMRJ (2017)

“O Plano Estratégico de Desenvolvimento Urbano Integrado da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (PDUI) – Modelar a MetrÓpole, é uma iniciativa do governo do Estado do Rio de Janeiro, por meio da Câmara Metropolitana, que busca soluções conjuntas para conflitos sociais, econômicos e ambientais para os 21 municípios da região metropolitana. As entidades envolvidas contam com poderes públicos dos municípios, sociedade civil, instituições acadêmicas, empresariado e organizações de classe.” (PEREIRA, 2018)

No Produto 14 do PDUI, “Relatório de Propostas Detalhadas” (CÂMARA METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO, 2017a), são estabelecidos os fundamentos que guiam a estruturação das ações a serem propostas para os períodos de curto, médio e longo prazos para a RMRJ. Dentre os Objetivos Metropolitanos (OM), são destacados, na Tabela 11, aqueles que se somam à busca por “boa governança da água”:

**Tabela 11 - Objetivos Metropolitanos**

OM11	Criar condições para um saneamento ambiental amplo e a integração de ambiente natural e construído, com foco na revitalização e valorização deste último para suporte a uma melhor qualidade de vida nas cidades	11.1. Aprimorar os sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, garantindo a universalização
		11.2. Aprimorar o Sistema de Manejo de Águas Pluviais, integrando soluções de drenagem aos espaços livres, criando oportunidades de incremento de biodiversidade e revitalização urbana
		11.3. Garantir o correto funcionamento do sistema de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos
		11.4 Sempre que possível, priorizar projetos multifuncionais de soluções multissetoriais
		11.5. Buscar alternativas para armazenagem de recursos hídricos (segurança hídrica), redução de perdas do sistema, e uso sustentável da água
OM12	Apresentar resiliência e sustentabilidade ambiental	12.1. Proteger e viabilizar áreas com Potenciais Ambientais
		12.2. Gerir riscos pertinentes ao eixo de Resiliência Ambiental

Fonte: CÂMARA METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO, 2017a.

Para atingimento da universalização do acesso a serviços de esgotamento sanitário, OM11.1, o PDUI estabelece que a diretriz básica de implantação de novas redes pode prever a implantação escalonada no tempo, partindo da lógica do sistema unitário e captação em tempo seco. O plano ainda reforça que não contesta a alternativa do esgoto separador absoluto como aquela desejável em um sistema ideal, mas sim que esta seria a etapa final de implantação do sistema escalonado. A alternativa de captação em tempo seco, associada à interceptação da rede de drenagem, é apresentada como uma possibilidade interessante e adequada à realidade econômica dos Estados a qual poderá ser utilizada também para tratamento da poluição difusa que chega aos corpos receptores pela lavagem da bacia (principalmente nos primeiros milímetros da chuva).

O OM11.2 cria oportunidade de maior interação entre cidadãos e o ciclo hidrológico, ao integrar soluções de drenagem, revitalização urbana e de incremento da biodiversidade. Esta diretriz pode contribuir para que novos projetos de drenagem reforcem comportamentos sensíveis à água na comunidade em que estão inseridos. Os Comitês de Bacia Hidrográfica podem ser uma figura importante para fortalecimento desta diretriz e o próprio PDUI propõe, entre as ações prioritárias, a promoção da articulação entre Câmara Metropolitana e comitês. O OM11.4, por sua vez, é um incentivo à Gestão Integrada de Águas Urbanas (IUWM) uma vez que propõe a descompartmentalização das soluções de saneamento.

O OM11.5 cria precedente para descentralização das fontes de abastecimento de água, o que pode ser associado a construção de bacias de retenção, objeto desta pesquisa. Ao propor a redução de perdas do sistema e o uso sustentável da água, o PDUI demonstra uma preocupação com a limitação deste recurso natural.

Somado a estes, o OM12 demonstra ainda que a metrópole identifica a necessidade de tornar as cidades mais resilientes e, portanto, uma necessidade de uma mudança de paradigmas na gestão da água urbana, buscando soluções sensíveis à água.

Algumas diretrizes estabelecidas no Produto 14 do PDUI (CÂMARA METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO, 2017a), para Manejo de Águas Pluviais, apresentadas na Tabela 12.

Tabela 12 - Diretrizes estabelecidas pelo PDUI para Manejo de Águas Pluviais

Diretriz	Título	Descrição	Questão a ser solucionada	Local
Promover a redução de inundações com a implantação de medidas sustentáveis de drenagem, a <b>utilização de espaços livres para mitigar o deficit dos volumes de armazenamento de águas pluviais</b> e o desenvolvimento de projetos multisetoriais a partir da consideração da <b>drenagem como eixo estruturante do espaço para planejamento</b> .	Promover a mitigação de inundações na bacia do Rio Alcântara com a implantação de um canal extravasor auxiliar para que o Rio Alcântara	A proposta consiste na implantação de um canal auxiliar para que o Rio Alcântara by-pass o manguezal da APA-Guapimirim, preservando-o. Esta obra aliviaria definitivamente as cheias da bacia do Rio Alcântara e o canal também funcionaria como um "limite físico" de avanço da mancha urbana na direção da APA. Ao longo do Rio Alcântara, prevê-se a implantação de sistema viário local e o adensamento urbano para uso diversificado, com ênfase em projetos habitacionais. Finalmente, o novo canal pode servir como alternativa de transporte aquaviário.	Inundações na bacia do Rio Alcântara.	São Gonçalo
Realizar atividades de gestão e articulação institucional referente a macrodrenagem, considerando o mandato metropolitano a ser instituído em legislação complementada	<b>Promover a criação de Zonas de Interesse Metropolitano associadas à reserva de espaços livre relevantes para o controle de inundações</b>	O principal <i>deficit</i> diagnosticado na avaliação da estrutura do setor de manejo de águas pluviais se refere ao <i>deficit</i> de volumes para armazenamento das águas pluviais, que, oriundas das falhas de funcionamento do sistema, geram alagamentos e inundações. Estes, por sua vez, ser vistos como um problema de alocação de espaço insuficiente. Ao utilizar áreas que deveriam ser preservadas para inundação e fomentar um uso do solo com excessiva impermeabilização, o processo de urbanização deveria prever novos e alternativos espaços para a armazenagem temporária dos escoamentos, de modo a permitir a continuidade do funcionamento dos sistemas de drenagem. Dessa forma, é promovido pelo PDUI a criação de Zonas de Interesse Metropolitano associadas à reserva de espaços livre relevantes para o controle de inundações para suprir o <i>deficit</i> de volumes para armazenamento das águas pluviais.	<i>Deficit</i> de volumes para armazenamento das águas pluviais	RMRJ
	Promover a gestão das atividades de macrodrenagem	Promover a gestão das atividades de macrodrenagem, garantindo a integração com outras áreas setoriais da governança metropolitana, acompanhamento e monitoramento.	Falta de interação dos planos municipais no âmbito metropolitano.	RMRJ
	Apoiar e estabelecer diretrizes para a elaboração de planos municipais de drenagem	Apoiar e estabelecer diretrizes para a elaboração de planos municipais de drenagem, visando articulação e complementariedade dos projetos dos entes federados e racionalização da gestão e dos investimentos do setor na escala metropolitana. É fundamental que os planos setoriais referentes aos serviços de saneamento básico respeitem não só as diretrizes preconizadas na Lei Federal Nº 11.445/2007, como também o fato de pertencerem a uma região metropolitana. Ou seja, os planos setoriais devem levar em consideração as possíveis inter-relações e impactos gerados pelas suas propostas nos municípios que formam a RMRJ, além de estabelecer a bacia hidrográfica como unidade de planejamento. Também é importante que o aumento da resiliência por setor seja uma premissa na elaboração de tais planos.	Falta de indicações para elaboração de planos de drenagem	RMRJ

Fonte: (CÂMARA METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO, 2017a)

Mais especificamente, para o Município de São Gonçalo, o PDUI propõe, no Tomo II de seu Produto 18, duas ações consideradas prioritárias e estratégicas para o desenvolvimento da RMRJ, conforme apresentado na Tabela 13 e na Tabela 14.

Tabela 13 - Propostas PDUI para São Gonçalo: Eixo Transversal Alcântara

PROGRAMA EQUILIBRAR A METRÓPOLE							
ID	Ação	Descrição	Questão a ser solucionada	Indicador	Meta CP 2020	Meta MP 2028	Meta LP 2040
EM 07	Eixo Transversal Alcântara - incentivar a implantação de projeto multifuncional na bacia do Rio Alcântara e a mitigação das enchentes na região	Incentivo à implantação de um projeto multifuncional ao longo do Rio Alcântara, desde a RJ 106 até Itaoca, na costa da Baía de Guanabara, e construção de canal auxiliar para que o Rio Alcântara by-pass o manguezal da APA-Guapimirim, dirigindo as águas pluviais na direção do desague do rio Imboaçú. Com sua realização, esta obra aliviará as cheias da bacia do Rio Alcântara e do Rio Guaxindiba e funcionará como um "limite físico" para o avanço da mancha urbana na direção de Itaoca. Prevê-se a implantação de sistema viário local e parque fluvial, além do adensamento da ocupação do solo nas áreas lindeiras, com ênfase habitacional e o aproveitamento da mais valia de valorização urbana na região. Também se prevê a implantação de veículo leve sobre trilho - VLT, com origem em Maricá, se estendendo até o cruzamento com a Linha 3 do Metrô (perpendicular ao Eixo Alcântara) e a valorização da centralidade de Alcântara e da região de Tribobó (Ponto Nodal). A área da ação corresponde à ZIM-U 3	Inundações na bacia do Rio Alcântara, Guaxindiba e Imboaçú; baixa densidade urbana e habitacional; baixa qualificação urbanística, inexistência de equipamentos urbanos, praças e parques; possibilidades de aproveitamento de áreas livres inundáveis para qualificação urbana da região e viabilização do projeto	Elaboração de estudos para validação e compatibilização de projetos existentes para obra de mitigação das inundações na bacia do Rio Alcântara e de implantação de sistema viário local.	Estudos realizados e entregues	-	-
				Contratação de obra de mitigação das inundações na bacia do Rio Alcântara e de implantação de sistema viário local.	-	Obra contratada	-

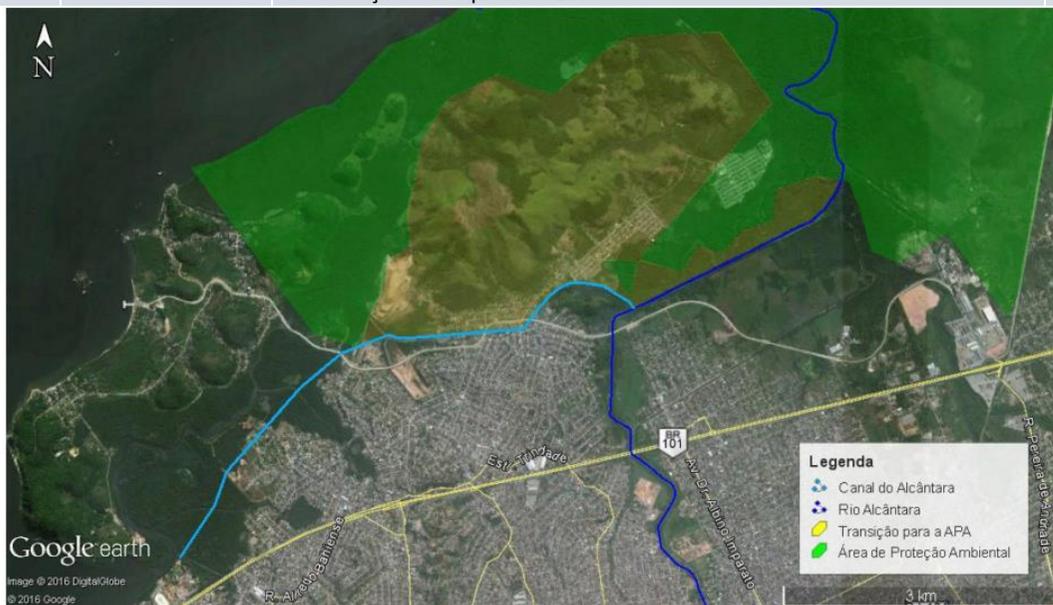


Figura 53 - Representação Canal Extravasador Alcântara

Além questões a serem solucionadas, apontadas na Tabela 13, vale destacar outros benefícios esperados da Implementação do Eixo Transversal Alcântara e apontados no Produto 14 do PDUI (CÂMARA METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO, 2017a):

- **Turismo:**

[...] Para a região Leste Fluminense, foram identificadas diversas regiões na orla da Baía de Guanabara, especialmente no município de São Gonçalo, que poderiam ser utilizadas para alavancar o turismo na região. A valorização dessas áreas poderia estar associada à criação de linhas hidroviárias específicas para turismo.

- **Transporte coletivo e captura da mais valia imobiliária:**

[...] O Programa Equilibrar a Metrópole (PEM), atende a uma das premissas do PDUI que aponta a necessidade de implantar uma estrutura urbana policêntrica, a fim de superar a concentração de atividades econômicas, serviços e equipamentos públicos na região central da metrópole. Faz parte do PEM, a proposta de implantação do Eixo Transversal Multifuncional Alcântara que deverá incluir transporte coletivo, parques fluviais e medidas para capturar a mais valia imobiliária.

Tabela 14 - Propostas PDUI para São Gonçalo: Cinturão Sanitário

METRÓPOLE SUSTENTÁVEL							
ID	Título	Descrição	Questão a ser solucionada	Indicador	Meta CP 2020	Meta MP 2028	Meta LP 2040
BR 02	Implantação de cinturão sanitário (e rede de drenagem quando necessário) em locais sem rede de esgotamento sanitário como solução de transição para um sistema separador absoluto, adotando uma estratégia de gradualismo	Incentivar estudos visando à implantação de cinturão sanitário (e rede de drenagem quando necessário) em locais sem rede de esgotamento sanitário, como primeiro estágio do processo de captação e tratamento de esgotos urbanos, a fim de solucionar a transição para um sistema separador absoluto, que deverá ser implantado em etapas. A rede remanescente da infraestrutura do cinturão interceptor poderá, futuramente, ser utilizada para tratamento da poluição difusa, quando a rede separadora estiver completamente instalada e operando a contento.	Condições de insalubridade e falta de qualidade de vida em áreas sem infraestrutura de saneamento e índices elevados de poluição dos corpos hídricos da RMRJ, associados aos altos custos e prazos para a universalização do serviço de esgotamento sanitário por meio de redes com separador absoluto	Elaboração de estudos para validação e compatibilização de projetos existentes para Implantação de cinturão sanitário infraestrutura	Estudo realizado e entregue.	-	-
				Desenvolvimento de projeto de implantação de cinturão sanitário em locais sem rede de esgotamento sanitário	Projeto realizado e entregue.	-	-
BR 03	Implantação de cinturão sanitário em locais com sistema de separador absoluto atualmente descaracterizado, com interconexão entre esgoto e drenagem, a fim de interceptar as redes de drenagem e encaminhar efluentes para tratamento antes da descarga no corpo receptor	Incentivar a implantação do sistema de cinturão sanitário para interceptar os desvios de função da rede de drenagem e encaminhar os efluentes para tratamento, antes do aporte à corpos hídricos, nos locais onde as redes com sistema de separador absoluto implantadas apresentam falhas, ao aportar esgoto às redes de drenagem, devido às instalações irregulares. Os cinturões deverão ser implantados nas margens dos principais corpos hídricos degradados, destacando-se as bacias dos Rios Pavuna, Sarapuí, Iguaçu, Alcântara, Saracuruna e Guandu.. A área da ação corresponde à ZIM-A 4	Índices elevados de poluição dos corpos hídricos da RMRJ, mesmo em regiões que contam com serviços de esgotamento sanitário por meio de redes com separador absoluto	Elaboração de estudos para validação e compatibilização de projetos existentes para implantação de cinturão sanitário	Estudo realizado e entregue.	-	-
				Desenvolvimento de projeto de implantação de cinturão sanitário em locais sem rede de esgotamento sanitário.	Projeto realizado e entregue.	-	-



Figura A - Estágios propostos para o processo de captação e tratamento de esgotos urbanos



Figura A - Estágios propostos para o processo de captação e tratamento de esgotos urbanos

Além questões a serem solucionadas, apontadas na Tabela 14, vale destacar outros benefícios esperados da Implementação do Cinturão Sanitário e apontados no Produto 14 do PDUI (CÂMARA METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO, 2017a):

- **Lazer e atividades turísticas:**

[...] O Programa Baía Reinventada (PBR) propõe o resgate e a reinvenção do uso e dos valores culturais, históricos e ambientais presentes na Baía de Guanabara e no seu entorno [...]. O PBR defende a implantação da rede de esgotamento sanitário em tempo seco, em locais sem rede de esgotamento sanitário, ao longo dos rios contribuintes da bacia hidrográfica da baía, como solução de transição para um sistema separador absoluto, que viabilize a despoluição das águas em tempo relativamente curto, e que possibilite a sua utilização para o lazer e atividades turísticas.

A proposta de implantação do Eixo Transversal Multifuncional Alcântara foi estudada na Pesquisa de Graduação de Pereira (2018). A autora conclui que a construção do canal e dos parques fluviais quando associada a dragagem do Rio Alcântara produz melhores resultados. Além disso, a autora ressalta que as intervenções são de fato necessárias para mitigação de cheias, porém não resolvem completamente o problema uma vez que restam extravasamentos a montante das intervenções propostas. Por fim, dentre as recomendações da autora estão:

- Avaliação da possibilidade de canalização do rio Alcântara como proposta para atingir o objetivo de não extravasamento;
- Criação de reservatórios em espaços livres na região mais a montante do rio;
- Aumento das dimensões do canal extravasador para 60 metros de largura e 3 metros de profundidade a fim de que seja garantido também o transporte aquaviário (que, de fato, depende da embarcação de projeto escolhida, mas que não foi viabilizado em sua proposta de trabalho).
- Avaliação do impacto ambiental na região de mangue pertencente a APA de Guapimirim, no entorno da foz do rio Guaxindiba

### 8.3 Preparação de Modelo Matemático

Para análise dos resultados dos projetos propostos nesta dissertação [Etapa 3] e de seu ganho ao ser combinado com as propostas já existentes para São Gonçalo [Etapa 4] (ver Figura 48), a Bacia do Alcântara foi representada em um modelo matemático no programa MODCEL (MASCARENHAS; MIGUEZ, 2002). O *software* de modelagem matemática de inundações, desenvolvido no Laboratório de Hidráulica Computacional da COPPE – UFRJ, permite a representação da superfície analisada em diferentes tipos de células como canais, planícies e reservatórios, bem como a caracterização da interação que ocorre entre elas. Trata-se de um modelo Hidrodinâmico Quasi-2D que representa canais e superfícies inundáveis, que trocam de água entre si, por uma rede no plano horizontal onde os caminhos são pré-definidos, interligada a uma rede subterrânea, de drenos ou galerias. Ou seja, esse modelo permite a visualização de um escoamento em uma área bidimensional, com relações de troca também na vertical, embora modelado apenas por equações em 1D. Desta forma, a simulação funciona não somente quando o escoamento está dentro da calha do rio ou galeria, mas também quando a estrutura

de drenagem transborda para as planícies marginais. Para o uso de um modelo Quasi-2D, é necessário discretizar a planície de inundação em células de escoamento. Tais células são compartimentos homogêneos que funcionam de forma integrada, comunicando-se apenas por leis hidráulicas unidimensionais clássicas (PEREIRA, 2018).

O Laboratório de Hidráulica Computacional COPPE/UFRJ havia desenvolvido 3 modelos matemáticos no MODCEL que representavam 3 diferentes regiões do município de São Gonçalo. Com objetivo de fazer uma análise da implantação das propostas do PDUI, a autora Pereira (2018) uniu, adaptou e calibrou estes 3 modelos originais, representando o município de São Gonçalo em quase toda sua extensão. A Figura 54 apresenta o modelo unificado da autora.

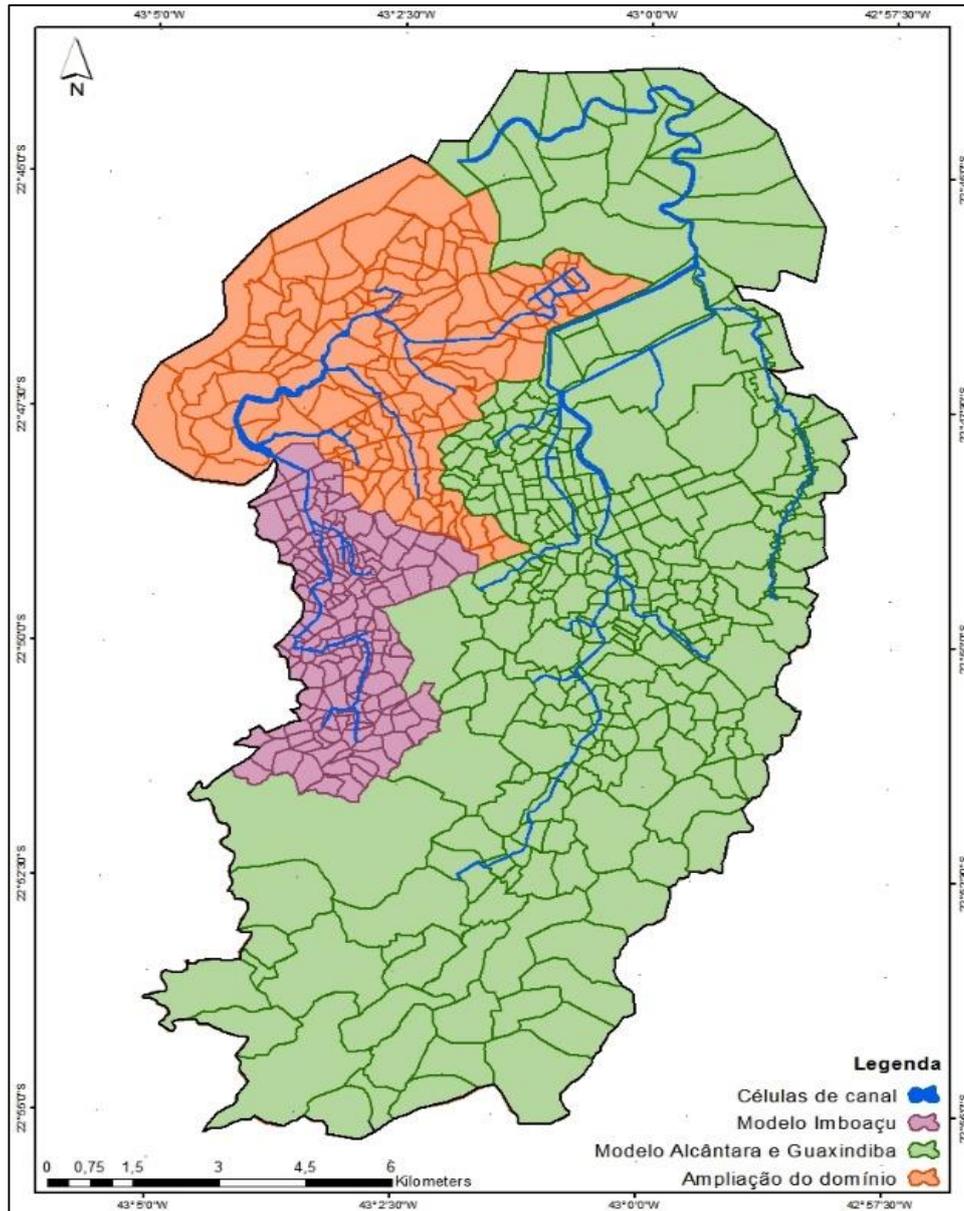


Figura 54 – Modelo Original - Unificação de modelos existentes por Pereira (2018)

O modelo desenvolvido por Pereira (2018) tinha como área de interesse a região jusante da Bacia do Alcântara, onde o PDUI propõe a construção do canal extravasor. Para as análises desta pesquisa, foram implementadas algumas modificações no modelo desenvolvido por Pereira (2018), com objetivo de permitir a análise das regiões indicadas no PMRRSG, de refinar a representação da região a montante da Bacia do Alcântara e de estender a área de influência do modelo. Após a implementação destas melhorias, o modelo foi então recalibrado.

