

CONTROLE DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA GESTÃO DO RISCO DE
CHEIAS - ESTUDO DE CASO DO RIO PAVUNA, RJ

Bruna Silva do Amaral

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Marcelo Gomes Miguez

Rio de Janeiro

Agosto de 2015

CONTROLE DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA GESTÃO DO RISCO DE
CHEIAS - ESTUDO DE CASO DO RIO PAVUNA, RJ.

Bruna Silva do Amaral

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA
(COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE
EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA CIVIL.

Examinada por:

Prof. Marcelo Gomes Miguez, D.Sc.

Prof. Paulo Canedo de Magalhães, Ph.D.

Prof. Paulo Roberto Ferreira Carneiro, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

AGOSTO DE 2015

Amaral, Bruna Silva do

Controle do Uso e Ocupação do Solo na Gestão do Risco de Cheias - Estudo de Caso Rio Pavuna, RJ./ Bruna Silva do Amaral. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2015.

XVII, 235 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Marcelo Gomes Miguez

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Civil, 2015.

Referências Bibliográficas: p. 213-230.

1. Controle de Cheias Urbanas. 2. Planejamento Urbano. 3. Análise de Risco de Cheias. I. Miguez, Marcelo Gomes. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Civil. III. Título.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Renan, meu grande amor, que durante o desenvolvimento deste trabalho esteve ao meu lado em todos os instantes, não apenas me incentivando, como também me ajudou em diversos momentos na sua confecção. Não há palavras que possam expressar minha gratidão a você. Sei que estes anos certamente não foram os mais usuais em nossa vida, foi necessária muita paciência da sua parte e só me resta ser imensamente grata por todo o seu apoio, sem o qual, estou certa de que não teria conseguido chegar até aqui. Tenho uma enorme admiração por você, um profissional excelente e também um companheiro incrível, eu não podia estar mais feliz. Muito obrigada pela compreensão, força e acima de tudo por todo o seu amor.

Ao meu orientador, Professor Marcelo Gomes Miguez, que tanto admiro profissionalmente, agradeço pelo apoio técnico e pessoal durante os anos do Mestrado na COPPE. Agradeço também por todas as oportunidades e a experiência que ganhei ao longo dos 6 anos que estive em contato com o LHC. Posso dizer que foi uma experiência fantástica da qual só levo boas recordações e saudades e devo isso a você. Muito obrigada Professor pela confiança, disposição, amizade e dedicação.

Aos membros da banca avaliadora, os Professores, Paulo Canedo e Paulo Carneiro. Obrigada, sinceramente, pela disponibilidade e por terem gentilmente aceitado compor a banca avaliadora do presente trabalho.

Agradeço aos meus pais, Luiz Cláudio e Sandra por todo o amor, carinho e dedicação que me deram. Ao meu pai agradeço pelos diversos almoços que tivemos juntos, em que escutou com muita paciência todos os meus desabafos rotineiros e me deu muita força e amor para continuar. À minha mãe pelo apoio, amor e compreensão da minha ausência neste período. Tenho certeza de que seja lá qual fosse minha escolha, o apoio que me foi dado não teria sido diferente. Muito obrigada pela educação que me ofereceram, sei que para isso foram necessários muitos sacrifícios. Vocês são muito importantes em minha vida e os melhores exemplos que eu poderia ter.

À família do Renan, que agora tenho o imenso prazer e felicidade de chamar de minha família. Obrigada por toda a torcida. Agradeço em especial ao meu querido sogro Severino (melhor do mundo), que não apenas revisou parte da minha dissertação diversas vezes como também me deu muita força para seguir adiante. Eu não tenho dúvidas que além de um sogro maravilhoso eu ganhei também um segundo pai.

Aos meus irmãos Felipe, Fernanda, Lucas e Vitinho, agradeço simplesmente por existirem, vocês são essenciais em minha vida e eu os amo.

Aos meus sobrinhos Davi e Matheus, por encherem minha vida de alegria.

Aos colegas do LHC, que direta ou indiretamente influenciaram este trabalho. Meus sinceros agradecimentos especialmente ao Osvaldo, Matheus, e Aline Veról. Obrigada pela ajuda que me deram e também pela torcida.