A Figura 55 apresenta de forma esquemática o passo a passo seguido para definição e calibração do modelo matemático (capítulos 8.3.1 a 8.3.3) e para avaliação dos resultados das propostas desta dissertação (capítulos 8.4 a 8.6).



**Figura 55 - Detalhamento das Etapas de Modelagem Matemática e Etapas 3 e 4 do Estudo de Caso**

### 8.3.1 Modelo Matemático Original

O modelo desenvolvido por Pereira (2018), usado como referência nesta pesquisa e apresentado na Figura 56, é constituído por 910 células representativas que cobrem uma área de 176 km<sup>2</sup> do município de São Gonçalo, pertencentes às bacias do Imboçu, Alcântara e Guaxindiba. Para sua concepção e calibração a autora usou dados pluviométricos disponibilizados pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais (CEMADEN, 2018), uma vez que a base de dados de postos pluviométricos da Agência Nacional de Águas - ANA, o Hidro Web, não se encontravam disponíveis na plataforma.

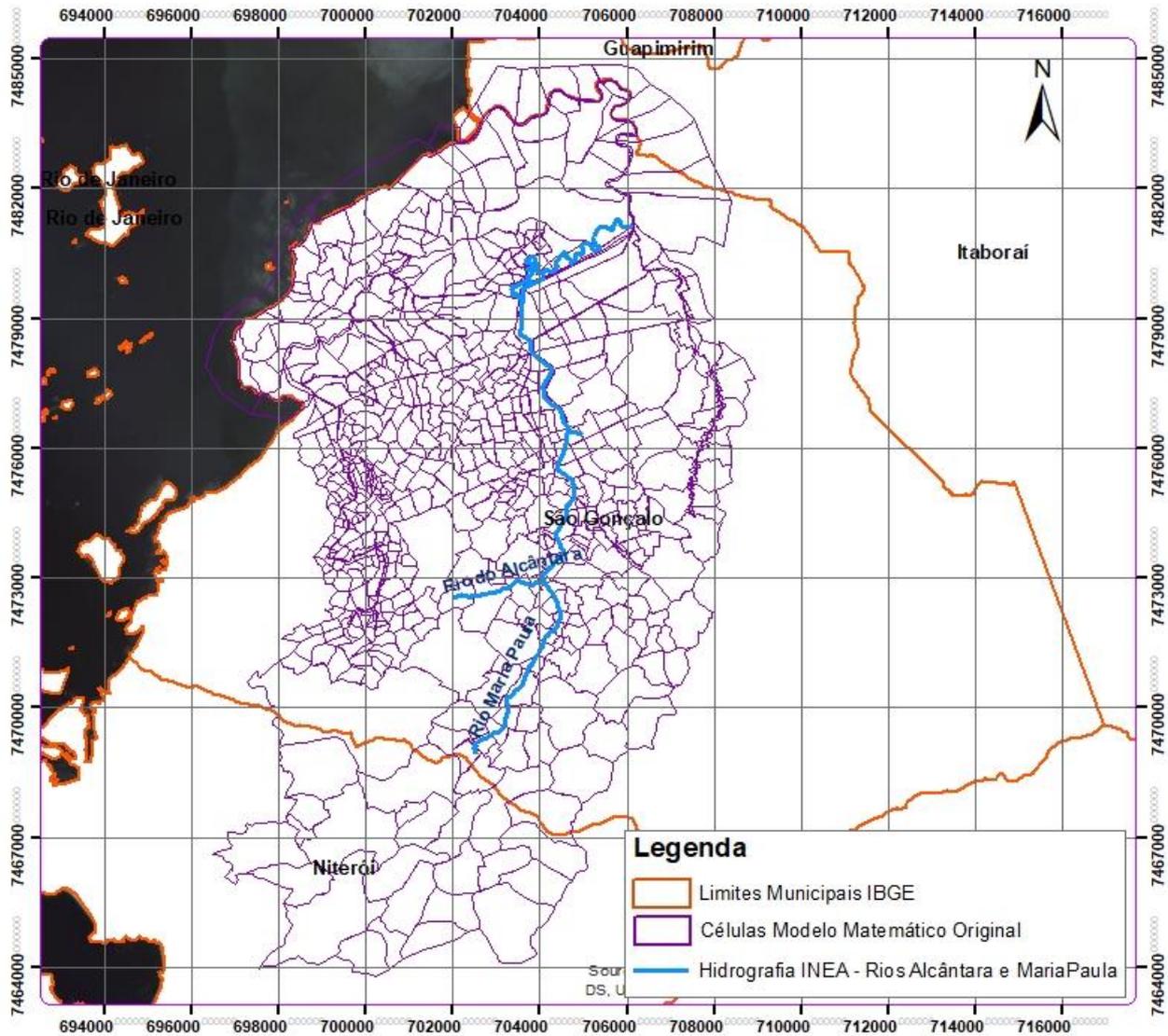


Figura 56 - Células do Modelo Matemático Original

Para cada célula do modelo foram analisadas imagens aéreas e informações georeferenciadas de relevo para determinação do coeficiente de escoamento superficial (*run-off*). O coeficiente adotado de cada célula seguiu as diretrizes da Prefeitura do Rio de Janeiro (RIO ÁGUAS, 2010), apresentadas na Tabela 15.

Tabela 15 - Coeficientes de escoamento superficial.

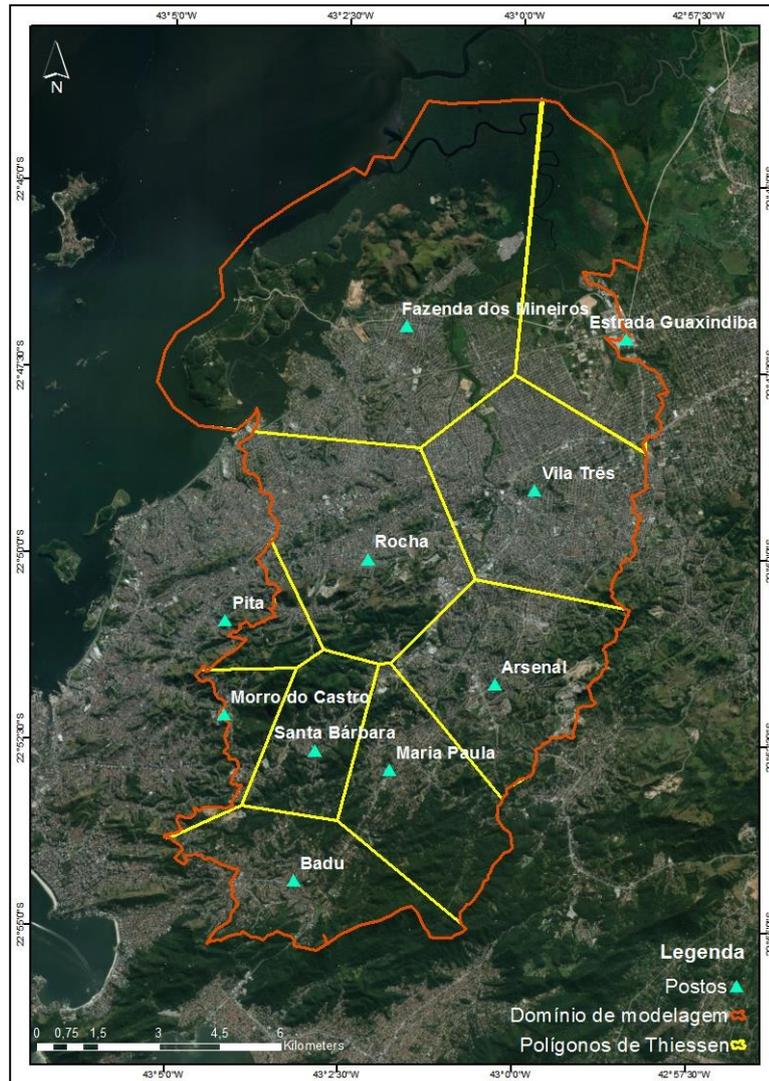
Característica	Runoff
<b>Áreas sem melhoramentos ou naturais</b>	
capoeira, declividade < 5%	0,25
capoeira, declividade entre 5% e 10%	0,35
capoeira, declividade >10%	0,4
<b>Áreas ocupadas</b>	
esparsas	0,35 a 0,6
centrais (comerciais)	0,7
residenciais densas	0,6

O modelo considera seis postos pluviométricos na região de São Gonçalo, e quatro na região de Niterói, como listado na Tabela 16. A distribuição das chuvas adotou o método dos Polígonos de Thiessen para cálculo da precipitação média que, com auxílio do software *ArcMap* - plataforma de mapeamento e análise – delimitou as áreas de influência de cada posto, conforme indicado na Figura 57.

Tabela 16 - Postos pluviométricos utilizados

São Gonçalo/RJ	Niterói/RJ
Pita	Morro de Castro
Vila Três	Santa Bárbara
Rocha	Badu
Estrada Guaxindiba	Maria Paula
Fazenda dos Mineiros	
Arsenal	

Fonte: (PEREIRA, 2018)



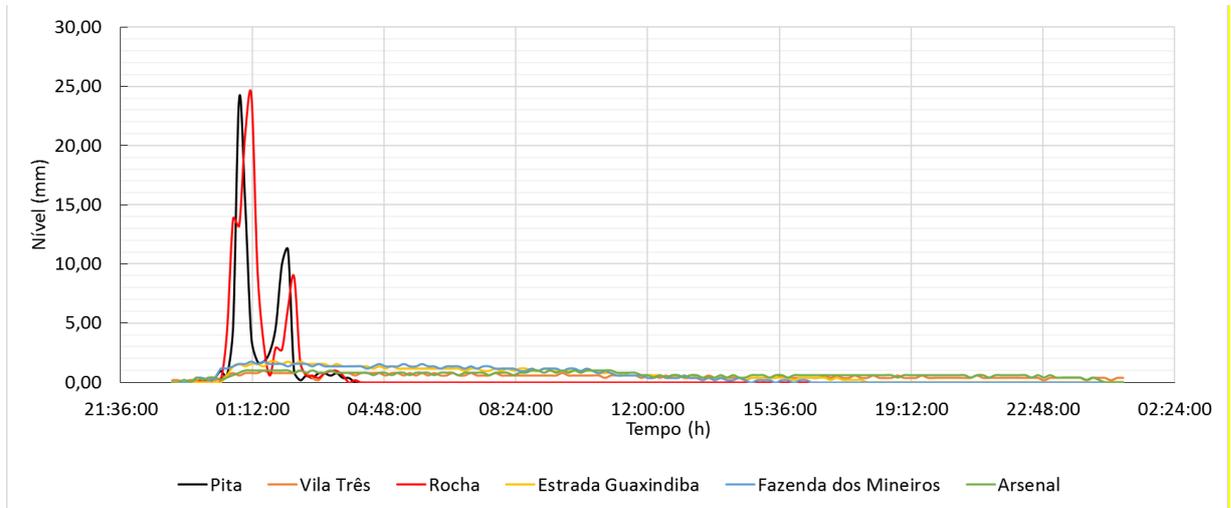
**Figura 57 - Polígonos de Thiessen.**

Fonte: PEREIRA (2018)

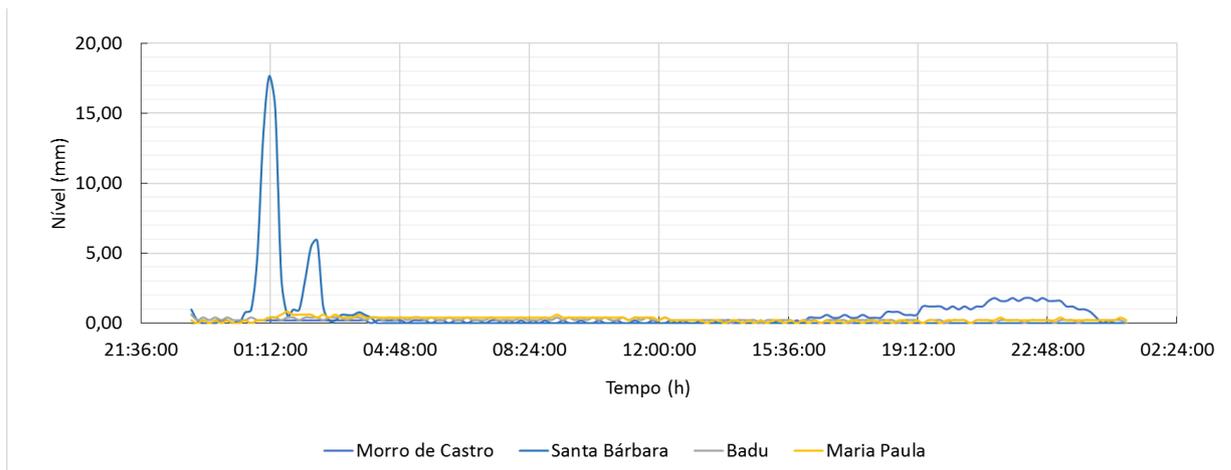
O evento escolhido por Pereira (2018) para a calibração do modelo original foi uma chuva que provocou o transbordamento de 15 rios da bacia do Rio Alcântara, ocorrida na madrugada do dia 24 de março de 2016. Nessa ocasião, 38 bairros foram afetados pelo temporal (G1, 2016), sendo os bairros do entorno do Rio Alcântara os mais prejudicados. A janela de horário selecionada para obter as medições foi das 23 horas do dia 23 de março de 2016 até 1 hora do dia 25 de março do mesmo ano, englobando integralmente o dia do evento. As medições são dispostas em intervalos de 10 minutos, resultando então em 157 valores para cada posto resumidos nos gráficos da Figura 58 e da Figura 59.

A partir de imagens do evento selecionado, obtidas de jornais locais, Pereira (2018) estimou e espacializou as lâminas máximas de alagamento reais atingidas, conforme apresentado na Figura 60. Com estas informações, Pereira (2018) comparou os resultados da calibração do

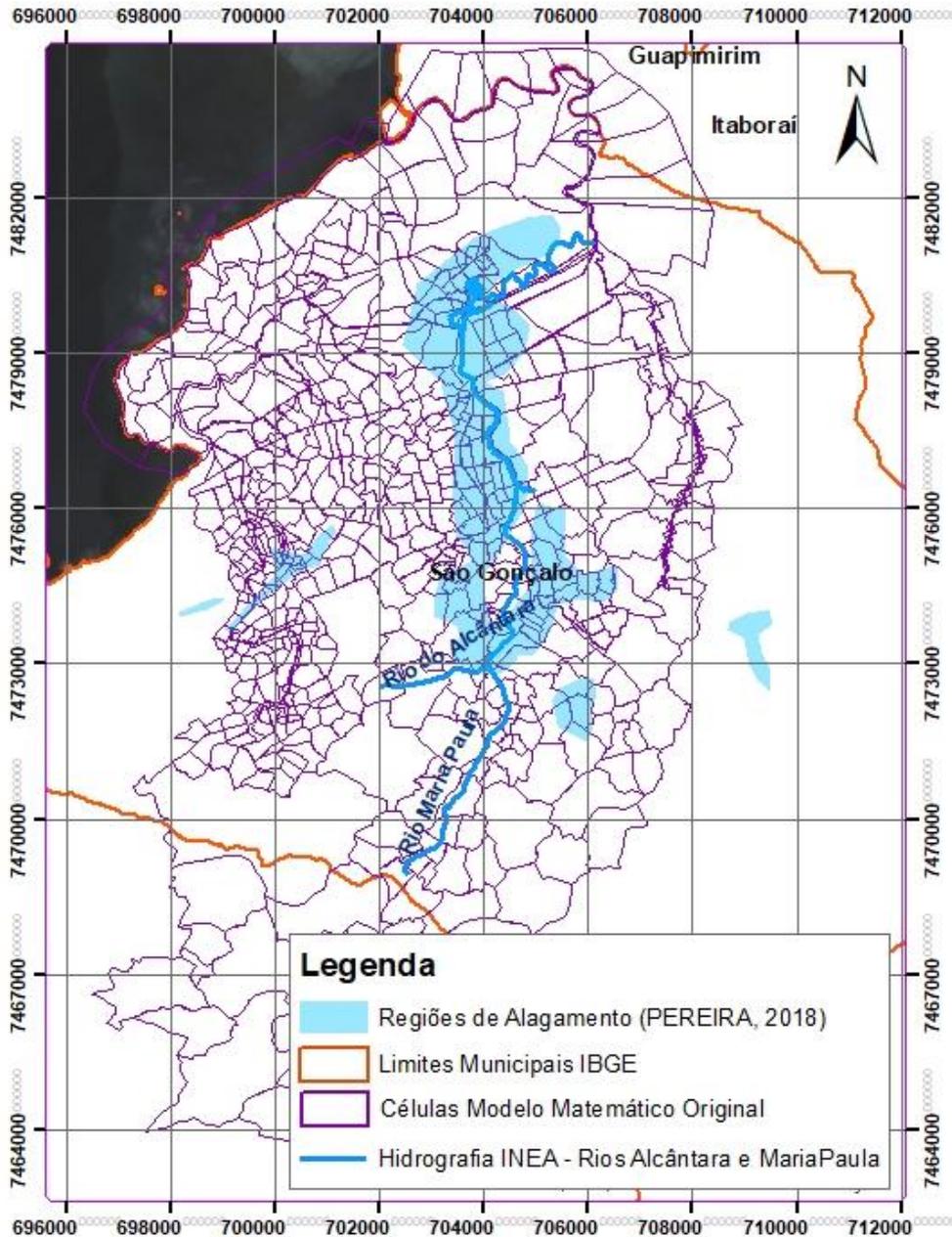
modelo com a situação real na data do evento e assim considerou calibrado e validado o modelo matemático.



**Figura 58 – Precipitação registrada nos postos do município de São Gonçalo.**  
 Fonte: Pereira (2018)



**Figura 59 – Precipitação registrada nos postos do município de Niterói.**  
 Fonte: Pereira (2018)



**Figura 60 - Espacialização das áreas alagadas no evento de março de 2016.**

Fonte: Pereira (2018)

Para efeitos de simulação de possível remanso provocado no rio pela variação da maré, Pereira (2018) considerou para o modelo original o posto de medição da Ilha Fiscal, localizado na Baía de Guanabara, como referência para a construção da condição de contorno de maré. Foram usadas informações de Tábua de Maré disponibilizados pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil ao ano corrente, sendo assim, adotou-se a premissa de usar a mesma data do evento selecionado para a calibração do modelo (24 de março) para análise do efeito do remanso.

### 8.3.2 Adaptação e Calibração do Modelo Matemático para Estudo de Caso

Ao modelo original, desenvolvido por Pereira (2018) foram adicionadas mais 36 células, equivalentes a uma área de 37 km<sup>2</sup>, com objetivo de melhorar a representação da contribuição das sub-bacias do Guaxindiba e Goiana a jusante da bacia do Alcântara. No modelo original esta contribuição era representada por uma condição de contorno.

Para calibração e validação do modelo adaptado utilizou-se a mesma ocorrência selecionada por Pereira (2018), ou seja, de 24 de março de 2016. A área adicionada ao domínio foi representada por células divididas respeitando a direção do escoamento, divisores de águas naturais, topografia do terreno e ocupação do solo. Para as novas células adicionadas ao modelo, atribuiu-se a mesma precipitação adotada, no modelo original, para as células vizinhas mais próximas, como observado na Figura 61.

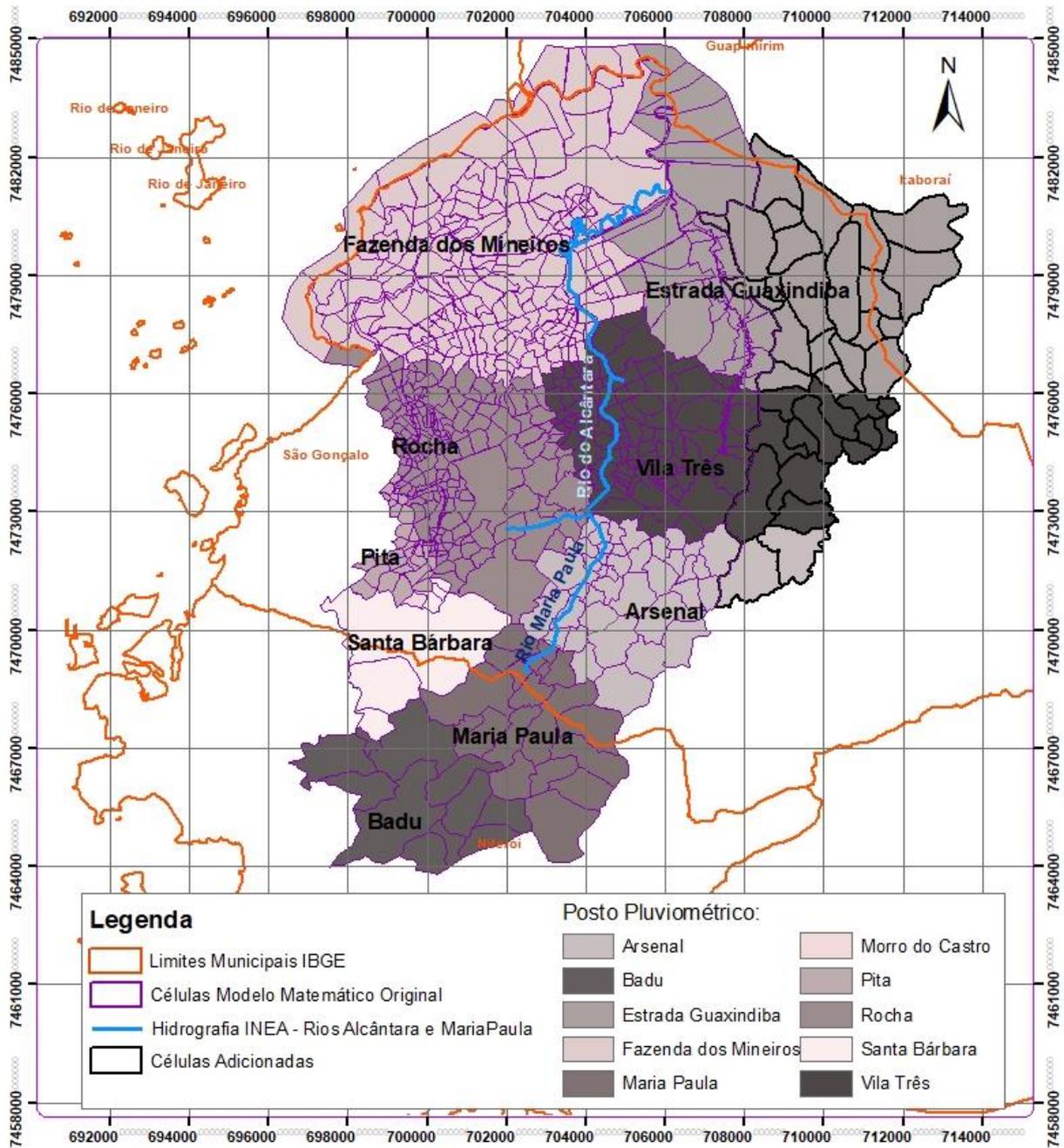


Figura 61 - Células Adicionais

Visto que o modelo original tinha como objetivo propor um projeto na região jusante da Bacia do Alcântara (Canal Extravasador PDUI), sua calibração concentrou esforços nas células deste local. No entanto, esta dissertação tem como região de maior interesse a parte montante da Bacia do Alcântara e, portanto, as melhorias na calibração do modelo adaptado se concentram ali.

Uma vez que as vazões base são pouco significativas, especialmente em se tratando da

região a montante da bacia hidrográfica, estas exercem pouca ou nenhuma influência nos resultados das análises de cheias. Desta forma, neste trabalho não foi adotada condição de contorno para representa-las, ou seja, para as simulações foi considerada vazão inicial nula para os rios e cursos d'água. Já para a maré, foi adotada a mesma condição de contorno adotada no modelo original, ou seja, a Tábua de Maré da DHN da Marinha do Brasil na data do evento selecionado para a calibração do modelo (24 de março) para analisar o efeito do remanso.

Como não foram encontradas informações suficientes para estimativa da lâmina real na região montante para o evento escolhido de março de 2016, comparou-se os resultados da calibração com as áreas de risco indicadas no PMRRSG. O PMRRSG informa que as regiões mapeadas apresentam inundações recorrentes com necessidade de remoção de pessoas de suas residências, o que presume a ocorrência de lâminas de inundação maiores que 0,30 m. No entanto, ao observar a Figura 58 e a Figura 59 nota-se que grande parte da região a montante recebeu uma precipitação inferior à do restante da bacia, como é o caso das áreas referentes aos postos pluviométricos de Arsenal, Badu e Maria Paula. Desta forma, entende-se como satisfatório o resultado da calibração com alagamentos de menor magnitude (entre 0,15 e 0,30 m) nas áreas indicadas pelo PMRRSG nestes locais. Portanto, os resultados apresentados na Figura 62 foram considerados coerentes com as áreas de risco mapeadas pelo PMRRSG.

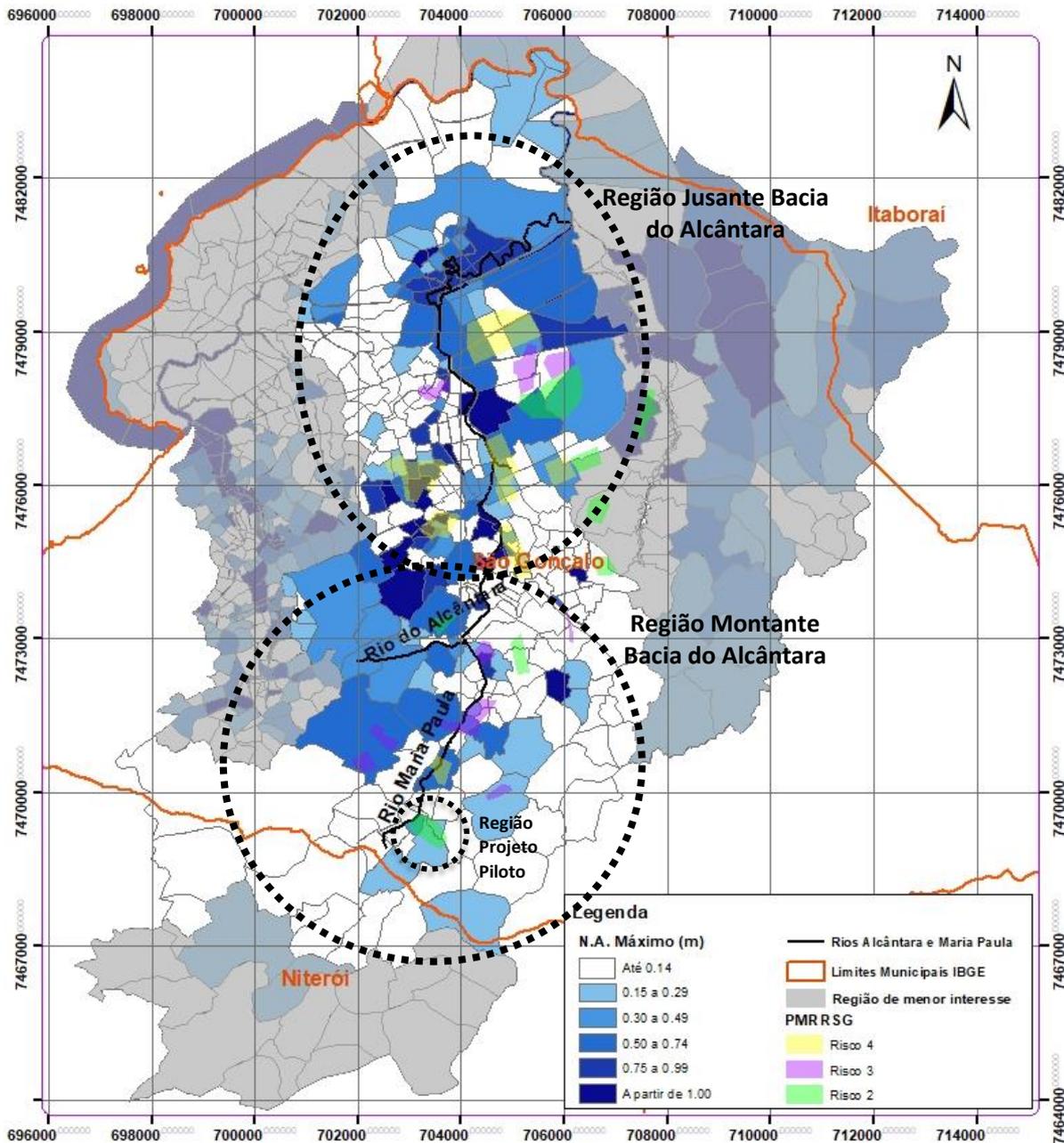


Figura 62 - Resultados da calibração para evento selecionado de março de 2016

### 8.3.3 Cenário Atual

Após a calibração do modelo matemático feita a partir da comparação com um evento conhecido, é possível simular a situação atual da bacia estudada para uma chuva de projeto determinada. Uma vez que se pretende comparar as propostas desta dissertação com as análises feitas por Pereira (2018), foi adotada a mesma chuva de projeto, que usou as seguintes premissas:

- Tempo de concentração de 350 min ( $t_c$ ) para a Bacia do Alcântara

- Posto de Niterói para obtenção da equação de chuva de projeto

O tempo de concentração da bacia estudada foi estimado pela Fórmula de Kirpich com auxílio ferramenta Sistema Hidro-Flu para apoio a Projetos de Drenagem, programa computacional desenvolvido na UFRJ, em 2005. Para essa estimativa foi necessário partir de variáveis que caracterizam a bacia, que foram obtidas com o auxílio do software ArcGis.

A chuva registrada no Posto de Niterói, na bacia do Imboçu, não é a representação ideal da chuva que ocorre nas bacias dos rios Alcântara, Guaxindiba e Goianã. No entanto, os postos pluviométricos de São Gonçalo são mais novos que os de Niterói e, por isso, não possuem ainda dados históricos suficientes para determinação de uma equação ajustada. Uma vez que não existe uma equação ajustada para o Município de São Gonçalo, a equação de um posto de Niterói é adotada por Pereira (2018) e também nesta dissertação a fim de tornar possível a simulação.

O Engenheiro Otto Pfafstetter, no estudo “Chuvas Intensas no Brasil” (1957), ajustou, para 98 estações pluviográficas e pluviométricas pertencentes à rede do antigo Departamento Nacional de Meteorologia (DNMET), equações de chuvas intensas para durações variando de 5 minutos a 48 horas. Essas equações possuem a seguinte expressão geral (FUNDAÇÃO COPPETEC, 2014b) da Equação (1):

$$P = \left[ T^{\left( \alpha + \frac{\beta}{T^\gamma} \right)} \right] \times [a \times t + b \times \log(1 + c \times t)] \quad \text{Eq. (1)}$$

Sendo:

- P = precipitação máxima (mm);
- T = tempo de recorrência (TR), em anos;
- T = duração (h);
- $\alpha$  e  $\beta$  – valores que dependem da duração da precipitação;
- a, b, c e  $\gamma$  – valores constantes para cada posto.

Para o posto de Niterói foram ajustados os parâmetros apontados na Tabela 17. O parâmetro  $\alpha$  apresenta valores conforme a relação indicada na Tabela 18.

Tabela 17 - Parâmetros ajustados para o posto Niterói

Posto	$\beta$				a	b	c	$\gamma$
	5 min	15 min	30 min	1h a 6 d				
Niterói	0,08	0,12	0,12	0,156	0,2	27	20	0,25

Tabela 18 - Tabela com parâmetros  $\alpha$ 

Duração	$\alpha$	Duração	$\alpha$
5 min	0,108	14h	0,174
15 min	0,122	24h	0,170
30 min	0,138	48h	0,166
1h	0,156	3d	0,160
2h	0,166	4d	0,156
4h	0,174	6d	0,152
8h	0,176		

Fonte: (FUNDAÇÃO COPPETEC - LABORATÓRIO DE HIDROLOGIA E ESTUDOS DE MEIO AMBIENTE, 2014b)

O tempo de recorrência (TR) adotado para as análises desta pesquisa foi de 25 anos, conforme recomendação do Ministério das Cidades para projetos de macrodrenagem. O Método do *Bureau of Reclamation*, aplicável a bacias com poucas medições hidrológicas, foi usado para distribuição da chuva obtida ao longo do tempo. Com o auxílio da ferramenta Sistema Hidro-Flu para apoio a Projetos de Drenagem foi obtido o hietograma de projeto da Figura 63, para uma distribuição de chuva em blocos de 10 minutos.

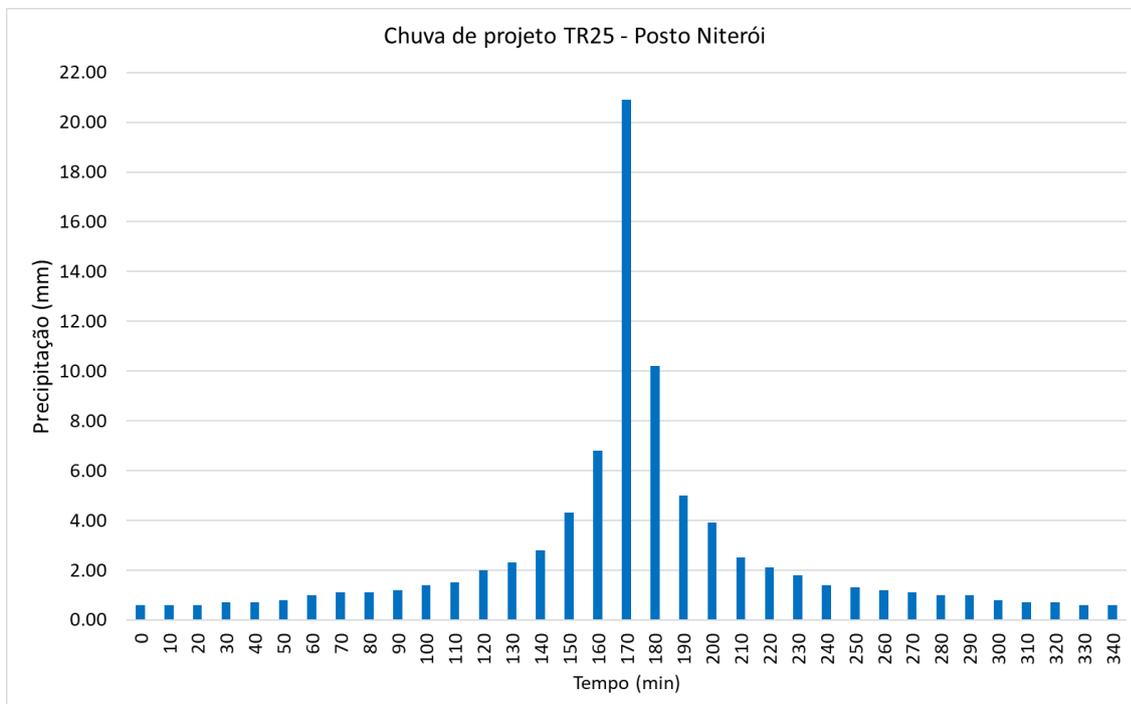


Figura 63 - Hietograma - chuva de projeto para tempo de recorrência de 25 anos

A Figura 64 apresenta as manchas de inundação da situação atual da bacia para a chuvas de projeto estabelecida neste item. Ao rodar o modelo calibrado com chuva de projeto TR25

distribuída uniformemente por toda a bacia, foi novamente confirmada a validade do modelo pois identificou-se maior consistência entre regiões mapeadas pelo PMRRSG e o modelo.

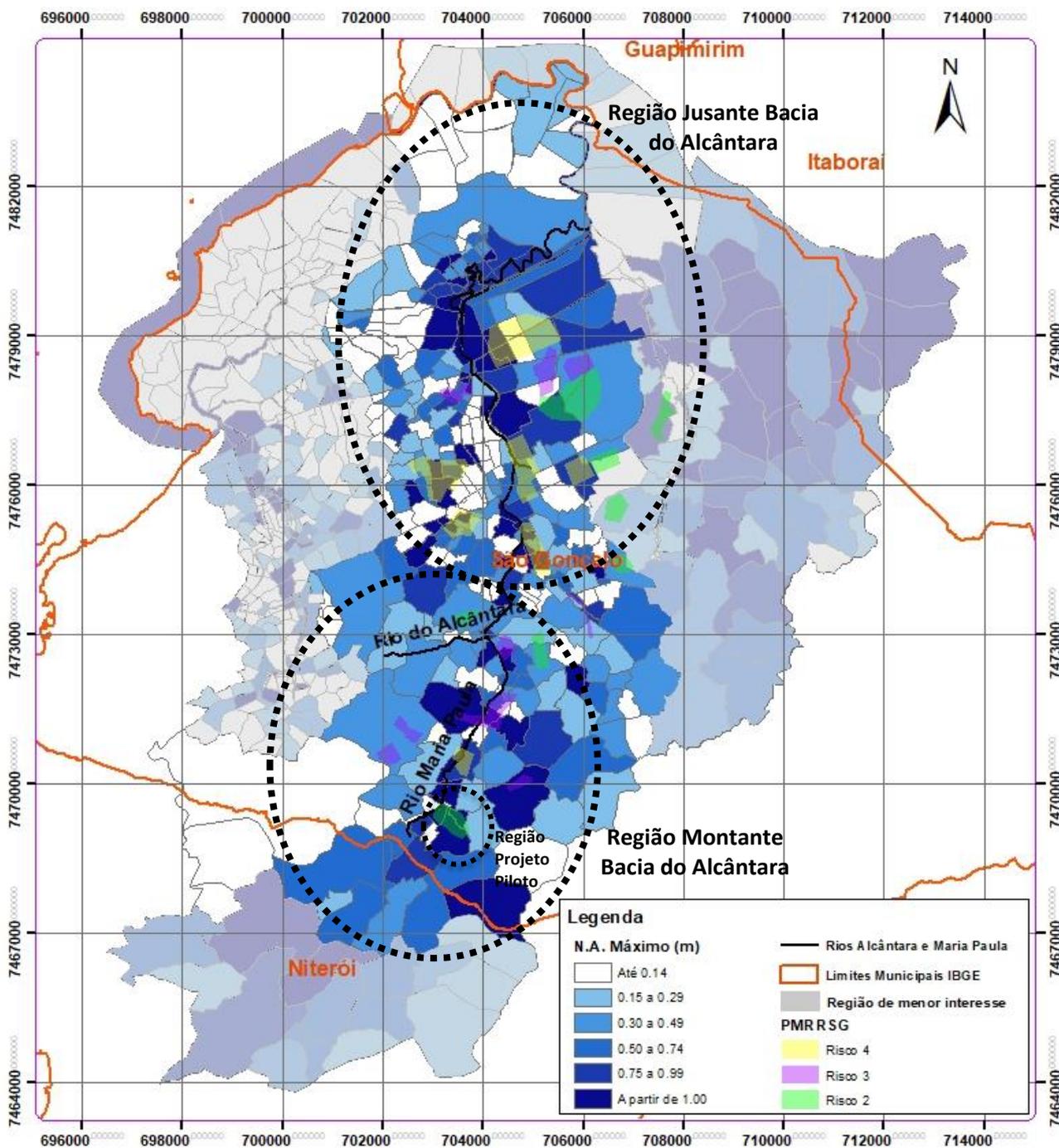


Figura 64 - Mancha de inundação da situação atual para TR 25 anos

#### 8.4 [Etapa 3.1] Concepção do Projeto Piloto

Para definição do projeto piloto foram analisadas 3 opções de projetos. O *design* das op-

ções e a escolha do projeto mais adequado para ser piloto nesta dissertação teve como premissas:

- Seleção de um local indicado pelo PMRRSG como área de risco de inundações;
- Seleção de local que represente a realidade de cidades em desenvolvimento, ou seja, com infraestrutura precária e crescimento urbano desordenado;
- Projeto que busque a maior adaptabilidade possível ao desenho urbano existente;
- Busca por solução que quebre o paradigma da gestão tradicional da água urbana e esteja mais alinhada com a filosofia do WSUD;
- Projeto alinhado com propostas e estudos existentes para o município:
  - [PMRRSG, 2008] Evitar remanejamento de moradias;
  - [PMSB, 2014] Ampliação de áreas verdes nos perímetros urbanizados;
  - [PMSB, 2014] Construção de microdrenagem nas áreas urbanizadas;
  - [PMSB, 2014/PDUI, 2017] Elaboração e execução de um Plano de Manutenção e Limpeza Periódica do Sistema de Drenagem;
  - [PDUI, 2017] Priorização de projetos multifuncionais;
  - [PDUI, 2017] Implantação escalonada de sistema de esgotamento sanitário;
  - [PDUI, 2017] Implantação do canal extravasor do Eixo Transversal Alcântara;
  - [PDUI, 2017] Utilização de espaços livres para mitigar o *deficit* dos volumes de armazenamento de águas pluviais
  - [PDUI, 2017] Criação de Zonas de Interesse Metropolitano associadas à reserva de espaços livres relevantes para o controle de inundações
  - [PEREIRA, 2018] Criação de reservatórios em espaços livres na região mais a montante do Rio Alcântara.

O local selecionado para estudo de projeto piloto foi a região do Bairro Maria Paula, classificado pelo PMRRSG como área de Risco 2, ou seja, em que ocorreu ao menos 1 evento em 5 anos que implicou na remoção dos moradores.

Como observado na Figura 65, na Figura 66 e na Figura 67, a área em que há registro de alagamentos é altamente urbanizada e as margens do canal totalmente ocupadas. A partir de imagens aéreas, pode-se observar o sufocamento do curso d'água que cruza a região urbanizada. O canal tem em torno de 1,50 m de largura e ainda conta com edificações sobre sua calha.



**Figura 65 – Células do modelo matemático correspondentes à sub bacia selecionada para Estudo de Caso – São Gonçalo/RJ**

Fonte: Imagem Google Earth (2018)



**Figura 66 - Foto aérea de região selecionada para Estudo de Caso – São Gonçalo/RJ**

Fonte: Imagem Google Earth (2018)



**Figura 67 - Zoom em trecho em que canal cruza região densamente urbanizada – São Gonçalo/RJ**

Fonte: Imagem Google Earth (2018)

A situação da infraestrutura na região selecionada para proposição de projetos reflete bem a da Bacia do Alcântara, de São Gonçalo e das cidades em desenvolvimento de maneira geral. A Figura 52 indica que o índice de domicílios atendidos por sistema de drenagem (bueiro/boca de lobo) na região urbanizada em estudo varia de 0% a 25%.

Quanto ao atendimento do serviço de esgotamento sanitário, ao analisar os setores censitários do IBGE (2010), na região selecionada, constatou-se que 43,6% dos domicílios encontram esgoto a céu aberto e que 10,9% não possuem banheiro, o que leva a inferir que o canal se encontra extremamente poluído.