Às queridas amigas que ganhei durante este período, e que desejo levar pra vida toda, com quem pude dividir todos os sucessos e fracassos, pessoais e profissionais: Ju, Carol, Monique, Bia, Mel, Fernanda e Cláudia.

Aos amigos de longa data, seja do colégio, faculdade ou da vida, em especial a Dri e ao Felipe que muito contribuíram ao longo desse período, me apoiando ou simplesmente pelos momentos de descontração e alegria. Fico feliz de ter encontrado tão bons amigos como vocês, com quem tanto me identifico.

Aos amigos Dani e Vinícius que me apoiaram durante esse período e muito me ajudaram com as impressões na etapa final.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

CONTROLE DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA GESTÃO DO RISCO DE CHEIAS - ESTUDO DE CASO DO RIO PAVUNA, RJ.

Bruna Silva do Amaral

Agosto/2015

Orientador: Marcelo Gomes Miguez

Programa: Engenharia Civil

O padrão de ocupação das cidades e o modo como seus cidadãos se comportam são fatores muitas vezes determinantes para indicar um alto grau de risco de inundações. A aplicação isolada de medidas estruturais para controle de cheias, ao não considerar as incertezas futuras, incluindo o risco residual das medidas estruturais propostas e a previsão de cenários futuros de ocupação, tende a perder sua eficiência ou se tornam obsoletas e falhas em longo prazo. Normalmente, a intensificação dos problemas relacionados às cheias é devido à ocorrência de novas ocupações nas áreas a jusante da implantação de uma medida estrutural (principalmente planícies fluviais) e que, conseqüentemente, levam a novas exigências de defesa, requerendo, em longo prazo, novas medidas de controle de cheias. Nesse sentido, o presente estudo discute, em termos de redução de riscos de cheias, a necessidade de adotar o controle do uso e ocupação do solo como medida complementar à adoção de medidas estruturais de combate às cheias, a fim de alcançar uma solução mais eficaz em longo prazo. Um estudo de caso na Baixada Fluminense, área metropolitana do Rio de Janeiro, é utilizado na construção deste quadro conceitual, que permite discutir ações de controle de cheias urbanas, lançando mão de ferramentas de modelagem matemática, que respondem por um modelo hidrodinâmico pseudobidimensional, o MODCEL.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

LAND USE AND OCCUPATION CONTROL IN FLOOD RISK MANAGEMENT -
CASE STUDY IN PAVUNA RIVER, RJ.

Bruna Silva do Amaral

August/2015

Advisors: Marcelo Gomes Miguez

Department: Civil Engineering

The pattern of cities occupation and how its citizens behave are often decisive factors to indicate a high degree of risk of flooding. As the isolated implementation of structural measures for flood control do not consider future uncertainties, including the residual risk of proposed structural measures and the forecast of future scenarios of occupation, they tend to lose their effectiveness or become obsolete and failed in the long run. Normally, the intensification of problems related to flooding is due to the occurrence of new developments in the downstream areas of the implementation of a structural measure (mainly river plains) and, consequently, lead to new defense demands, requiring, in the long-term, new flood control measures. In this sense, the present study discusses, in terms of reducing flood risk, the need to adopt urban planning as a complementary measure to the adoption of structural measures to combat floods, in order to achieve a more effective long-term solution. A case study in 'Baixada Fluminense', located in the metropolitan area of Rio de Janeiro, is used in the construction of this conceptual framework, allowing to discuss control measures of urban flooding, making use of mathematical modeling tools, namely a hydrodynamic pseudobidimensional model, MODCEL.