Na análise do cenário atual do modelo calibrado, cujos resultados foram apresentados na Figura 64, conclui-se que os alagamentos recorrentes da região ocorrem por dois motivos:

- **Transbordamento do canal**

A simulação do cenário atual, com chuva de projeto de TR 25 anos, indicou o extravasamento do canal, uma vez que o nível d'água atingiu cota superior às cotas das margens. Como a região a montante do trecho é pouco urbanizada, conclui-se que ela pouco contribui para alterações do hidrograma natural. Ou seja, as residências na área de risco são afetadas por estarem situadas na planície de alagamento natural do rio e o canal se encontra subdimensionado para transportar o volume de água produzido em períodos de chuva.

Para solucionar o transbordamento do canal, usando a premissa de evitar remanejamento de moradias, é necessário aumentar a capacidade de escoamento do trecho podendo ser a partir de melhorias no revestimento do canal, manutenção e limpeza e/ou aumento de sua largura e profundidade. Estas modificações são representadas no modelo matemático a partir da alteração do coeficiente de Manning, da cota de fundo e da largura do canal. Entretanto, estas atuações mantêm o escoamento na calha local, mas transferem maiores vazões a jusante. Para evitar a transferência de vazões, reservatórios de detenção podem ser previstos como solução.

- **Dificuldade de escoamento das águas pluviais**

A precariedade do sistema de drenagem da região somada à barreira formada pelas residências e muros que ocupam as margens do rio dificultam o escoamento das águas pluviais para calha do curso d'água. Ou seja, mesmo que não houvesse transbordamento do canal, haveriam casas afetadas pelo acúmulo de escoamento superficial na região mais baixa da sub-bacia. Isso pode ser constatado pois numa análise da linha do tempo da simulação da chuva de projeto no MODCEL, passado o evento de chuva, parte da água se mantinha “represada” nas células de margem.

Pode-se solucionar a dificuldade de escoamento com o remanejamento das moradias construídas sobre sua calha, criação de faixas de servidão para escoamento superficial de água e/ou investimento em sistema de micro drenagem. Uma vez que a micro drenagem não é representada no modelo matemático, todas essas possibilidades de intervenções são representadas nas de modificações na largura da margem.

Para definição do Projeto Piloto foram simuladas no MODCEL 41 opções de projeto. No entanto apenas 3 projetos atingiram o resultado de redução da lâmina d'água na região de risco para um nível aceitável. Os 3 projetos que cumpriram o objetivo de redução dos alagamentos na região urbanizada são constituídos das intervenções:

- **Projeto 1 (C):**
  - (C) Aumento da seção e da capacidade de escoamento do canal;
- **Projeto 2 (C'+BD1+BD2):**

- (C') Melhoria menos agressiva do canal se comparada a proposta do Projeto 1
- (BD1+BD2) 2 bacias de detenção *in line* a montante do trecho canalizado;
- **Projeto 3 (C'+BD1+BD2+BD3):** Melhoria do canal combinada com 2 bacias de detenção
  - (C') Melhoria menos agressiva do canal se comparada a proposta do Projeto 1
  - (BD1+BD2) 2 bacias de detenção *in line* a montante do trecho canalizado;
  - (BD3) 1 bacia de detenção *off line* a jusante com melhoria de qualidade da água.

A Figura 68 indica a localização proposta para as 3 bacias de detenção e nos subcapítulos 8.4.1 a 8.4.3 cada uma das intervenções (C, C', BD1, BD2 e BD3) que compõem os projetos propostos são detalhadas.

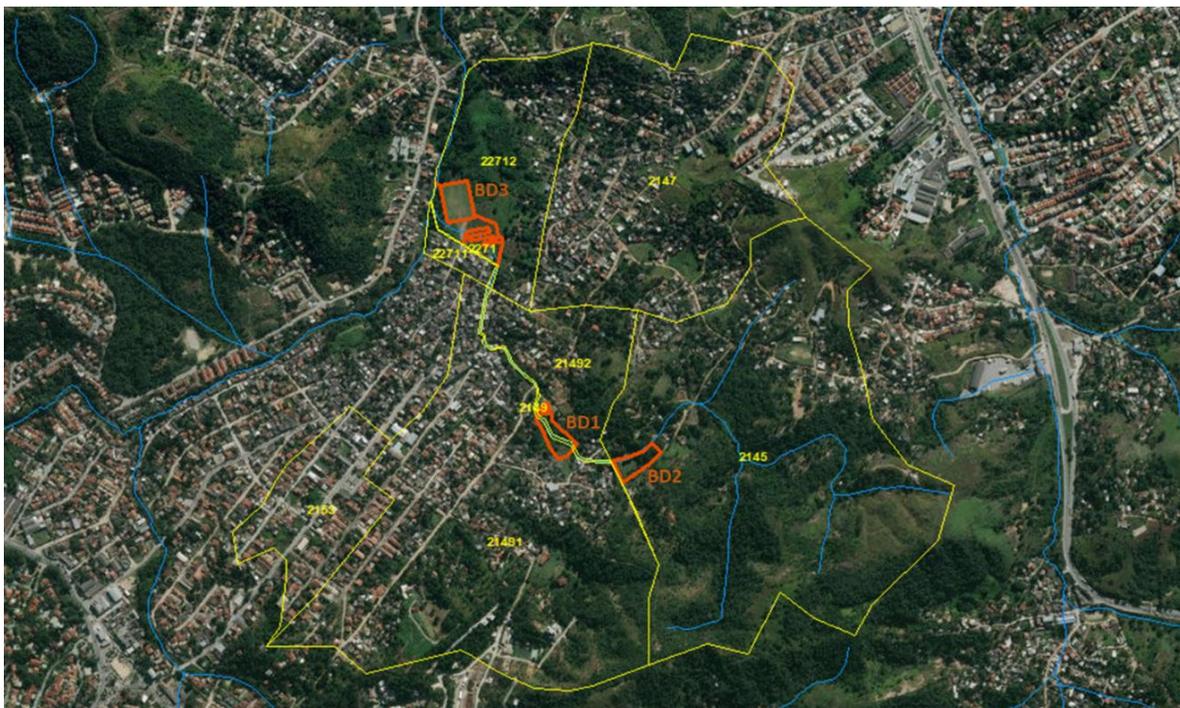


Figura 68 - Localização de bacias de detenção propostas na região montante da Bacia do Alcântara/RJ

#### 8.4.1 Melhoria do Canal (C e C')

A Figura 19 apresenta as intervenções propostas para o canal no trecho urbanizado em cada um dos três projetos.

Tabela 19 - Melhoria do Canal em trecho urbanizado na região de Estudo de Caso – São Gonçalo/RJ

		Proposições de Projeto			
		Situação Atual	Projeto 1 (C)	Projeto 2 (C')	Projeto 3 (C')
Canal Célula 2149	Cota de fundo (m)	23.20	21.70	21.70	21.70
	Cota margem (m)	23.60	23.60	23.60	23.60
	<b>Profundidade (m)</b>	<b>0.40</b>	<b>1.90</b>	<b>1.90</b>	<b>1.90</b>
	<b>Largura canal (m)</b>	<b>1.50</b>	<b>3.50</b>	<b>2.00</b>	<b>2.00</b>
	Largura margem direita (m)	100	250	250	250
	Largura margem esquerda (m)	80	350	250	250
	<b>Manning (m)</b>	<b>0.050</b>	<b>0.014*</b>	<b>0.014*</b>	<b>0.014*</b>

\*valor indicado para projetos de canais com revestimento de concreto em boas condições (Porto,2006)

No primeiro modelo de canal proposto (C) é necessário aumentar a largura do canal existente em 2,00 m (passando para uma largura total de 3,50m), o que implica em desapropriações em praticamente todo o trecho urbanizado. Recomenda-se que as desapropriações ocorram alternadamente nas margens direita e esquerda uma vez que o alargamento das margens em ambos os lados é necessário.

O segundo modelo de canal proposto (C') requer menos desapropriações uma vez que o canal precisa ser alargado apenas 25 cm em cada margem ou 50 cm em uma das margens. Isso é possível uma vez que parte do volume de água é acumulado nas bacias de detenção a montante. Aquelas desapropriações que forem inevitáveis devem permitir o alargamento das margens direita e esquerda do canal, visando quebrar as barreiras que impedem que as águas pluviais se direcionem para o canal. Caso seja constatada a possibilidade de implementar as melhorias no canal sem desapropriações, deve-se garantir o melhor funcionamento do sistema de microdrenagem afim de compensar o não alargamento das margens. A dificuldade de acesso ao canal, para manutenção, porém, pode ser um fator adicional a favor das remoções (ao menos em uma das margens).

Embora a concretagem de canais não esteja alinhada com a filosofia proposta pelo WSUD, as melhorias das condições de escoamento são inevitáveis ao usar as premissas do PMRRSG de evitar desapropriações. Optou-se por essa solução associada a um plano de manutenção e limpeza - proposto pelo PMSB e pelo PDUI - tanto para (C) quanto para (C'). Essas medidas foram adotadas a fim de se obter um menor coeficiente de Manning e, por consequência, evitar que a seção do canal tivesse que ser aumentada ainda mais, implicando em mais desapropriações. O cenário mais conservador com Manning 0,020 também foi analisado para os projetos e, para atingir os mesmos resultados seriam necessárias larguras de 4,50m para (C)

e de 3,50 para (C'), o que descaracterizaria muito o desenho urbano existente, não cumprindo as premissas propostas nesta dissertação.

#### 8.4.2 Bacias de Detenção *in line* a Montante (BD1+BD2)

Os reservatórios de detenção *in line* propostos para o bairro Maria Paula em São Gonçalo/RJ são projetados para reter as águas superficiais a montante do canal apenas durante e após as chuvas. Nos demais dias é previsto o funcionamento como área de lazer para a população, caracterizando-se desta forma como um parque multifuncional.

As bacias de detenção são projetadas onde hoje há grande área verde disponível permitindo a reserva de espaço para a água e garantindo que suas margens não sejam ocupadas de forma irregular, o que colocaria mais pessoas sob condições de vulnerabilidade.

Como pode-se observar na Figura 69, os locais selecionados para as bacias de detenção BD1 e BD2 permitem que o parque faça a conexão entre vias de circulação existentes. Trata-se de um importante incentivo para que os moradores de seu entorno o utilize em seus deslocamentos diários, contribuindo para que este espaço seja ocupado e se torne uma região segura para outros moradores desfrutarem do lazer e contato com a natureza.



Figura 69 - Bacias de Detenção *in line* a Montante – São Gonçalo/RJ

A Figura 70 apresenta as cotas da região estudada. Nota-se que as condições topográficas

são favoráveis à implantação das bacias de retenção propostas, cujas características são apresentadas na Tabela 20. É necessária pouca movimentação de terra uma vez que as cotas de fundo dos reservatórios são menos de 1 m inferiores às atuais cotas de terreno. Além disso, as cotas dos vertedores propostos tem valores muito próximos das cotas dos locais onde são as margens da bacia, o que indica pouca necessidade de aterro.

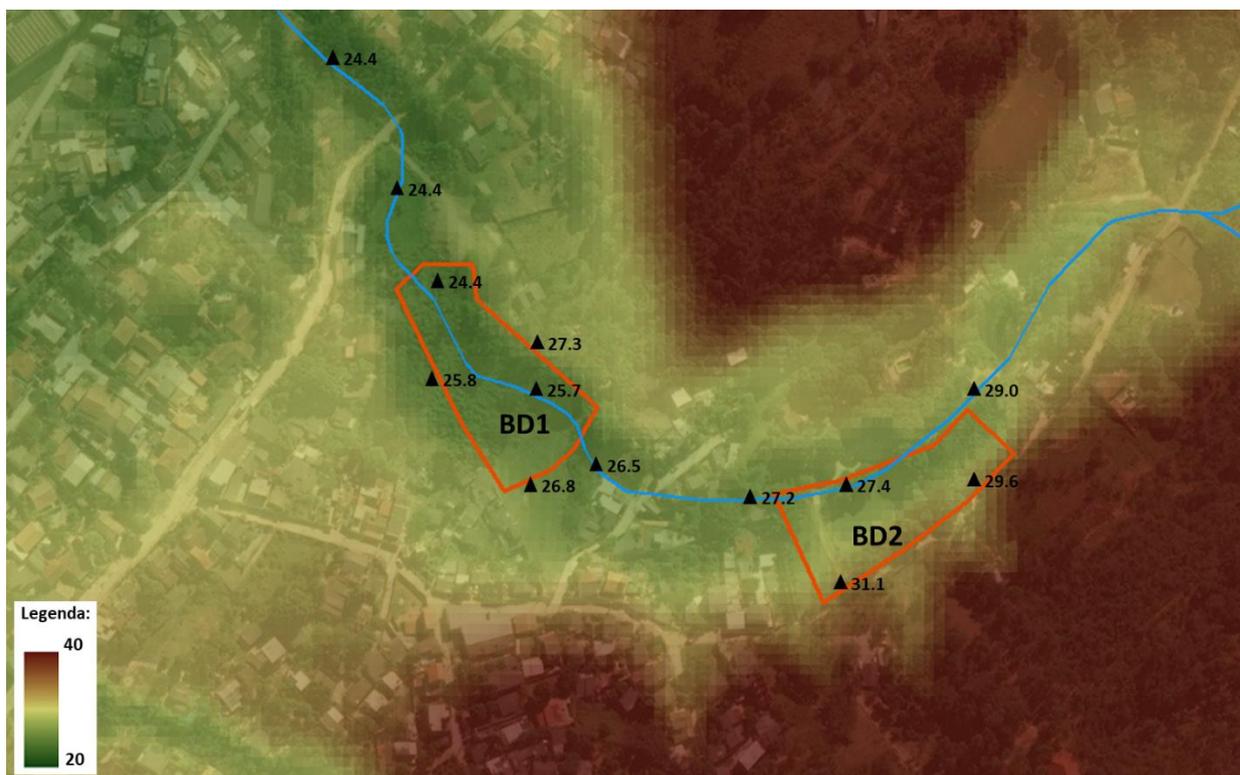


Figura 70 - Topografia dos locais selecionados para implantação das bacias de retenção BD1 e BD2

Tabela 20 - Características BD1 e BD2

Características Área Intervenção						Características Reservatório Projetado					Orifício de Saída		
Célula Reserv	Tipo de Reservatório	Área de Contribuição (m <sup>2</sup> )	Runoff	Cota Terreno (m)	Área Disponível (m <sup>2</sup> )	Área Reservatório (m <sup>2</sup> )	Cota Fundo (m)	Cota Vertedor (m)	Profundidade (m)	Volume Disponível (m <sup>3</sup> )	Cota (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Coef de Orifício
2 (BD1)	Detenção <i>in line</i>	1 637 060.96	0.60	24.40	11 535.00	4 900.00	23.60	26.00	2.40	11 760.00	23.60	0.40	0.60
8 (BD2)	Detenção <i>in line</i>			27.20									

Outro aspecto positivo do projeto é que a lâmina d'água do reservatório em sua capacidade máxima não superará 2,50 m o que contribui para maior segurança dos usuários do parque. O fundo do reservatório e os taludes serão revestidos de grama, permitindo a infiltração de pequenas lâminas de água. Recomenda-se que os taludes da bacia sejam cortados em degraus e os equipamentos de lazer menos resistentes ao contato com a água sejam instalados

nos níveis superiores.

#### 8.4.3 Bacia de detenção *off line* a jusante (BD3)

À jusante do trecho urbanizado, o curso d'água também se encontra canalizado. O canal possui intervenções para que o volume de chuva excedente seja encaminhado para o reservatório *off line* proposto.

Tendo em vista que o curso d'água recebe altas concentrações de poluição do trecho urbanizado a montante, propõe-se também uma solução para melhoria da qualidade da água. Diminuindo a carga de poluentes da água armazenada na bacia de detenção, pretende-se evitar a degradação do local e o mau cheiro, criando uma relação positiva entre os usuários do local e o ciclo hidrológico. Além disso, evita-se que a poluição danifique os equipamentos de lazer e deixa de transferir para o Rio Maria Paula parte dos impactos gerados em seu afluente, sendo assim uma solução mais sustentável.

Desta forma, o projeto da BD3 apresenta mais funcionalidades que aqueles das BD1 e BD2. Seu desenho esquemático pode ser visto na Figura 71. A principal referência usada para o projeto 3 é o protótipo apresentado anteriormente na Figura 9 e na Figura 10.



Figura 71 - Bacia de Detenção (BD3) *off line* a jusante do trecho canalizado, na região escolhida para Estudo de Caso

A saída para o Rio Maria Paula é restringida por um orifício. Na ocorrência de chuvas que

elevem a lâmina d'água no canal acima de 0,60 m, o volume excedente é primeiramente encaminhado para um reservatório de 1ª chuva e, após o atingimento de sua capacidade de armazenamento, para a bacia de detenção *off line* BD3.

O reservatório de 1ª chuva tem tanto a função de interceptor de efluentes domésticos da rede de drenagem em tempo seco, como de armazenamento da água com maior concentração de lixo e poluição difusa nos períodos chuvosos. Este reservatório deve encaminhar os efluentes para um tratamento ecológico construído com mesma tecnologia implementada no Quarteirão Brasileiro em Petrópolis conforme apresentado no capítulo 6.3. Ao armazenar também parte do lixo carregado na primeira lavagem das ruas, este reservatório visa concentrar a atividade de limpeza e manutenção, bem como evitar que o lixo chegue à BD3 que possui também fins recreativos.

A interceptação é proposta como forma de mitigar a poluição gerada na sub-bacia na primeira etapa das ações escalonadas propostas pelo PDUI (ver

Tabela 14). No entanto, pode-se também optar por uma separação absoluta dos efluentes através de um sistema condominial de captação de esgoto, encaminhando-o para o reservatório de primeira chuva ou diretamente ao sistema de saneamento ecológico, produzindo uma alternativa de tratamento de esgotos descentralizada. Por ter um impacto quantitativo menos significativo na macrodrenagem, o dimensionamento do reservatório de 1ª chuva não é foco principal desta pesquisa.

Para construção da BD3, conforme características apresentadas na Tabela 21, é necessária maior movimentação de terra uma vez que a cota de fundo do reservatório será 3,70 m inferior à atual cota do terreno. A Figura 72 apresenta as cotas topográficas atuais da região de projeto.

Nos períodos secos a BD3 pode ser usada como campo de futebol, mantendo a funcionalidade social do local. Os taludes que formam as laterais da bacia devem ser construídos no formato de arquibancadas, agregando valor recreativo e facilitando a evacuação de pessoas no momento de cheias. Deve também ser construída uma rampa de acesso para caminhões com intuito de facilitar a limpeza e manutenção do campo após eventos de chuva e a instalação de uma sirene de alerta para prevenção dos riscos no local.

A saída da BD3, diferente das demais bacias propostas neste trabalho, tem uma comporta

do tipo *flap* permitindo o fluxo de água em um único sentido, impedindo a entrada de água do Rio Maria Paula para o campo de futebol. A saída do reservatório deve estar conectada a um trecho do rio com cota inferior à do reservatório.

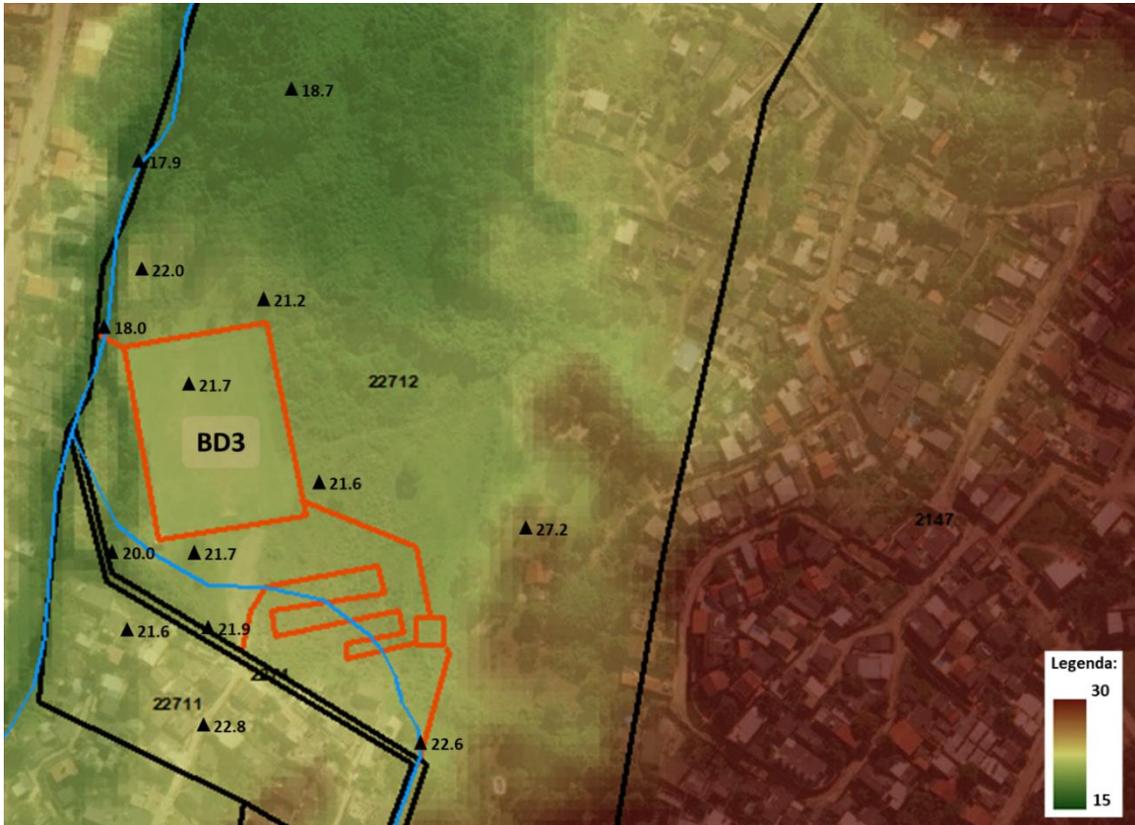


Figura 72 - Topografia do local escolhido para BD3

Tabela 21 - Características BD3

Características Área Intervenção						Características Reservatório Projetado					Orifício de Saída		
Célula Reserv	Tipo de Reservatório	Área de Contribuição (m <sup>2</sup> )	Runoff	Cota Terreno (m)	Área Disponível (m <sup>2</sup> )	Área Reservatório (m <sup>2</sup> )	Cota Fundo (m)	Cota Vertedor (m)	Profundidade (m)	Volume Disponível (m <sup>3</sup> )	Cota (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Coef de Orifício
7 (BD3)	Detenção <i>off line</i>	1 637 060.96	0.60	21.70	30 868.00	8 100.00	18.00	21.80	3.80	30 780.00	18.00	1.00	0.60

## 8.5 [Etapa 3.1] Análise dos Resultados e Definição de Projeto Piloto

Os 3 projetos sugeridos foram simulados no MODCEL e todos solucionaram o problema de extravasamento do canal no trecho urbanizado como pode ser visto na Tabela 22. Ainda assim, para a chuva de projeto TR25, a célula da margem direita do canal apresentou uma lâmina de 5 cm e a da margem esquerda de 15 cm, devido à dificuldade de escoamento para o canal. Estas lâminas foram consideradas aceitáveis por serem inferiores a altura estimada

da calçada em relação a rua (15 cm). As laminas foram aceitas em detrimento de evitar a remoção de moradias existentes nas margens do canal e também por existir a alternativa de solucioná-la em função de melhoria do sistema de micro drenagem local, o qual não é simulado neste modelo matemático e trata-se de uma medida já prevista no PMSB.