ÍNDICE

1. Introdução.....	1
1.1 Objetivos.....	5
1.1.1. Geral	5
1.1.2. Específicos.....	5
1.2 Hipótese de Trabalho	6
2. O Planejamento Urbano	8
2.1. Aspectos Históricos do Urbanismo.....	9
2.2. Planejamento Urbano no Brasil	16
3. Chuvas e Cidades	25
3.1. Impactos da urbanização no ciclo hidrológico.....	27
3.2. Controle de cheias.....	36
3.2.1 Tipos de Medidas de controle de cheias	38
4. Políticas Públicas de Regulação do Uso do Solo Urbano	44
4.2. Os Recursos Hídricos e as Políticas Urbanas	50
5. Análise de Risco de Cheias Urbanas.....	62
5.1. Componentes do Risco	63
5.2. Consequências das Cheias	67
5.3. Análise do Risco de Cheias	67
6. O Planejamento Urbano Integrado às Medidas Estruturais de Controle de Cheias	72
7. Estudo de Caso.....	79
7.1. Proposta de Trabalho e Hipótese a ser Verificada	79
7.2. Levantamento de Dados.....	81
7.3. Caracterização da Área de Estudo	82
7.3.1. Localização e Abrangência.....	82
7.3.2. Histórico de Cheias da Região	86
7.3.3. Crescimento Populacional	95
7.3.4. Barragens do Rio Pavuna e Sarapuí (Gericinó).....	98

7.4.	Metodologia	101
7.4.1.	Ferramentas Metodológicas.....	101
7.4.1.1.	Modelação Matemática.....	101
7.4.2.	Ferramenta para a Análise de Risco	107
7.5.	Estudos Hidrológicos	109
7.5.1.	Cálculo do Tempo de Concentração:.....	109
7.5.2.	Cálculo da Chuva de Projeto:	111
7.5.3.	Condições de Contorno:	116
7.5.4.	Separação da Chuva Efetiva na Área Dividida em Células.....	120
7.6.	Construção do Modelo.....	121
7.6.1.	Divisão de células.....	121
7.6.2.	Topologia.....	122
7.6.3.	Cenários Modelados	124
7.6.4.	Etapa de Calibração	127
7.6.5.	Resultados.....	146
7.7.	Aplicação da Metodologia de Análise de Risco	192
7.7.1.	Compatibilização dos Setores.....	192
7.7.2.	Análise do Risco.....	193
8.	Conclusões e Recomendações.....	204
8.1	Conclusões	204
8.2	Recomendações	212
9.	Referências Bibliográficas	213
10.	Anexo 1	231

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1: Ciclo hidrológico.....	27
Figura 3.2: Efeitos da urbanização no balanço hídrico.	30
Figura 3.3: Comparação entre o volume e a duração do escoamento de águas pluviais, antes e depois do desenvolvimento.	30
Figura 3.4: Comparação do escoamento em áreas desenvolvidas e naturais.	33
Figura 3.5: Zoneamento da planície de Inundação.....	42
Figura 5.1: Etapas do processo de gerenciamento de risco.	62
Figura 5.2: Construção do risco de cheias e sua redução.	63
Figura 5.3: Componentes do Risco.	66
Figura 5.4: Estrutura de zonas de aceitabilidade do risco.	69
Figura 7.1: Localização no Estado do Rio de Janeiro dos Municípios que abrangem a Bacia do Rio Pavuna. Fonte: Adaptado do IBGE (2010).....	82
Figura 7.2: Municípios que abrangem a Bacia do Rio Pavuna.	83
Figura 7.3 Bacias na Baixada Fluminense.....	84
Figura 7.4: Localização do Rio Pavuna e da Barragem do Rio Pavuna.....	85
Figura 7.5: Bacia do Rio Pavuna.	85
Figura 7.6: Escravos limpando o rio Meriti – Pavuna (data indisponível).....	87
Figura 7.7: Estação Ferroviária - RFFSA.....	88
Figura 7.8: Estação de Coelho da Rocha na década de 50	88
Figura 7.9: Trecho retificado do Rio Pavuna	89
Figura 7.10: Ocupação irregular nas margens do Rio Pavuna.	91
Figura 7.11: Lixo e degradação no Rio Pavuna.....	92

Figura 7.12: Lixo entulhado nas margens do Rio Meriti, após as fortes chuvas que atingiram o Estado em dezembro de 2013.....	92
Figura 7.13: Cenário de degradação do Rio Meriti - criança brinca nas margens do rio, após as fortes chuvas que atingiram a região em 2013.....	93
Figura 7.14: Alagamento na margem do Rio Pavuna.....	93
Figura 7.15: Pessoas se locomovem de barco em Rua no bairro Pavuna após forte chuva que atingiu a região em dezembro de 2013.	94
Figura 7.16: Enchente no Parque Columbia, na Pavuna em dezembro de 2013.....	94
Figura 7.17: Evolução da população do município do Rio de Janeiro no tempo.....	95
Figura 7.18: Evolução da população no tempo.	96
Figura 7.19: Uso do solo na Bacia.....	97
Figura 7.20: Barragem de Gericinó.	98
Figura 7.21: Construção da Barragem do Rio Pavuna – 1990 – 1993.	98
Figura 7.22: Construção da Barragem do Rio Pavuna – 1990 – 1993.	99
Figura 7.23: Representação esquemática de uma região dividida em células, mostrando interfaces dos escoamentos superficiais.	104
Figura 7.24: Etapas da modelagem hipotética de uma área.	106
Figura 7.25: Perfil Longitudinal do Rio Pavuna.	111
Figura 7.26: Interpolação das curvas para o Posto de Irajá.	113
Figura 7.27: Interpolação dos Dados dos Estudos Hidrológicos do Rio Iguaçu.	114
Figura 7.28: Interpolação dos Dados dos Estudos Hidrológicos do Rio Iguaçu.	115
Figura 7.29: Método de Thiessen adaptado aplicado à área de modelagem.	116
Figura 7.30: Variação do nível d'água na Baía de Guanabara devido à maré.	117
Figura 7.31: Representação dos locais de aplicação das condições de contorno.	118

Figura 7.32: Hidrograma do Rio Acari para entrada no modelo hidrodinâmico –TR25.	119
Figura 7.33: Hidrograma do Rio Acari para entrada no modelo hidrodinâmico –TR50.	120
Figura 7.34: Hidrograma do Rio Acari para entrada no modelo hidrodinâmico –TR100.	120
Figura 7.35: Divisão em células da Bacia do Rio Pavuna e parte da Bacia do Rio Sarapuí.	122
Figura 7.36: Esquema topológico de modelagem da Bacia do Rio Pavuna.	123
Figura 7.37: Cenários Simulados.	124
Figura 7.38: Regiões Críticas de Alagamento na Bacia do Rio Pavuna.	129
Figura 7.39: Local próximo à Escola Venâncio na Rua Bernardino Machado.	130
Figura 7.40: Bairro Laguna e Dourados na rua Escritora Dinha Queiroz.	131
Figura 7.41: O canal do Parque Araruama transbordando na Estrada São João Caxias.	132
Figura 7.42: Av. Sargento de Milícia, próximo ao fórum e da Rua Mercúrio, rua beirando o Rio Pavuna.	133
Figura 7.43: Praça Nossa Senhora das Dores no Bairro Pavuna.	134
Figura 7.44: Rua Honório Hermeto com Amaral Ornelas próximo ao viaduto da Pavuna.	135
Figura 7.45: Rua Dr. Bernardo Pínto Monteiro próximo ao Posto Extra.	136
Figura 7.46: Rua Nina Ribeiro esquina com Rua Maria Joaquina.	137
Figura 7.47: Em frente ao Supermercado Intercontinental, próximo ao metrô no Largo da Pavuna.	138
Figura 7.48: Descida do metrô da Pavuna.	139

Figura 7.49: Rua Honório Hermeto em frente ao Centro Educacional Colúmbia 2000.	140
Figura 7.50: Transbordamento do Rio Pavuna na Rua Coronel Eliseu.....	141
Figura 7.51: Estrada Rio do Pau no Bairro da Pavuna.	142
Figura 7.52: Estrada Rio do Pau no Bairro da Pavuna.	143
Figura 7.53: Mancha de Alagamento para TR 25anos, resultante da calibração.	144
Figura 7.54: Correspondência entre os pontos de controle e as regiões alagadas na mancha para TR 25 anos.	145
Figura 7.55: Pontos de controle considerados nos perfis do Rio Pavuna.....	147
Figura 7.56: Perfil Rio Pavuna-Meriti, Situação Atual (TR 25 anos).	148
Figura 7.57: Mancha de Alagamento, Situação Atual (TR 25 anos).....	149
Figura 7.58: Mancha de Alagamento, Situação Atual (TR 50 anos).....	149
Figura 7.59: Mancha de Alagamento, Situação Atual (TR 100 anos).....	150
Figura 7.60: Pontos de obstáculo para o escoamento superficial na Bacia.	151
Figura 7.61: Contração da calha do Rio Pavuna devido às Linhas do Metrô e Supervia.	152
Figura 7.62: Vazões do Rio Pavuna próximo a foz do Rio Acari, Situação Atual (TR 25, 50 e 100 anos).....	153
Figura 7.63: Vazões do Rio Pavuna na Estação do Metrô e Supervia, Situação Atual (TR 25, 50 e 100 anos).....	153
Figura 7.64: Vazões do Rio Pavuna na Linha Férrea, Situação Atual (TR 25, 50 e 100 anos).	154
Figura 7.65: Vazões do Rio Pavuna a Jusante do Campo de Gericinó, Situação Atual (TR 25, 50 e 100 anos).	154
Figura 7.66: Perfil Rio Pavuna-Meriti, Cenário 2 (TR 25 anos).	156