A Figura 73 apresenta a localização de dois pontos de observação usados para elaboração dos hidrogramas da Figura 74 e da Figura 75. O primeiro destes dois hidrogramas compara, para ponto do canal imediatamente a jusante do trecho urbanizado, os hidrogramas resultantes das simulações feitas com chuva de TR 25. Pode-se observar que para os 3 projetos propostos houve um aumento do pico do hidrograma, resultado da melhoria do canal e melhor direcionamento do escoamento superficial para o canal, medidas estas que permitiram a diminuição da lâmina máxima nas margens urbanizadas. Após diversas simulações até a validação dos 3 projetos, concluiu-se que a implementação de reservatórios a montante do canal não é suficiente para solucionar as inundações. As condições de escoamento do canal e o direcionamento do escoamento das margens urbanizadas precisaram ser melhorados através de soluções tradicionais de drenagem.

Ao analisar a Figura 74 pode-se também observar que a instalação das BD1 e BD2 a montante do trecho urbanizado diminuem o pico de vazão no canal para os Projetos 2 e 3 se comparados com o Projeto 1. No entanto, essa redução é pouco significativa.

A Figura 75 considera toda a contribuição da sub-bacia estudada para o Rio Maria Paula a fim de avaliar o impacto das propostas na Bacia do Alcântara. Ou seja, considera-se a contribuição do canal para Rio Maria Paula e, no caso do Projeto 3, soma-se a esta vazão a vazão efluente da BD3. O Projeto 3 apresenta o hidrograma com menor pico de vazão, sendo inclusive inferior ao cenário atual, o que significa ser o que menos impacta o aumento do pico do hidrograma do Rio Maria Paula e, por sua vez, do Rio Alcântara. Os Projetos 1 e 2, solucionam o problema da área de risco, no entanto, transferem o volume para sua jusante e podem impactar outras áreas de risco tornando-as ainda mais vulneráveis.

Desta forma, o Projeto 3 é o único que atende às premissas da drenagem urbana sustentável (discutido no capítulo 3.1), uma vez que as inundações não são transferidas no espaço ou no tempo, elas são amortecidas na própria sub-bacia. Além disso, atende aos objetivos comuns do SUDS e do WSUD:

- Integração do tratamento das águas pluviais na paisagem a partir da incorporação de

corredores de uso múltiplo que maximizam a amenidade visual e recreativa dos equipamentos urbanos;

- Proteção da qualidade da água drenada dos efeitos do desenvolvimento urbano;
- Redução do volume de escoamento superficial e dos picos de cheia dos no meio urbano, empregando medidas de retenção local e reduzindo áreas impermeáveis.

Tabela 22 - Resultados para TR25 de projetos propostos da sub-bacia de estudo – São Gonçalo - RJ

		Resultados para TR25			
		Situação Atual	Projeto 1	Projeto 2	Projeto 3
Canal Célula 2149	Cota de fundo (m)	23.20	21.70	21.70	21.70
	Cota margem (m)	23.60	23.60	23.60	23.60
	Profundidade (m)	0.40	1.90	1.90	1.90
	Largura canal (m)	1.50	3.50	2.00	2.00
	Largura da margem (m)	180	600	500	500
	Manning (m)	0.050	0.014*	0.014*	0.014*
	<b>NA máx (m)</b>	<b>24.88</b>	<b>22.97</b>	<b>23.53</b>	<b>23.60</b>
	<b>Lâmina máx (m)</b>	<b>1.68</b>	<b>1.27</b>	<b>1.83</b>	<b>1.90</b>
	<b>Extravasamento do rio?</b>	<b>sim</b>	<b>não</b>	<b>não</b>	<b>não</b>
Margem Direita Célula 21492	Cota terreno (m)	23.60	23.60	23.60	23.60
	NA máx (m)	24.88	23.69	23.65	23.65
	<b>Lâmina máx (m)</b>	<b>1.28</b>	<b>0.09</b>	<b>0.05</b>	<b>0.05</b>
Margem Esquerda Célula 21491	Cota terreno (m)	23.60	23.60	23.60	23.60
	NA máx (m)	24.88	23.74	23.75	23.75
	<b>Lâmina máx (m)</b>	<b>1.28</b>	<b>0.14</b>	<b>0.15</b>	<b>0.15</b>
Resultado MODCEL	<b>Legenda</b>				
	<p>— Hidrografia INEA</p> <p>□ Células Projeto Piloto</p> <p><b>Lâmina Máx</b></p> <p>até 0.15</p> <p>0.16 - 0.30</p> <p>0.31 - 0.50</p> <p>0.51 - 0.75</p> <p>0.76 - 1.00</p> <p>Maior que 1.00</p>				

\*valor indicado para projetos de canais com revestimento de concreto (Porto,2006)

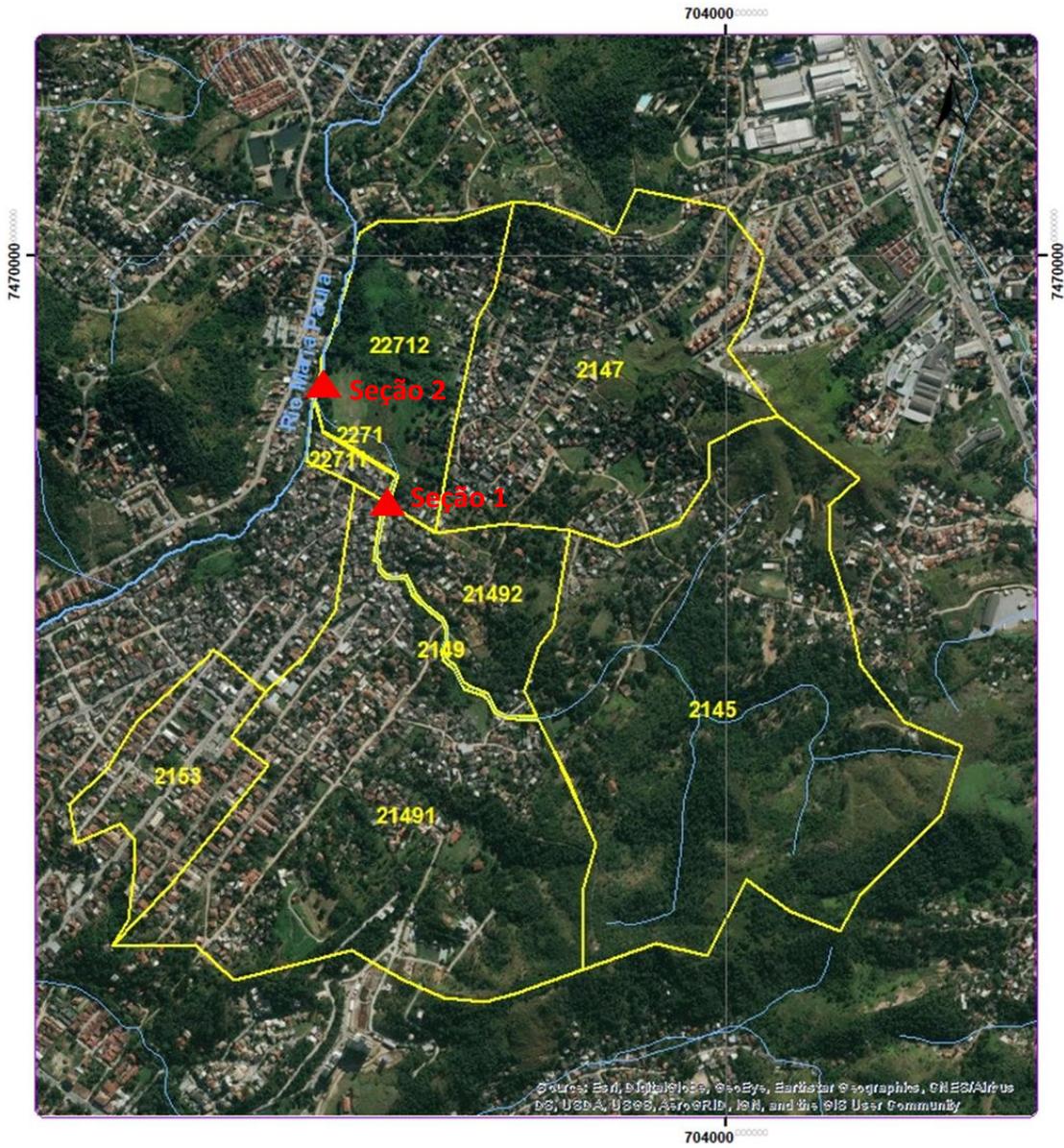


Figura 73 - Localização dos pontos de análise dos hidrogramas apresentados na Figura 74 e na Figura 75

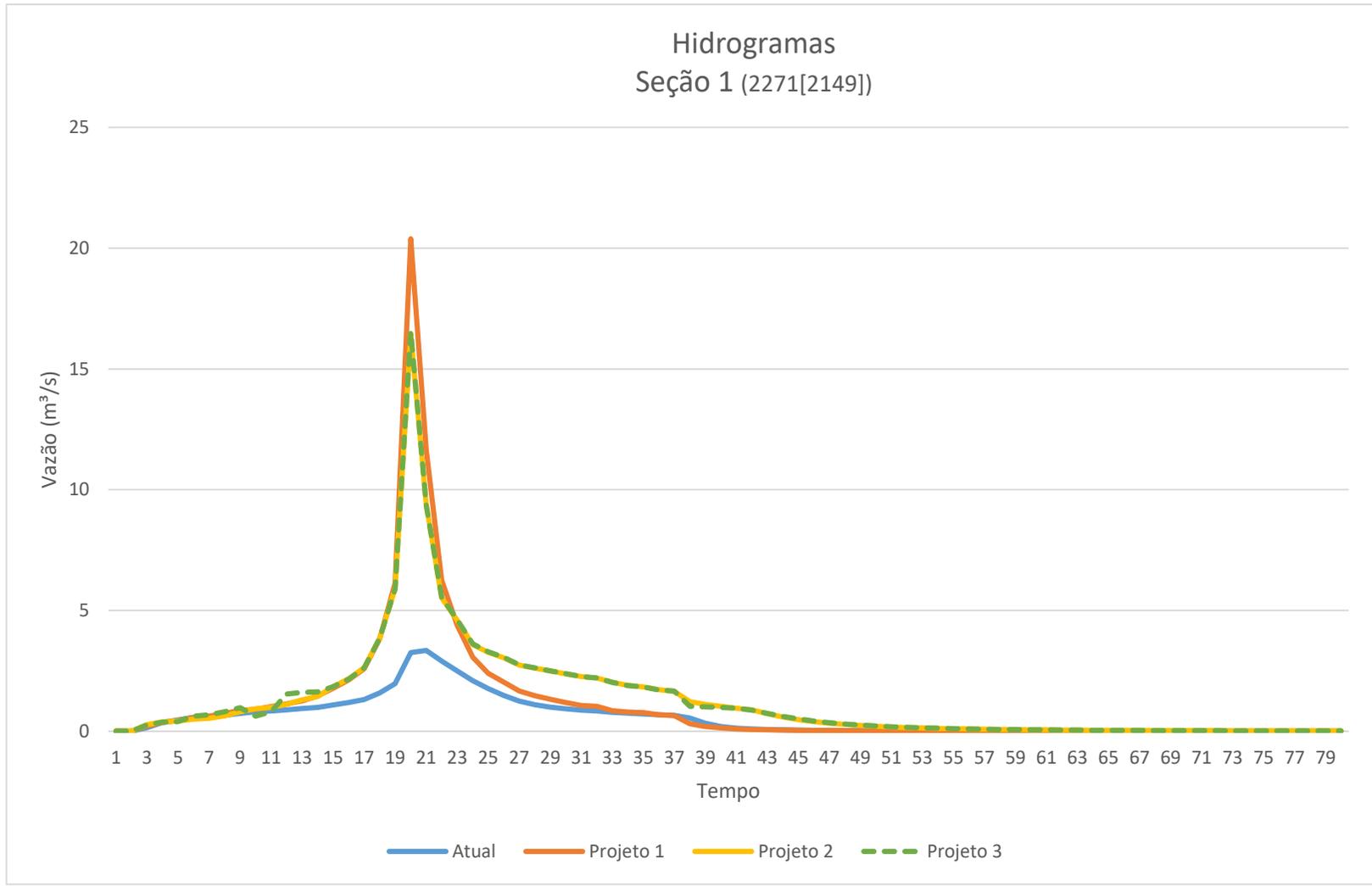


Figura 74 - Hidrograma do canal (2271) em ponto a jusante do trecho urbanizado (2149) para TR25

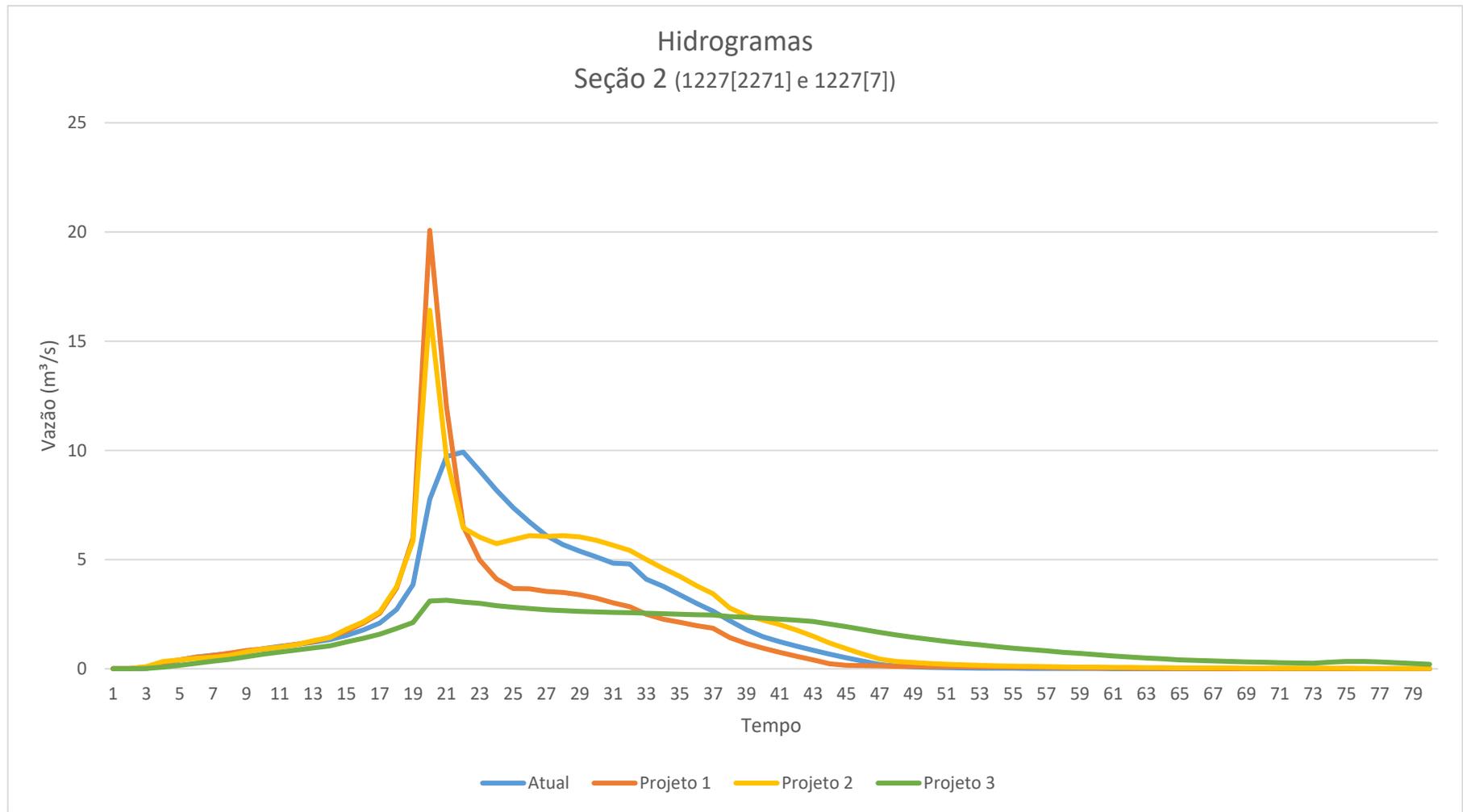


Figura 75 - Hidrograma de deságue do canal (2271) - e da BD3 (7) - no Rio Maria Paula (1227) para TR25

O Projeto 3 também é o único dentre os propostos que possibilita o atendimento a outro objetivo desta pesquisa, discutido no capítulo 4, que é a melhoria da qualidade da água. Como é indicado na Figura 76, ele se enquadra na Fase 3 de evolução das obras de retenção, enquanto o Projeto 2 encontra-se na mesma fase que a maioria das bacias de retenção no Brasil. Desta forma, ele é o que apresenta resultados mais adequados às premissas adotadas e, portanto, foi definido como Projeto Piloto.

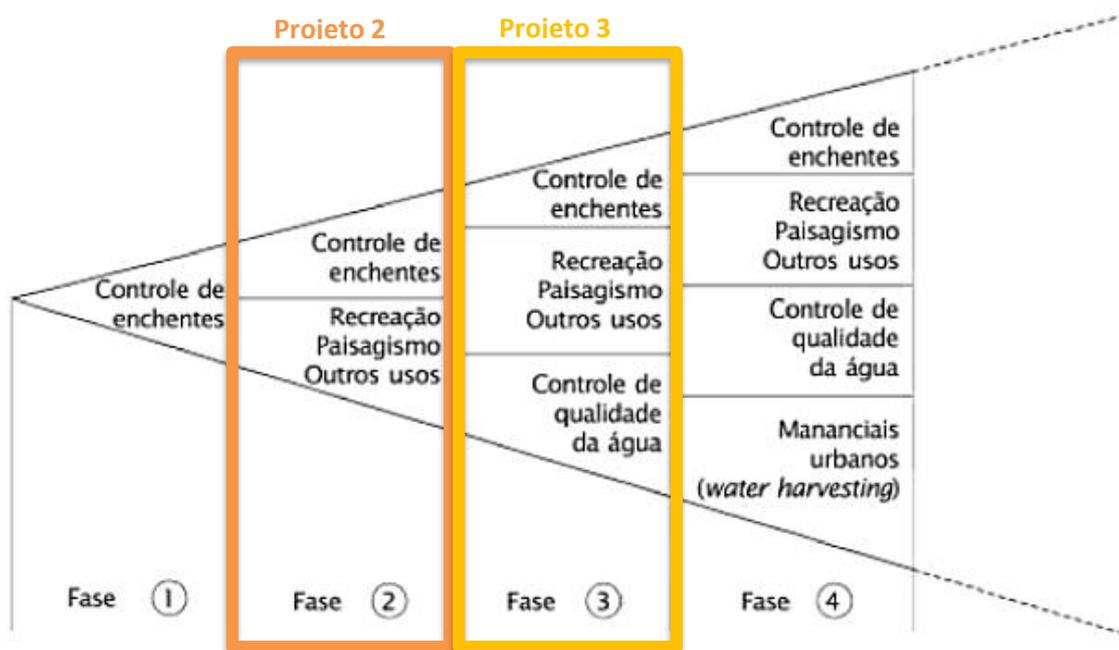


Figura 76 – Enquadramento de projetos propostos na evolução das bacias de retenção ao longo do tempo  
Fonte: Canholi (2014), adaptado pela autora

## 8.6 [Etapa 3.2] Replicação de Projeto Piloto

O impacto do Projeto Piloto na vazão do Rio Maria Paula e do Rio Alcântara é pouco significativa se analisada individualmente devido ao grande volume de água transportado. Para uma análise do impacto de uma mudança de paradigmas na gestão da água urbana, foi simulada a replicação do Projeto 3 para outros locais, completando, desta forma a [Etapa 3] do Estudo de Caso, conforme apresentado na **Erro! Fonte de referência não encontrada..** Foram inseridos mais 14 reservatórios na região montante da Bacia do Alcântara, resultando em uma capacidade total de armazenamento de 1.103.690 m<sup>3</sup>, como pode ser visto na Tabela 23.

Dos 14 reservatórios adicionais, 12 são do tipo *in line*, os quais atendem ao mesmo objetivo do Projeto Piloto. Ou seja, o amortecimento a jusante de chuva de projeto de TR 25 anos produzida em cada sub-bacia de contribuição. A definição das bacias de detenção *in line* seguiu as etapas:

- Identificação de áreas verdes disponíveis a montante das áreas de risco do PMRRSG, sendo estas em fundo de vale ou em sua proximidade;
- Análise de condições topográficas para verificar se são favoráveis à construção de reservatórios;
- Dimensionamento de áreas de contribuição dos locais escolhidos para as bacias;
- Determinação do *runoff* médio de cada sub-bacia de contribuição;
- Usando o Projeto Piloto como referência, pré-dimensionamento do volume necessário para os reservatórios *in line* amortecerem a contribuição;
- Determinação da profundidade necessária para que reservatórios *in line* comportem o volume pré-dimensionado, considerando limitação de área disponível;
- Representação das bacias pré-dimensionadas no modelo matemático e análise dos resultados;
- Ajustes necessários na bacia de detenção para melhor aproveitamento de espaço e/ou atingimento de resultados satisfatórios.