Figura 7.67: Mancha de Alagamento, Situação Passada sem Barragem (TR 25 anos).	157
Figura 7.68: Mancha de Alagamento, Situação Passada sem Barragem (TR 50 anos).	157
Figura 7.69: Mancha de Alagamento, Situação Passada sem Barragem (TR 100 anos).	158
Figura 7.70: Vazões do Rio Pavuna na foz do Rio Acari, Situação Passada sem Barragem (TR 25, 50 e 100 anos).	160
Figura 7.71: Vazões do Rio Pavuna na Estação do Metrô e Supervia, Situação Passada sem Barragem (TR 25, 50 e 100 anos).	160
Figura 7.72: Vazões do Rio Pavuna na Linha Férrea, Situação Passada sem Barragem (TR 25, 50 e 100 anos).	161
Figura 7.73: Vazões do Rio Pavuna a Jusante do Campo de Gericinó, Situação Passada sem Barragem (TR 25, 50 e 100 anos).	161
Figura 7.74: Perfil Rio Pavuna-Meriti, Cenário 3 (TR 25 anos).	163
Figura 7.75: Mancha de Alagamento, Situação Passada com a Barragem (TR 25 anos).	164
Figura 7.76: Mancha de Alagamento, Situação Passada com a Barragem (TR 50 anos).	164
Figura 7.77: Mancha de Alagamento, Situação Passada com a Barragem (TR 100 anos).	165
Figura 7.78: Áreas de alagamento do Rio Pavuna em 1990.....	166
Figura 7.79: Área desocupada próxima a foz do Rio Pavuna em 1990.	167
Figura 7.80: Evolução temporal do uso e cobertura do solo no período compreendido entre os anos de 1990 (a), 2000 (b) e 2010 (c).	169
Figura 7.81: Vazões do Rio Pavuna na foz do Rio Acari, Situação Passada com Barragem (TR 25, 50 e 100 anos).	170
Figura 7.82: Vazões do Rio Pavuna na Estação do Metrô e Supervia, Situação Passada com Barragem (TR 25, 50 e 100 anos).....	170

Figura 7.83: Vazões do Rio Pavuna na Linha Férrea, Situação Passada com Barragem (TR 25, 50 e 100 anos).	171
Figura 7.84: Vazões do Rio Pavuna a Jusante do Campo de Gericinó, Situação Passada com Barragem (TR 25, 50 e 100 anos).....	171
Figura 7.85: Área próximo à foz do Rio Pavuna –Meriti nos anos de 2003(a) e 2015(b) que foi ocupada ao longo dos anos.....	175
Figura 7.86: Área próximo à foz do Rio Pavuna –Meriti nos anos de 2003(a) e 2015(b) que foi ocupada ao longo dos anos.....	176
Figura 7.87: Área próximo à foz do Rio Pavuna –Meriti nos anos de 2003(a) e 2015(b) que foi ocupada ao longo dos anos.....	177
Figura 7.88: Área próximo à foz do Rio Acari no Rio Pavuna –Meriti nos anos de 1990(a), 2003(b) e 2015(c) que foi ocupada ao longo dos anos.....	178
Figura 7.89: Área próximo à foz do Rio Acari no Rio Pavuna –Meriti nos anos de 1990(a), 2003(b) e 2015(c) que foi ocupada ao longo dos anos.....	180
Figura 7.90: Área próximo à foz do Rio Acari no Rio Pavuna –Meriti nos anos de 1990(a), 2003(b) e 2015(c) que foi ocupada ao longo dos anos.....	181
Figura 7.91: Área próximo à foz do Rio Acari no Rio Pavuna –Meriti nos anos de 2003(a) e 2015(b) que foi ocupada ao longo dos anos.....	182
Figura 7.92: Área próximo à rodovia Presidente Dutra –Meriti nos anos de 2003(a) e 2015(b) que foi ocupada ao longo dos anos.	183
Figura 7.93: Áreas na Bacia do Rio Pavuna –Meriti nos anos de 1990(a) e 2015(b) que foram ocupadas ao longo dos anos.	184
Figura 7.94: Perfil Rio Pavuna-Meriti, Cenário 4 (TR 25 anos).	185
Figura 7.95: Mancha de Alagamento, Cenário 4 (TR 25 anos).....	186
Figura 7.96: Mancha de Alagamento, Cenário 4 (TR 50 anos).....	186
Figura 7.97: Mancha de Alagamento, Cenário 4 (TR 100 anos).....	187

Figura 7.98: Vazões do Rio Pavuna na foz do Rio Acari, Cenário 4 (TR 25, 50 e 100 anos).	190
Figura 7.99: Vazões do Rio Pavuna na Estação do Metrô e Supervia, Cenário 4 (TR 25, 50 e 100 anos).....	190
Figura 7.100: Vazões do Rio Pavuna na Linha Férrea, Cenário 4 (TR 25, 50 e 100 anos).	191
Figura 7.101: Vazões do Rio Pavuna a Jusante do Campo de Gericinó, Cenário4 (TR 25, 50 e 100 anos).....	191
Figura 7.102: Compatibilização das células com os setores censitários de 2010.	192
Figura 7.103: Densidade de Domicílios em 1990.	193
Figura 7.104: Densidade de Domicílios em 2010.	194
Figura 7.105: Mapa de risco, Situação Atual (TR 25 anos).	195
Figura 7.106: Mapa de risco, Situação Atual (TR 50 anos).	196
Figura 7.107: Mapa de risco, Situação Atual (TR 100 anos).	196
Figura 7.108: Mapa de risco, Situação Passada sem Barragem (TR 25 anos).	197
Figura 7.109: Mapa de risco, Situação Passada sem Barragem (TR 50 anos).	197
Figura 7.110: Mapa de risco, Situação Passada sem Barragem (TR 100 anos).	198
Figura 7.111: Mapa de risco, Situação Passada com Barragem (TR 25 anos).....	198
Figura 7.112: Mapa de risco, Situação Passada com Barragem (TR 50 anos).....	199
Figura 7.113: Mapa de risco, Situação Passada com Barragem (TR 100 anos).....	199
Figura 7.114: Mapa de risco, Cenário 4 (TR 25 anos).	200
Figura 7.115: Mapa de risco, Cenário 4 (TR 50 anos).	200
Figura 7.116: Mapa de risco, Cenário 4 (TR 100 anos).	201

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 7.1: População total dos municípios inseridos na Bacia do Rio Pavuna.	95
Tabela 7.3: Características das Barragens.	100
Tabela 7.4: Tempo de concentração da Bacia do Rio Pavuna.....	111
Tabela 7.5: Chuva de Projeto e Intensidade para Diferentes Tempos de Recorrência.	113
Tabela 7.6: Chuva de Projeto e Intensidade para Diferentes Tempos de Recorrência.	114
Tabela 7.7: Chuva de Projeto e Intensidade para Diferentes Tempos de Recorrência.	114
Tabela 7.8: Chuva de Projeto e Intensidade para Diferentes Tempos de Recorrência.	115
Tabela 7.9: Postos Pluviométricos e suas áreas de contribuição.	116
Tabela 7.10: Parâmetros de separação da chuva efetiva na área modelada por células.	121
Tabela 7.11: Vazões Máximas na foz do Rio Acari.	128
Tabela 7.12: Vazões Máximas no orifício da Barragem de Gericinó.	129
Tabela 7.13: Diferença percentual das vazões entre o cenário 1 e 2.	159
Tabela 7.14: Tabela comparativa de vazões entre os cenários 1 e 3.	172
Tabela 7.15: Tabela comparativa de vazões entre os cenários 2 e 3.	173
Tabela 7.16: Tabela comparativa de vazões entre os cenários 1 e 4.	189
Tabela 10.1: Parâmetros de separação da chuva efetiva na área modelada por células.....	231