Para os 2 reservatórios propostos do tipo *off line* foi seguida uma metodologia um pouco diferente, não passando pelas etapas de pré-dimensionamento. Ambos foram criados com objetivo de amortecimento da vazão extravasada do Rio Maria Paula, organizando parte do volume excedente em um parque fluvial, semelhante ao que é proposto pelo PDUI para o Rio Alcântara, conforme apresentado na Tabela 13.

A Figura 77 indica os locais das bacias de detenção propostas na replicação do Projeto Piloto. Nota-se que todas estão na região montante da Bacia do Alcântara, no município de São Gonçalo e em Niterói. Entende-se que, uma mudança de paradigmas na gestão e governança da água urbana implica em ter a bacia hidrográfica como um dos fatores centrais no desenvolvimento de soluções de projetos urbanos, não se limitando a divisões geopolíticas. Essa visão é compartilhada pelo PDUI que estabelece, conforme foi apresentado na Tabela 12, entre suas principais diretrizes, que a drenagem deve ser considerada como eixo estruturante do espaço para planejamento e que devem ser criadas de Zonas de Interesse Metropolitano

associadas à reserva de espaços livre relevantes para o controle de inundações.

Comparando-se os resultados do cenário atual com o cenário de replicação do Projeto Piloto, observa-se que diversas células tiveram redução de sua lâmina máxima. A Figura 78 apresenta lado a lado os resultados das simulações para o Cenário Atual, ou seja, caso nenhuma intervenção seja feita e para o Cenário de replicação do Modelo. Já a Figura 79 destaca as variações de lâmina máxima (delta) entre os dois cenários usando escala de cores e, a partir dela, nota-se que diversas células a jusante dos reservatórios propostos foram beneficiadas com tais intervenções. Nota-se também que dentre as beneficiadas, algumas encontram-se em áreas de risco mapeadas pelo PMRRSG.

Mesmo que em muitos casos a redução da lâmina máxima tenha sido pequena (menos de 15 cm) pode-se considerar positivo que este tipo de projeto, além de solucionar os problemas locais, não transfere o problema de inundação para sua jusante. Pelo contrário, pode inclusive contribuir para mitigar os problemas de inundações a jusante. Desta forma, os locais propostos para as bacias de detenção podem ser considerados boas indicações para criação de Zonas de Interesse Metropolitano, conforme diretriz do PDUI.

Se a estas bacias propostas combinarem, como o caso da BD3, uma solução de melhoria da qualidade da água, tal ganho poderá ser inclusive considerado um incentivo ao uso da Bacia da Alcântara para transporte hidroviário e para fins turísticos e recreativos, promovendo a qualidade de vida e o desenvolvimento econômico da região.

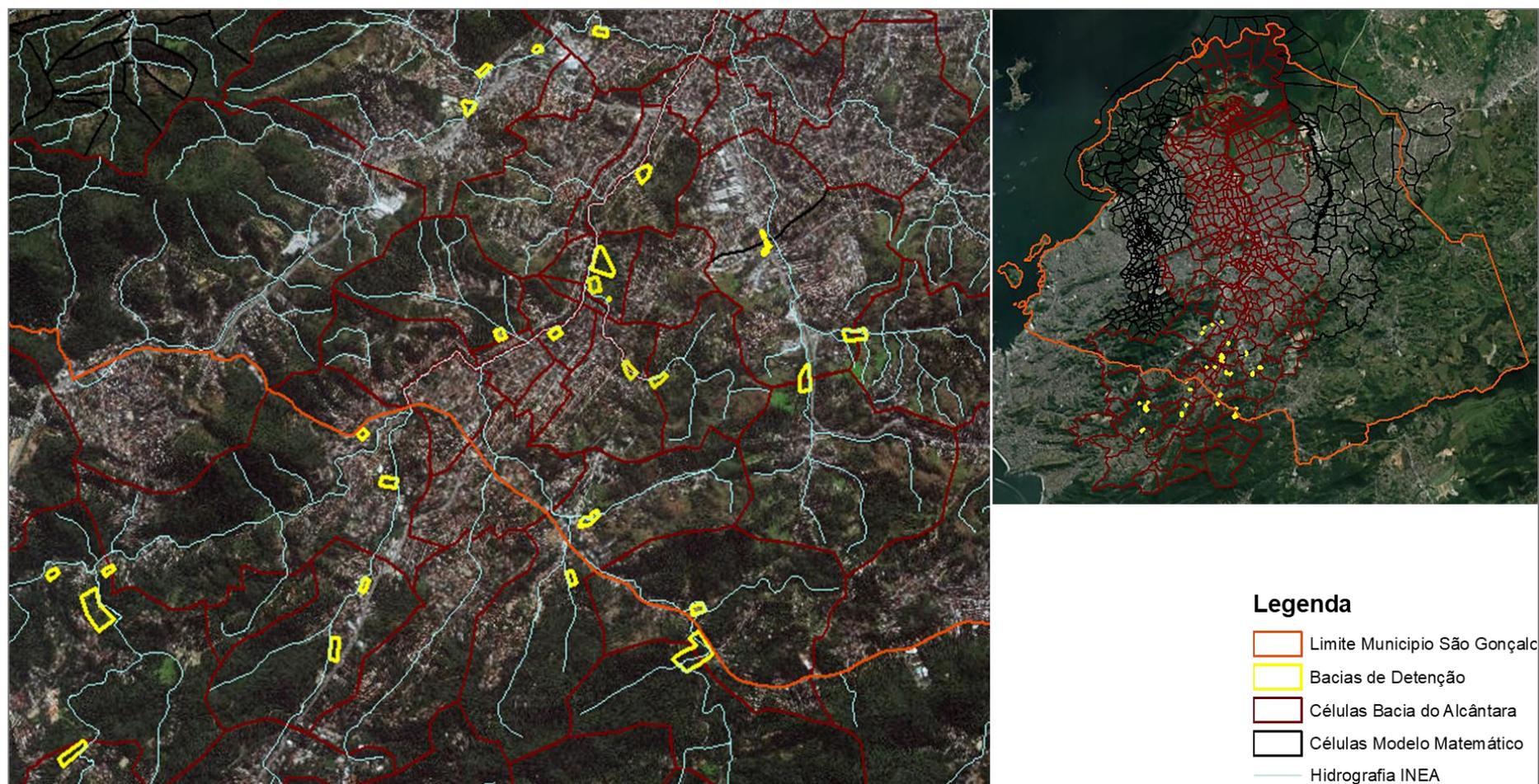


Figura 77 - Bacias de Detenção Propostas no Município de São Gonçalo/RJ

Tabela 23 - Reservatórios criados para simulação de replicação do projeto piloto

Características Área Intervenção				Prédimensionamento			Características Reservatório Simulado					TR25	
Célula Reserv	Tipo de Reservatório	Área de Contribuição (m <sup>2</sup> )	Runoff	Volume a ser Armazenado (m <sup>3</sup> )	Área Necessária (m <sup>2</sup> )	Lâmina (m)	Área Reservatório (m <sup>2</sup> )	Cota Fundo (m)	Cota Vertedor (m)	Área Orifício Saída (m <sup>2</sup> )	Capacidade Armaz. (m <sup>3</sup> )	NAmáx (m)	Volume Armazenado (m <sup>3</sup> )
7 (BD3)	Detenção <i>off line</i>	1 637 060.96	0.60	n/a	n/a	n/a	8 100.00	18.00	21.80	1.00	30 780	21.51	28 470.29
2 (BD1)	Detenção <i>in line</i>			n/a	n/a	n/a	4 900.00	23.60	26.00	0.40	11 760	25.87	11 116.68
8 (BD2)	Detenção <i>in line</i>			n/a	n/a	n/a	4 000.00	26.80	29.00	0.90	8 800	28.98	8 717.60
9	Detenção <i>in line</i>	639 466.00	0.30	9 428.35	4 500.00	2.10	4 500.00	22.50	25.00	0.50	11 250	23.84	6 036.12
10	Detenção <i>in line</i>	2 661 180.00	0.40	52 315.63	44 000.00	1.19	44 000.00	34.00	40.00	2.00	264 000	37.95	173 751.60
11	Detenção <i>in line</i>	3 235 712.00	0.55	87 464.08	40 000.00	2.19	40 000.00	30.00	35.00	1.00	200 000	33.67	146 746.80
12	Detenção <i>in line</i>	2 955 842.00	0.51	74 088.12	31 600.00	2.34	42 000.00	38.00	42.00	2.00	168 000	41.43	144 062.10
13	Detenção <i>in line</i>	6 020 972.00	0.46	62 031.78	15 000.00	4.14	22 400.00	26.00	29.00	1.70	67 200	28.84	63 544.99
14	Detenção <i>in line</i>	3 400 100.00	0.50	83 552.39	20 000.00	4.18	20 000.00	84.00	90.00	1.00	120 000	89.96	119 269.60
15	Detenção <i>in line</i>	2 451 960.00	0.55	66 278.59	22 200.00	2.99	22 200.00	22.00	26.00	1.50	88 800	25.88	86 171.96
16	Detenção <i>in line</i>	2 574 551.70	0.56	4 579.07	4 000.00	1.14	4 000.00	18.00	21.00	1.80	12 000	20.65	10 602.96
17	Detenção <i>in line</i>	1 342 040.00	0.50	32 978.63	10 000.00	3.30	10 000.00	35.00	40.00	0.50	50 000	38.04	30 383.50
18	Detenção <i>in line</i>	797 842.00	0.40	15 684.62	9 500.00	1.65	9 500.00	30.00	33.00	0.40	28 500	31.66	15 757.56
19	Detenção <i>in line</i>	3 750 585.36	0.51	45 345.09	3 000.00	15.12	3 000.00	22.00	25.00	1.50	9 000	25.52	9 000.00
20	Detenção <i>off line</i>	-	-	-	-	-	4 000.00	18.80	20.20	1.00	5 600	21.26	5 600.76
21	Detenção <i>off line</i>	-	-	-	-	-	22 000.00	17.50	18.50	1.50	22 000	19.20	22 000.00
22	Detenção <i>in line</i>	318 575.00	0.50	7 828.51	4 500.00	1.74	4 000.00	16.80	18.30	1.00	6 000	18.20	5 590.36
											1 103 690.00	907 949.04	

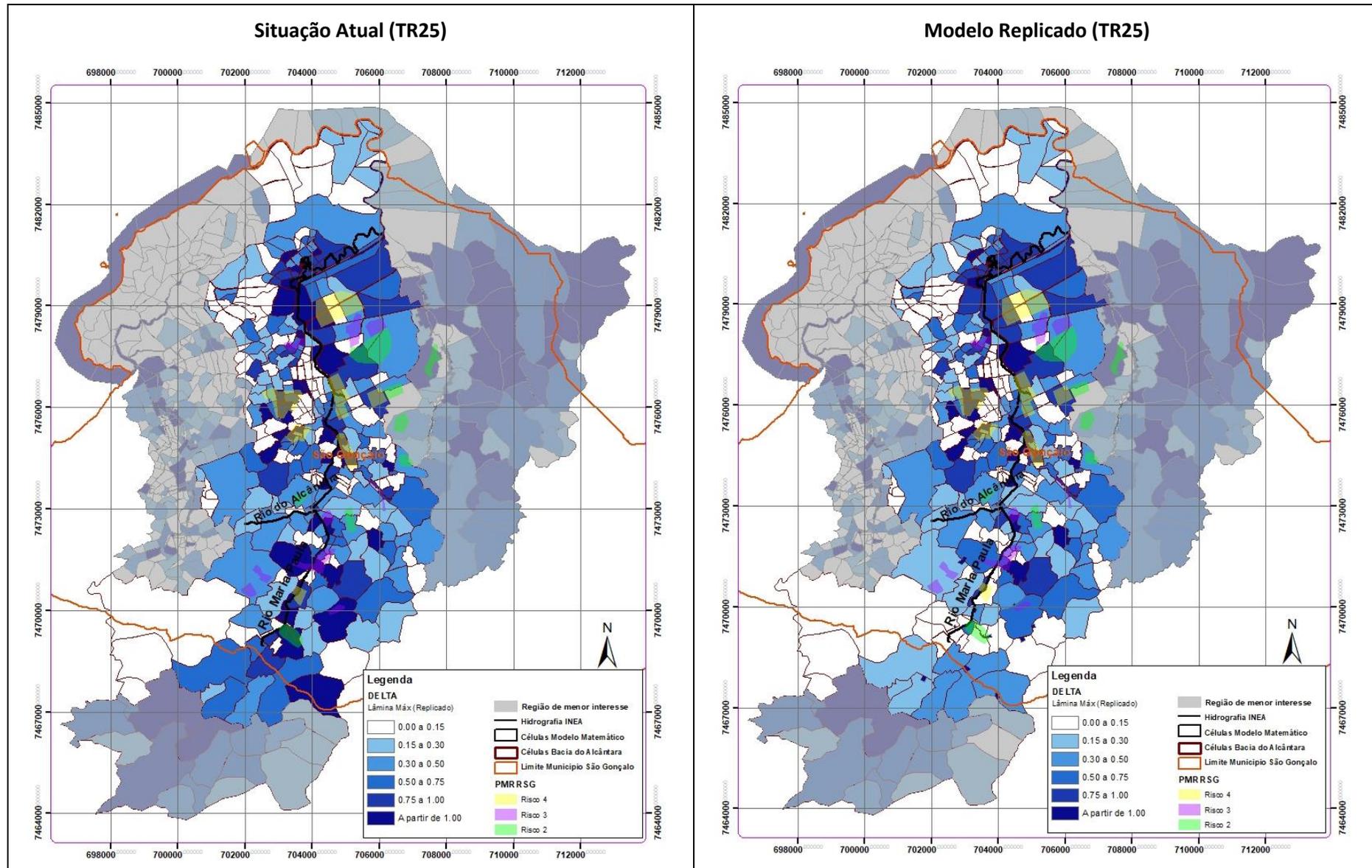


Figura 78 - Comparação de resultado da simulação para cenário atual e cenário de replicação do modelo

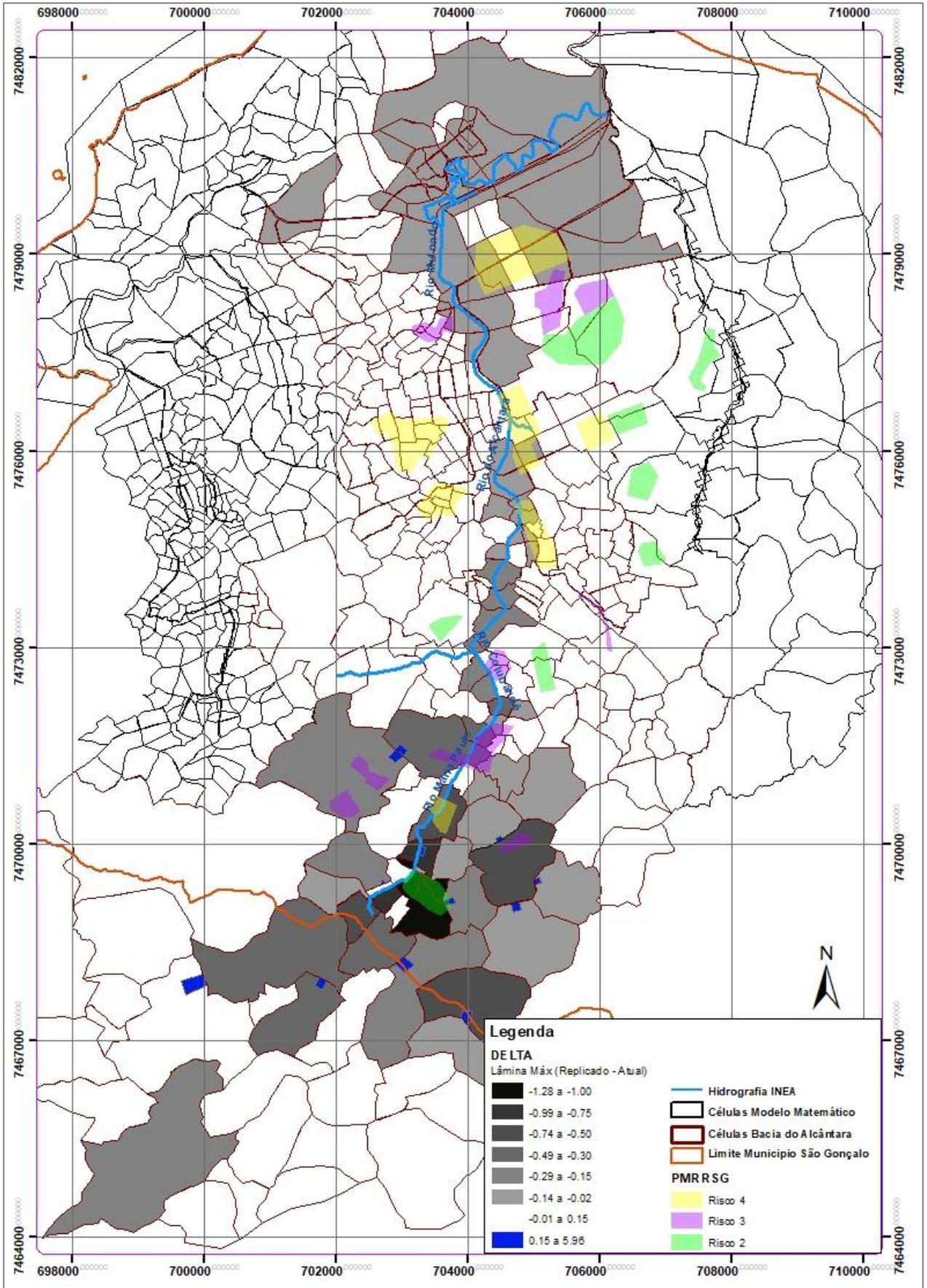


Figura 79 – Diferença entre lâmina máxima da replicação do Projeto Piloto e Cenário Atual

## 8.7 [Etapa 4] Projeto de Pesquisa Associado à Proposta do PDUI

Este capítulo tem intuito de avaliar a complementariedade das propostas desta pesquisa [Etapa 3] com a principal solução do PDUI para os problemas de inundação da Bacia do Alcântara, cumprindo, desta forma, a [Etapa 4] do estudo de caso (ver Figura 48).

Os documentos disponibilizados pelo PDUI/RMRJ não estabelecem dimensões exatas do canal a ser construído, nem o seu traçado. Desta forma, usou-se como referência o trabalho desenvolvido por Pereira (2018), cujo traçado do canal é apresentado na Figura 80. A autora sugere que o canal tenha largura de 30 metros e 2 metros de profundidade, que a tomada d'água seja por diferença de nível da cota de fundo e usa um coeficiente de Manning de 0,020 tendo em vista que o canal deverá receber manutenção periódica para atender sua função de via navegável.

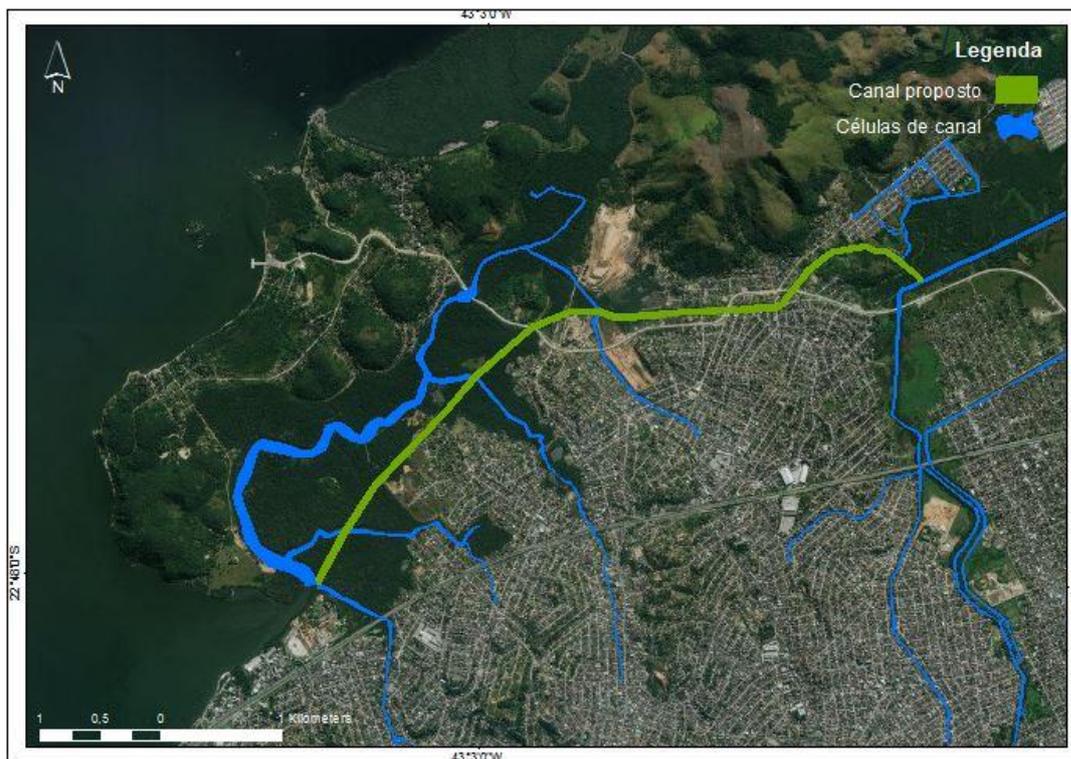


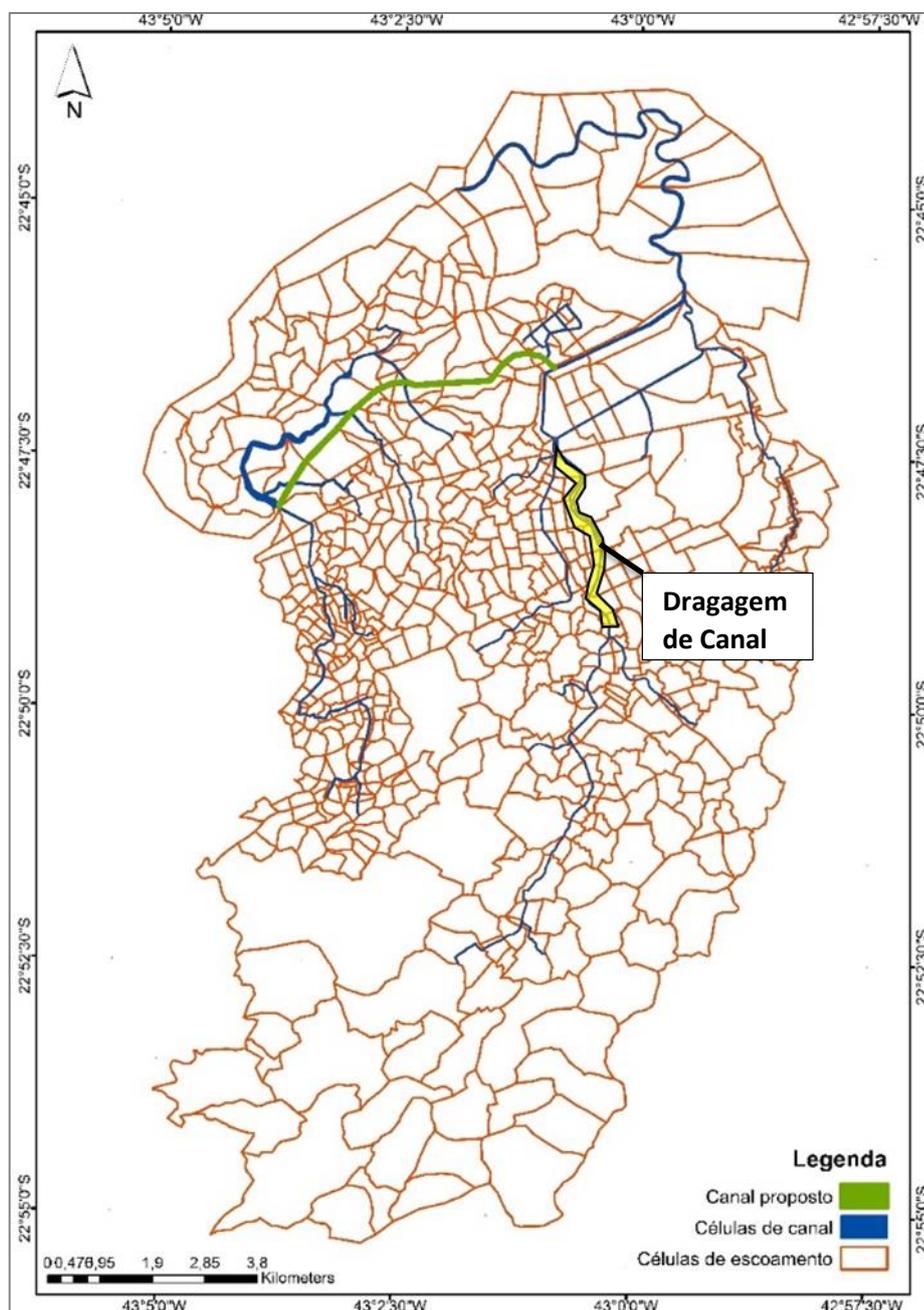
Figura 80 - Traçado do canal extravasor representado pela linha verde.