1. Introdução

Dentre os muitos riscos naturais que sempre foram objeto de intensa preocupação ao longo de gerações, têm-se as cheias como um dos riscos mais comuns e que mais impactam populações desde a antiguidade. De acordo com Petak e Atkison (1982), povos antigos acreditavam que enchentes estavam relacionadas a um Deus malevolente e eram eventos totalmente imprevisíveis. No decorrer dos anos, porém, tornou-se senso comum que as cheias podem ser, em muitos casos, previstas e suas causas compreendidas.

Chow (1956) define cheia como um fenômeno hidrológico extremo, de frequência variável, natural ou induzido pela ação humana, que consiste no transbordamento de um curso de água em seu leito adjacente, originando a inundação nos terrenos ribeirinhos.

De forma mais abrangente, Douben e Ratnayake (2005) definiram as cheias como o alastramento dos limites normais de um rio ou lago, sendo este o resultado de precipitação intensa ou da falta ou extrapolação da capacidade de descarga da drenagem ou da falha de estruturas de controle de cheias, afetando áreas que não são normalmente submersas. Na mesma linha de raciocínio, porém de forma simplificada, a Diretiva Européia (2007) e o projeto Floodsite (2009) entendem as cheias como a inundação temporária de áreas que não são normalmente submersas.

É importante destacar que são inúmeros os fatores que influenciam para o caráter variável das cheias, e consoantes com estes, as cheias podem ser caracterizadas de acordo com os seus agravantes, como é o caso das cheias urbanas.

Inundações urbanas são o resultado não apenas da componente natural como também da componente social que altera o ambiente da bacia hidrográfica em que ocorrem. Este tipo de cheia depende das características hidrológicas da região, das condições e uso do solo, da topografia e da qualidade do sistema de drenagem existente.

As características hidrológicas de uma área estão intimamente ligadas ao tipo de uso e ocupação do solo (Rezende, 2010). De todas as mudanças no uso do solo que afetam a hidrologia de uma área, Leopold (1964) aponta a urbanização como a mais influente de todas.

De acordo com Leopold (1964), existem quatro efeitos na hidrologia de uma determinada área, decorrentes de mudanças no uso do solo. Tais efeitos são inter-relacionados, porém distintos, sendo eles:

- Mudança na quantidade do escoamento superficial (*runoff*);
- Mudança nas características da vazão de pico de escoamento (*peak flow*);
- Mudança nas amenidades hidrológicas (*hydrologic amenities*) - cuja função é amenizar os efeitos causados pela chuva, como é o caso da mudança de vegetação;
- Mudança na qualidade da água.

Atualmente, mais do que apenas compreender o fenômeno das inundações e tentar reduzir os alagamentos resultantes, expande-se o conceito e busca-se reduzir os riscos associados aos alagamentos, considerando conjuntamente aspectos socioeconômicos e os danos envolvidos.

O risco está condicionado à existência de um perigo, ou seja, um evento ou fonte de origem de risco. ISO/EC (1999) define o risco como sendo a combinação entre a probabilidade de ocorrência de um dano e a severidade do mesmo. De forma mais abrangente, o projeto FLOODSITE (2005) entende o risco como a expectativa da quantidade de vidas perdidas, pessoas atingidas, danos às propriedades e a interrupção da atividade econômica devido a um fenômeno natural particular, e consequentemente, o produto de um perigo específico (probabilidade) e dos elementos expostos a este perigo.

Por sua vez, perigos naturais são definidos por Petak e Atkison (1982) como aqueles que ocorrem na natureza e são capazes de provocar danos e fatalidades, neste caso, configura-se o risco. No entanto, a simples ocorrência deste evento não determina a presença de risco. A atividade humana interfere significativamente no sentido de alterar a frequência com que estes eventos ocorrem, aumentando ou diminuindo sua severidade e intensidade, modificando o tamanho da área impactada, influenciando a taxa de exposição das pessoas e de propriedades, e interferindo na vulnerabilidade e exposição ao perigo, e consequentemente, no risco.