Fonte: Pereira (2018)

A autora avaliou três cenários:

- **Cenário 1 (C):** Canal extravasor, sem qualquer melhoria adicional;
- **Cenário 2 (CD):** Canal extravasor e dragagem do eixo ambientável do rio Alcântara (Figura 81);

- **Cenário 3 (CDP):** Canal extravasor e dragagem do eixo ambientável combinados à implementação de um parque fluvial às margens do rio Alcântara.

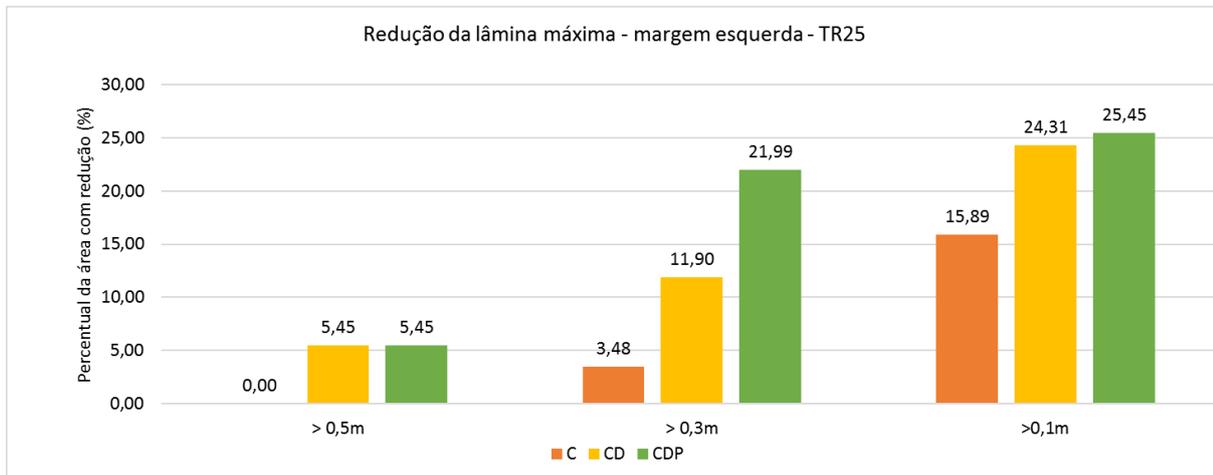


**Figura 81 - Proposta do Cenário 2**

Fonte: Pereira (2018)

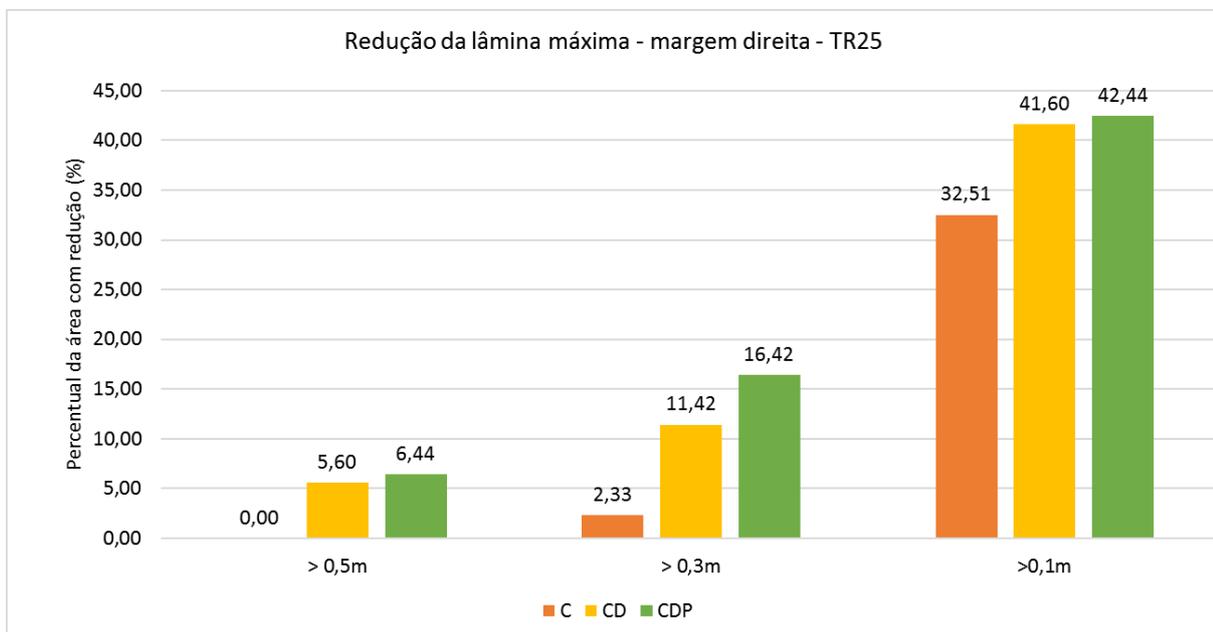
A Figura 82 e a Figura 83 apresentam os resultados da proposta do PDUI. Embora o Cenário 3 esteja mais alinhado com a proposta do PDUI e tenha apresentado os melhores resultados, este trabalho considera que os ganhos em relação ao Cenário 2 são pouco significativos frente ao elevado investimento adicional que demandaria a construção de parques fluviais.

Além disso, espera-se que os ganhos da inserção de bacias de retenção a montante, apresentados na Figura 79, possam compensar, mesmo que parcialmente, a não construção destes parques. Desta forma, escolheu-se o Cenário 2 para análise da complementariedade entre as propostas desta pesquisa e as propostas do PDUI.



**Figura 82 - Percentual de redução da lâmina máxima na margem esquerda do rio Alcântara**

Fonte: Pereira (2018)



**Figura 83 - Percentual de redução da lâmina máxima na margem direita do rio Alcântara.**

Fonte: Pereira (2018)

O modelo matemático foi modificado a fim de representar a construção do canal extravasor e a dragagem do trecho indicado na Figura 81. A Figura 84 compara os resultados das simulações a partir das variações de lâmina máxima entre cenário atual e intervenções das Etapas 3 e 4 desta pesquisa. A partir de sua análise pode-se concluir que os reservatórios

propostos são medidas complementares à proposta do PDUI, uma vez que eles contribuem para melhores resultados na região montante da Bacia do Alcantara e o canal extravasor para a região jusante.

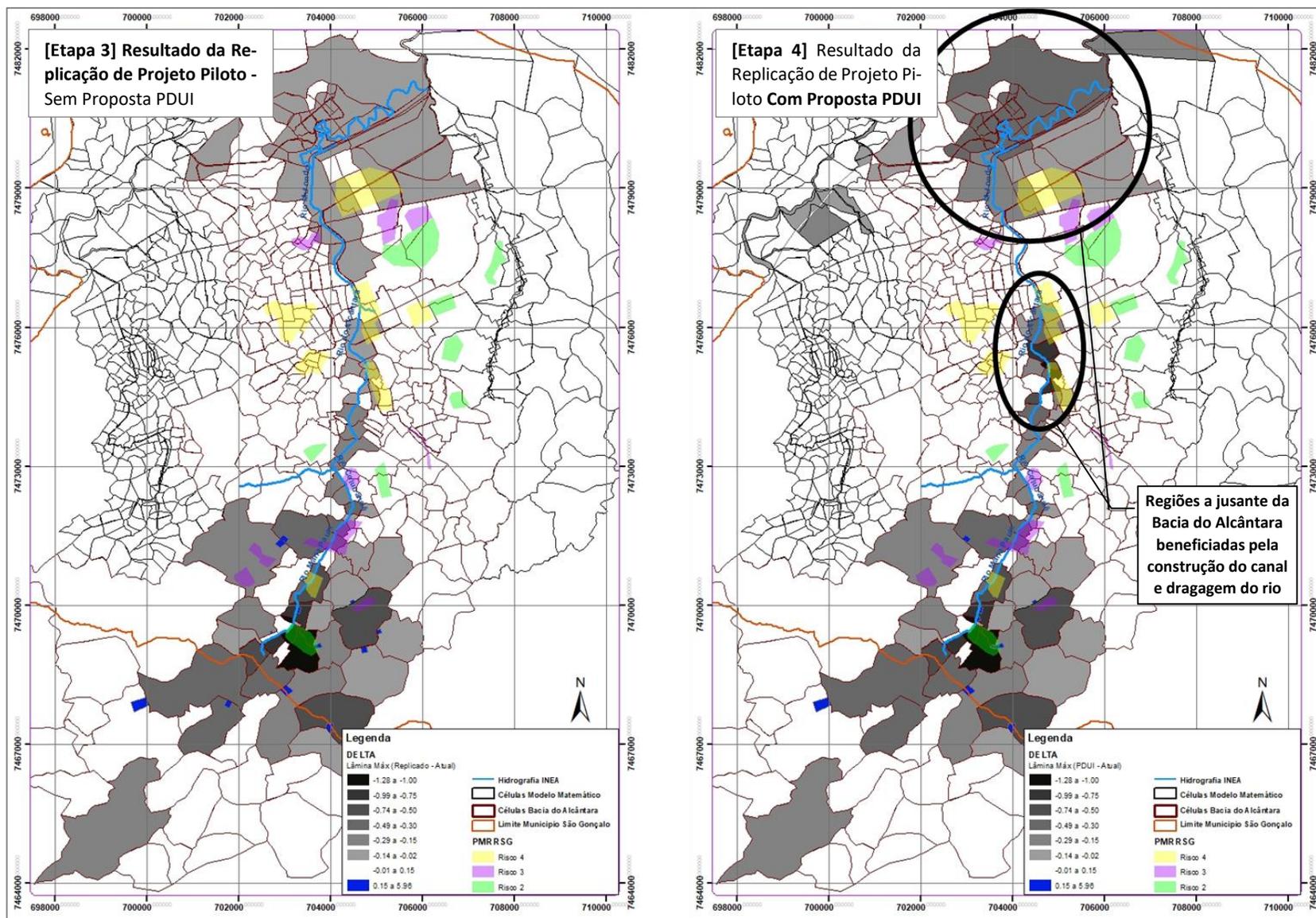


Figura 84 - Diferença entre lâmina máxima do cenário atual com replicação do Projeto Piloto com e sem proposta PDUI

A análise da Figura 84 também permite concluir que as intervenções propostas na Etapa 3 e na Etapa 4 apresentam a maior parte das melhorias ao longo dos rios Alcântara e Maria Paula e de suas margens. A fim de aprofundar a análise comparativa dos resultados, extraiu-se do MODCEL os perfis destes rios, de suas margens e respectivos níveis d'água máximos, conforme traçado indicado na Figura 85.

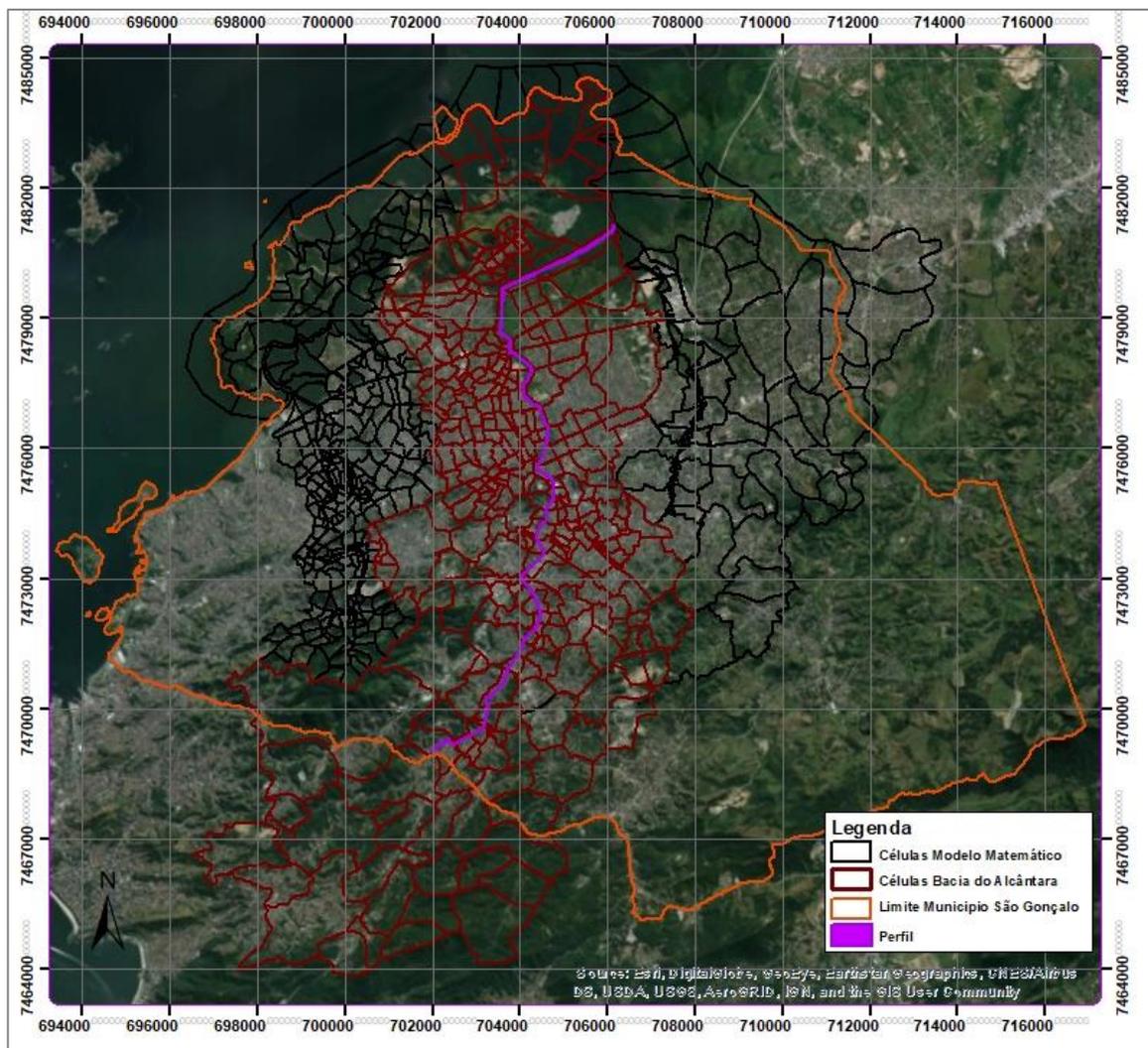
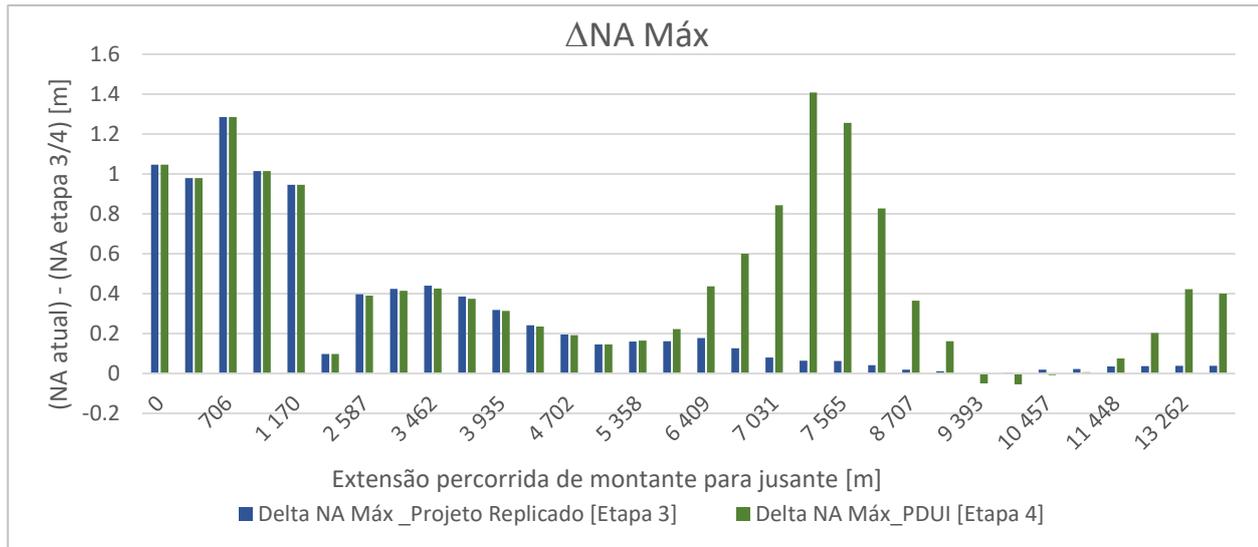


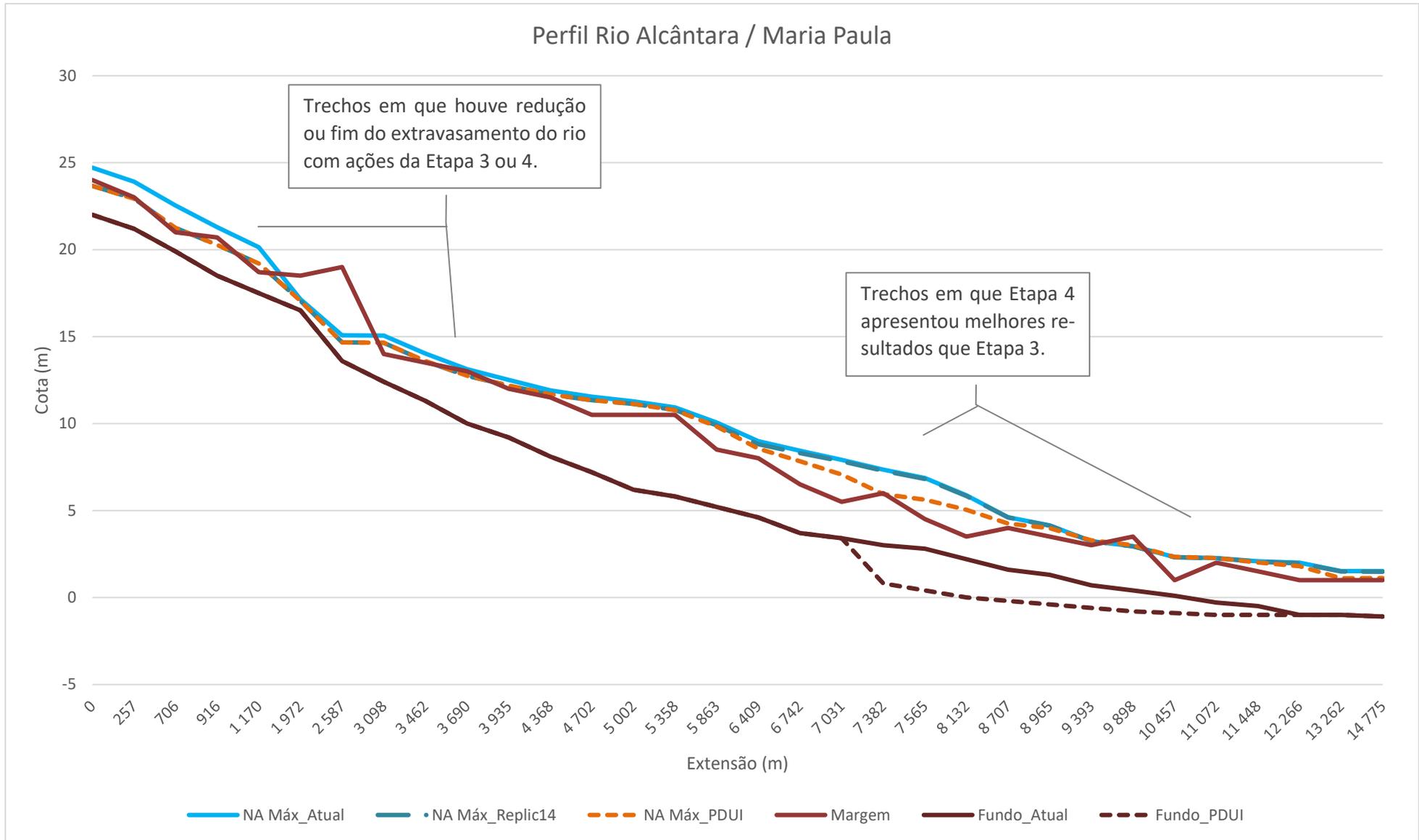
Figura 85 - Perfil traçado para análise comparativa

A Figura 86 apresenta quanto foi reduzido o  $N_{\text{máx}}$  de cada proposta ao compará-la com a situação atual.



**Figura 86 - Delta NAmáx das intervenções propostas nas Etapas 3 e 4 e cenário atual**

A Figura 87 apresenta os perfis de níveis d'água e cotas de margem e fundo dos rios, permitindo observar os pontos de extravasamento do rio em cada cenário. Os pontos de extravasamento dos rios nada mais são do que aqueles em que o nível d'água é superior à cota de suas margens. Pode-se observar claramente os ganhos proporcionados pelas intervenções da Etapa 3 no trecho a montante e os ganhos referentes as intervenções da Etapa 4 no trecho a jusante.



**Figura 87 - Perfil longitudinal de montante para jusante dos rios Maria Paula e Alcântara**

## 9 CONCLUSÕES

As cidades em desenvolvimento, de maneira geral, têm apresentado crescimento rápido, dinâmico e desordenado de tal forma que o planejamento e o investimento em infraestrutura básica não têm conseguido acompanhá-lo. Isso deve-se a uma série de fatores limitantes, dentre os quais pode-se citar: tempo necessário para estudos e desenvolvimento de projetos; escassez de recursos financeiros; desafios técnicos oferecidos por desenhos urbanos diversos; falta de articulação entre atores envolvidos; conflito de interesses; governança deficiente; etc.

Como consequência deste crescimento deficitário, os problemas encontrados em cidades em desenvolvimento são comuns: saneamento básico precário; habitações e construções em situação de vulnerabilidade; alta impermeabilização do solo; uso abusivo de recursos naturais; poluição excessiva; carência de áreas verdes e áreas de lazer para a população; cultura de desvalorização de rios urbanos; etc.

Os parques multifuncionais podem oferecer soluções alternativas à drenagem tradicional, adaptáveis aos desafios específicos de cada zona urbana em desenvolvimento, servindo tanto como instrumento de mitigação dos efeitos da urbanização não planejada, quanto de prevenção da expansão da “cidade informal” para regiões vulneráveis e/ou estratégicas, a partir da reserva de espaço e oferecimento de lazer. Mais especificamente, os parques multifuncionais com reservatórios de retenção, devido a sua versatilidade, podem contribuir para melhoria do manejo de águas pluviais em países periféricos, evitando desapropriações em massa e/ou prevenindo que novas habitações se consolidem em fundos de vale.

Os parques multifuncionais com reservatórios de retenção possuem características que atendem a premissas dos conceitos de SUDS e WSUD, o que os tornam soluções mais sustentáveis e resilientes do que aquelas apresentadas pela gestão tradicional da água urbana. Isso confirma que é possível, a partir de uma mudança de paradigmas, que haja um salto da situação em que se encontram as cidades periféricas hoje para um desenho urbano sensível à água, conforme foi discutido no capítulo 2.2 e proposto na Figura 5. Além de oferecerem uma oportunidade de mitigar os problemas de gestão quanti e qualitativa da água, podem proporcionar uma relação positiva entre cidadãos e o ciclo hidrológico, transformando o círculo vicioso de desvalorização de rios urbanos em círculo virtuoso de cuidado com os rios e valorização de todo o seu entorno.

A infraestrutura tradicional, embora não tenha conseguido por si só suprir as necessidades atuais e futuras de gestão e governança da água urbana, suas técnicas não são descartáveis, mas sim complementares às soluções alternativas propostas pela SUDs e WSUD. Pode-se usar como exemplo os parques multifuncionais com bacias de retenção, cujo sucesso de implantação depende de vir acompanhado de uma infraestrutura de micro drenagem eficiente que direcione os escoamentos para o local correto. Num desenho urbano consolidado, a infraestrutura tradicional de micro drenagem geralmente é a mais tecnicamente adequada e viável de ser implementada. Desta forma, cabe aos responsáveis pelo planejamento urbano criar soluções que atendam às especificidades de cada região, evitando a transferência de seus problemas para jusante, numa combinação de técnicas tradicionais e alternativas.

A bacia do Alcântara no município de São Gonçalo – RJ, local selecionado para estudo de caso, apresenta boa síntese dos desafios enfrentados pela RMRJ e pelas cidades em desenvolvimento. A solução proposta para o Projeto Piloto, por sua vez, representa a ideia defendida nesta pesquisa, de que existe uma oportunidade de, ao mesmo tempo em que se busca sanar o *deficit* de infraestrutura básica, criar um modelo de gestão da água mais sustentável e resiliente que o tradicional, pulando etapas do processo pelo qual países desenvolvidos passaram e caminhando mais rapidamente em direção a “boa governança da água”. O Projeto Piloto ainda reforça a ideia defendida no parágrafo anterior de que os resultados satisfatórios dependem de uma combinação entre técnicas alternativas e tradicionais uma vez que propõe um projeto constituído por parques multifuncionais, bacias de retenção, saneamento ecológico, canalização de curso d’água e infraestrutura tradicional de micro drenagem.

O estudo de caso encontrou alinhamento entre as soluções propostas e uma variedade de planos e estudos existentes para a Bacia do Alcântara e a RMRJ, identificando desta forma, oportunidades para sua implantação e para a mudança de paradigma da gestão e governança da água urbana.

Como sugestões de encaminhamento da pesquisa, a replicação dos parques para a escala da bacia pode ser ainda estendida, de forma a encontrar outros locais, inclusive a jusante e, eventualmente em outras escalas (chegando a intervenções em passeios ou dentro dos lotes), de forma a refinar a solução para um controle de todos os problemas inundação e alagamento.

A avaliação e o desenho da solução de qualidade da água também podem (e devem) ser refinados, de modo a se avaliar a contribuição desta proposta, quantitativamente, na melhoria

da qualidade do sistema fluvial. A avaliação do funcionamento para o tratamento do esgoto captado pelas redes de tempo seco e a sua utilização também para atenuação da poluição difusa devem ser estudadas. Seria desejável a implantação e monitoramento do projeto piloto para fomentar pesquisas experimentais.

Adicionalmente, de forma prática, seria ainda interessante a concepção e projeto de redes de microdrenagem e captação em tempo seco para avaliação completa do projeto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCON. PETRÓPOLIS SE DESTACA EM SANEAMENTO BÁSICO. 27 mar. 2017.

ABPC. Projeto Técnico: Reservatórios de detenção. p. 13, 2002.

ACADEMIES OF SCIENCES. Urban Water Challenges in the America. p. 308–332, 2015.

ÁGUAS DO BRASIL. Águas do Imperador. Disponível em: <<http://www.grupoaguasdobrasil.com.br/aguas-imperador/a-concessionaria/>>. Acesso em: 25 out. 2017.

ÁGUAS DO BRASIL. Águas do Imperador inaugura biodigestor do Quarteirão Brasileiro. Disponível em: <<http://www.grupoaguasdobrasil.com.br/aguas-imperador/2015/02/24/aguas-do-imperador-inaugura-biodigestor-do-quarteirao-brasileiro/>>. Acesso em: 25 out. 2017.

ÁGUAS DO IMPERADOR. Águas do Imperador constrói dois novos biodigestores em Petrópolis. 2 out. 2015.

ANDOH, Y. G. Urban drainage and wastewater treatment for the 21st century. 9th International Conference on Urban Drainage, v. Portland, n. September, p. 9–13, 2002.

ANGLIAN WATER. Guidance on the use of sustainable drainage systems ( SUDS ) and an overview of the adoption policy introduced by. [s.d.].

ARGUE, J.R., ed., WSUD: Basic Procedures for ‘Source Control’ of Stormwater – a Handbook for Australian practice. Adelaide: Urban Water Resources Centre, University of South Australia, 2004.

ARIAS, C. A. *et al.* Improved urban stormwater treatment and pollutant removal pathways in amended wet detention ponds Journal of Environmental Science and Health , Part A : Toxic / Hazardous Substances and Environmental Engineering. n. June, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE AGÊNCIAS E REGULAÇÃO. PLANSAB – Plano Nacional de Saneamento Básico. Disponível em: <<http://abar.org.br/plansab-plano-nacional-de-saneamento-basico/>>.

BARBOSA, L. G. Parque Marinha do Brasil : um parque, três projetos. p. 256, 2016.

CAMACHO, S. INTERVENÇÕES EM CORPOS HÍDRICOS URBANOS: Uma visão da atual conjuntura no Brasil. [s.l.] UNESP, 2016.

CÂMARA METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO. PRODUTO 08 Relatório de Consolidação e

Preparação para Cenários (Final). Rio de Janeiro, 2016a. Disponível em: <<http://www.modelarametropole.com.br/documentos/>>

CÂMARA METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO. PRODUTO 10 Relatório de Propostas de Cenários (Final). Rio de Janeiro, 2016b.

CÂMARA METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO. PRODUTO 14 Relatório de Propostas Detalhadas - (PDUI/RMRJ). Rio de Janeiro, 2017a.

CÂMARA METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO. PRODUTO 18 Plano Estratégico de Desenvolvimento Urbano Integrado da Região Metropolitana do Rio de Janeiro Janeiro (PDUI/RMRJ) – TOMO II. Rio de Janeiro, 2017b.

CANAL PETRÓPOLIS. Inauguração de biodigestor e academia de ginástica no Quarteirão Brasileiro. Disponível em: <<http://canalpetropolis.com.br/2015/02/inauguracao-de-biodigestor-e-academia-de-ginastica-no-quarteirao-brasileiro/>>. Acesso em: 25 out. 2017.

CANAL PETRÓPOLIS. Prefeitura e Águas do Imperador inauguram Biodigestor no Caxambu. Disponível em: <<http://canalpetropolis.com.br/2016/06/prefeitura-e-aguas-do-imperador-inauguram-biodigestor-no-caxambu/>>. Acesso em: 25 out. 2017.

CANHOLI, A. P. Drenagem urbana e controle de enchentes. 2a. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

CASTRO, R. Estudo aponta saneamento básico como uma das principais medidas para o enfrentamento da epidemia de zika, dengue e chikungunya. Disponível em: <<https://rededen-gue.fiocruz.br/noticias/445-estudo-aponta-saneamento-basico-como-uma-das-principais-medidas-para-o-enfrentamento-da-triplice-epidemia-de-zika-dengue-e-chikungunya>>.

CEMADEN. CEMADEN - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. Disponível em: <<https://www.cemaden.gov.br/apresentacao/>>. Acesso em: 15 fev. 2018.

CHARLESWORTH, S. M.; MEZUE, M. Sustainable Drainage Out of Temperate Zone. In: Sustainable Surface Water Management: A Handbook for SUDS. [s.l: s.n.]. p. 432.

COOMBES, P.J.; ARGUE, J.R.; KUCZERA, G., “Figtree Place: A Case Study in Water Sensitive Urban Development (WSUD)”, *Urban Water*, v.1, pp.335–343, 1999.

DECINA, T. G. T.; BRANDÃO, J. L. B. Análise de desempenho de medidas estruturais e não estruturais de controle de inundações em uma bacia urbana. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 21, n. 1, p. 207–217, 2016.

DEPARTAMENTO DE INFORMAÇÃO PÚBLICA DAS NAÇÕES UNIDAS. Fatos sobre as cidades. Rio+20. O futuro que queremos, p. 1–3, 2012.

DIANNI, C. Especialistas debatem segurança hídrica na bacia do Paraíba do Sul. Agência Nacional de Águas - ANA, 8 set. 2016.

ELLIOTT, A.H.; TROWSDALE, S.A., “A review of models for low impact urban stormwater drainage”. *Environmental Modelling and Software*, 22 (3), 394-405, 2007

EUROPEAN COMISSION. TREASURE - Treatment and re-use of urban stormwater runoff by innovative technologies for removal of pollutants. [s.d.].

EUROPEAN COMISSION. Life-Treasure. Disponível em: <<http://www.life-treasure.com/index.html>>.

FLETCHER, T. D. *et al.* SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal*, v. 12, n. 7, p. 525–542, 2015.

FOLHA DE SÃO PAULO. Chuva em SP volta a causar enchente, prejudicar o trânsito e afetar trens. 12 dez. 2014.

FRANKS, T. R.; CLEAVER, F. D. Title: Water governance and poverty: a framework for analysis. *Progress in Development Studies*, v. 7, n. 4, p. 291–306, 2007.

FUNDAÇÃO COPPETEC - LABORATÓRIO DE HIDROLOGIA E ESTUDOS DE MEIO AMBIENTE. ELABORAÇÃO DO PLANO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. R3-A - TEMAS TÉCNICOS ESTRATÉGICOS. RT-03 - Vulnerabilidade a Eventos Críticos. Rio de Janeiro: 2014.

FUNDAÇÃO COPPETEC - LABORATÓRIO DE HIDROLOGIA E ESTUDOS DE MEIO AMBIENTE. ELABORAÇÃO DO PLANO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. R3-A - TEMAS TÉCNICOS ESTRATÉGICOS. RT-01 - Estudos Hidrológicos e Vazões Extremas. Rio de Janeiro: 2014

G1, P. DE N. Após temporal, moradores se arriscam em ruas alagadas no RJ. Disponível em: <<http://g1.globo.com/rio-de-janeiro/noticia/2016/03/apos-temporal-moradores-se-arriscam-em-ruas-alagadas-no-rj.html>>. Acesso em: 9 fev. 2019.

GREEN SAVERS. COMO GUIMARÃES CONSEGUIU EVITAR AS CHEIAS NO CENTRO DA CIDADE. Disponível em: <<https://greensavers.sapo.pt/como-guimaraes-conseguiu-evitar-as-cheias-no-centro-da-cidade/>>. Acesso em: 15 nov. 2017.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Manejo de águas pluviais. In: Atlas de Saneamento. 2011.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Demográfico. 2010.

KEPERN, K. DOS R. A cidade e o elemento natural: o Parque Marinha do Brasil e as políticas públicas do verde em Porto Alegre (1960-1970). p. 0–172, 2011.

LLOYD, S. D.; WONG, T. H. F.; CHESTERFIELD, C. Water sensitive urban design--A stormwater management perspective. n. September, p. 44, 2002.

LOURENÇO, R. S. Rio de janeiro aquém de 2016: a oportunidade adiada para despoluição do complexo de rios, de lagoas e da baía de guanabara. 2017.

MARTINS, L. R. Viabilidade Técnica Da Construção De Banhados No Espaço Urbano Para Controle Quali- No Espaço Urbano Para Controle Quali-. 2015.

MASCARENHAS, F. C. B.; MIGUEZ, M. G. Urban flood control through a mathematical flow cell model. *Water International*, v. 27, n. 2, p. 208–218, 2002.

MEDEIROS, I. H. Programa Drenurbs/Nascentes e fundos de vale: potencialidades e desafios da gestão sócio-ambiental do território de Belo Horizonte a partir de suas águas. [s.l.] Universidade Federal de Minas Gerais, 2009.

MEDEIROS, I. H.; MAGALHÃES JR, A. P. Resignificação De Rios Urbanos Em Grandes Metrôpoles : Limites Entre o Ideal e o Possível. p. 1–8, 2009.

MELBOURNE WATER, WSUD Engineering Procedures: Stormwater. Collingwood, Australia: CSIRO Publishing, 2005.

MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P.; REZENDE, O. M. Drenagem Urbana - Do Projeto Tradicional À Sustentabilidade. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier- Campus, 2015.

MONTGOMERY COUNTY. Types of Stormwater Management Facilities. Disponível em: <<https://www.montgomerycountymd.gov/water/stormwater/practices.html#ponds>>. Acesso em: 15 nov. 2017.

MUNICÍPIO DE GUIMARÃES. Câmara de Guimarães inaugura bacias de retenção no Parque das Hortas e apresenta 2a fase de obras. 12 jun. 2015.

NAKAZONE, L. M. Implantação de reservatórios de detenção em conjuntos habitacionais: a experiência da CDHU. p. 305, 2005.

NEVES, M. G. F. P.; MERTEN, G. H. DEPOSIÇÃO DE SEDIMENTOS NA BACIA DE RETENÇÃO DO PARQUE MARINHA DO BRASIL EM PORTO ALEGRE-RS, [s.d.]. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/123362613/artigo64#>>

NEVES, M. G. F. P. DAS. Quantificação De Resíduos Sólidos Na Drenagem. 2006.

PAOLUCCI, C. O. Medidas implementadas em Belo Horizonte para antecipar os efeitos da chuva 1 . v. 8, n. 1, p. 50–63, 2012.

PBH. PBH inaugura bacia de retenção de cheias do Córrego Engenho Nogueira. Disponível em: <<http://portalpbh.pbh.gov.br/pbh/ecp/noticia.do?evento=portlet&pAc=not&idConteudo=42494&pldPlc=&app=salanoticias>>.

PBH. Boa Governança para Gestão Sustentável das Águas Urbanas: PROGRAMA DRENURBS. Belo Horizonte, 2012.

PEREIRA, G. G. ANÁLISE DA IMPLEMENTAÇÃO DE UM CANAL EXTRAVASOR NO RIO ALCÂNTARA PARA CONTROLE DE CHEIAS POR MODELAGEM COMPUTACIONAL. [s.l.] UFRJ - Universidade Federal do rio de Janeiro, 2018.

PFAFSTETTER, O., (1982) Chuvas Intensas no Brasil, 2a. edição, 426p. Rio de Janeiro, DNOS. Rio de Janeiro, 1982.'

Portal de Notícias G1. Disponível em: <<http://g1.globo.com/rio-de-janeiro/noticia/2016/03/apos-temporal-moradores-se-arriscam-em-ruas-alagadas-no-rj.html>>. Acesso em: 09 fev. 2018.

PORTAL PBH. Barreiro cada vez mais protegido contra enchentes. Disponível em: <<http://portalpbh.pbh.gov.br/pbh/ecp/noticia.do?evento=portlet&pAc=not&idConteudo=139862&pldPlc=&app=salanoticias>>. Acesso em: 14 out. 2017.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE. II Seminário Internacional sobre Revitalização de Rios Recuperação Ambiental de Bacias Hidrográficas: A Experiência de Belo Horizonte. 2010.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE. PMSB 2016/2019. Belo Horizonte: [s.n.].

PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE. Prefeitura de Porto Alegre. Disponível em: <[http://www2.portoalegre.rs.gov.br/smam/default.php?p\\_secao=198](http://www2.portoalegre.rs.gov.br/smam/default.php?p_secao=198)>. Acesso em: 7 out. 2017.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO GONÇALO. PMSB São Gonçalo: Diagnóstico Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas. São Gonçalo: 2014.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO GONÇALO. Produto 3 - Mapa de Risco de Inundação - Plano Municipal de Redução de Risco - PMRR do Município de São Gonçalo. São Gonçalo, 2008.

REZENDE, O. M. Manejo sustentável de águas pluviais: uso de paisagens multifuncionais em drenagem urbana para controle das inundações. p. 1–104, 2010.

RIO ÁGUAS. INSTRUÇÕES TÉCNICAS PARA ELABORAÇÃO DE ESTUDOS HIDROLÓGICOS E DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DE SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA Rio de Janeiro, 2010.

ROCHA, A. M. *et al.* Águas urbanas e política : um experimento empírico extensionista do paradoxo democrático na disciplina “ Oficina de Planejamento Urbano ” Urban waters and politics : an empirical and extensionist experiment of the democratic paradox at " Urban Planning St. p. 663–677, [s.d.].

RODRIGUES, E. *et al.* A Integração de Políticas Públicas na Ação Contra Enchentes em Bacias Hidrográficas Antropizadas : O Caso do Município de São Gonçalo. IV Congresso Nacional de Excelência em Gestão, p. 1–17, 2010.

SHINDE, P. S. Multi-use of Stormwater Detention Ponds in Parks and Open Spaces. p. 1–88, 2002.

SILVA, M. M. DE A. Água Em Meio Urbano, Favelas Nas Cabeceiras. [s.l.] Universidade Federal de Minas Gerais, 2013.

SMDU-SP. Gerenciamento do sistema de drenagem urbana. [s.l: s.n.]. v. I

SOARES, E. DE A. *et al.* SANEAMENTO SUSTENTÁVEL - A UTILIZAÇÃO DE BIOSISTEMA INTEGRADO E EDUCAÇÃO AMBIENTAL NA COMUNIDADE DE BAIXA RENDA QUARTEIRÃO BRASILEIRO EM PETRÓPOLIS-RJ. p. 1–3, 2007.

SÖRENSEN, J. *et al.* Re-thinking urban flood management-time for a regime shift. Water (Switzerland), v. 8, n. 8, p. 1–15, 2016.

STAHERE, P. 15 Years Experiences of Sustainable Urban Storm Drainage in the City of Malmo, Sweden. Impacts of Global Climate Change, v. 173, n. 40792, p. 1–12, 2005.

TILLEY, E. *et al.* Compendium of Sanitation Systems and Technologies. Eawag, IWA, WSSCC, p. 180, 2014.

VERÓL, A. P. Requalificação Fluvial Integrada ao Manejo de Águas Urbanas para Cidades Mais Resilientes. [s.l.] UFRJ, 2013.

VOLLERTSEN, J. *et al.* Advanced stormwater treatment – comparison of technologies. 2009.

WEHN, U. *et al.* Participation in flood risk management and the potential of citizen observatories: A governance analysis. Environmental Science and Policy, v. 48, p. 225–236, 2015.

WOODS-BALLARD, B.; KELLAGHER, R.; MARTIN, P.; BRAY, R.; SHAFFER, P., The SUDS Manual. CIRIA C697. London: CIRIA, 2007

WONG, T.H.F., "Water Sensitive Urban Design – the Journey Thus Far". Australian Journal of Water Resources, v.10, n.3, pp. 213-222, 2006.

WONG, T.; BROWN, R. Transitioning to water sensitive cities: ensuring resilience through a new hydro-social contract. Proceedings of the 11th International Conference ..., n. April 2016, p. 1–10, 2008.