Procurando mitigar o risco decorrente de mudanças nas características hidrológicas, o problema das enchentes urbanas foi abordado em muitos casos sem que

fosse considerada a complexidade sistêmica da bacia hidrográfica. Assim, rios foram canalizados, retificados, dragados e receberam diques ao longo de suas margens, eventualmente com a transferência do problema de cheias e a degradação ambiental.

Tais intervenções, consideradas tradicionais, configuram, muitas vezes, soluções locais e traduzem-se pelo aumento da capacidade do sistema de drenagem, para remover de maneira rápida e o mais eficiente possível as águas pluviais dos centros urbanos. Sua atuação é sobre os escoamentos gerados, não agindo sobre as suas causas. A característica desse sistema é atuar de forma localizada e isolada para resolver um problema já existente.

Sob esta concepção, é comum observar a procura por soluções voltadas para a simples adaptação local do sistema de drenagem aos padrões de escoamento das águas pluviais modificados pelo processo de urbanização, sem considerar a bacia hidrográfica como um sistema interligado e em constante desenvolvimento.

A histórica ausência de soluções integradas e harmônicas entre os sistemas urbanos e os sistemas naturais é um fator significativo para a ocorrência de enchentes frequentes (Pompêo, 2000) e o agravamento de sua severidade.

Dentre os problemas mais comuns, relativos a esta questão, está a falta ou existência precária de uma política planejada de uso e ocupação do solo, atrelada à aplicação de práticas tradicionais de mitigação de cheias, o que tende a produzir resultados, infelizmente pouco satisfatórios e, em muitos casos, ainda piores que no período anterior às intervenções realizadas na rede de drenagem.

Dentre as consequências provenientes deste cenário, destaca-se o surgimento de um falso senso de segurança pública associada a introdução de obras fluviais, o que provoca uma intensa migração da população para áreas cujo risco foi supostamente reduzido pelas obras de drenagem e conseqüentemente implicam no aumento da exposição às cheias, em casos que superem a previsão do projeto.

Nessa linha, é importante destacar que projetos estruturais de controle de cheias são dimensionados para resistir a cheias com um determinado risco calculado de ocorrência. Na ocasião de um evento de maior magnitude, a estrutura certamente não será capaz de enfrentar o acréscimo ocorrido, e a falha funcional provavelmente provocará uma cheia

que poderá afetar áreas que se imaginavam protegidas e que estarão neste caso francamente expostas.

Dessa forma, entende-se que as soluções para o problema de inundação, sejam elas preventivas ou mitigadoras, não devem se restringir a medidas estruturais. O correto planejamento do uso do solo, bem como a educação da população permitem alcançar bons resultados na gestão de enchentes, constituindo-se em algumas das chamadas medidas não-estruturais de controle de cheia (Zonensein,2007).

O desafio, no entanto, é que as práticas de engenharia para controle de enchentes sejam implantadas de forma integrada e distribuída ao longo de toda a bacia e incorporadas às ações de planejamento e uso do solo. Há a necessidade de considerar aspectos espaciais, temporais e sociais de forma acoplada, para que as soluções propostas para o manejo adequado das águas pluviais funcionem adequadamente e em longo prazo.

Nesse sentido, Miguez e Magalhães (2010) entendem que o foco atual deve enfatizar uma abordagem sistêmica, considerando toda a bacia hidrográfica, e que ações distribuídas ao longo da bacia devem se integrar ao sistema de drenagem a fim de controlar os escoamentos. Além disso, a manutenção do controle sobre o uso do solo, ao longo do tempo, deve fazer parte da solução.

A aplicação de políticas públicas que considerem o planejamento do uso e ocupação do solo torna-se imprescindível, então, surgindo como diretriz primordial para o planejamento das cidades. Medidas estruturais e não estruturais devem funcionar conjuntamente de forma a criar cidades resilientes em que o planejamento de inundações urbanas seja de fato efetivo.

Nesse trabalho, em particular, propõe-se avaliar essa discussão, que envolve a combinação de medidas estruturais de controle de cheias em áreas urbanas com a posterior falta de controle do uso e ocupação do solo, em um estudo de caso associado ao rio Pavuna, localizado na região da Baixada Fluminense no Rio de Janeiro e que esta sujeito a frequentes inundações.

1.1 Objetivos

1.1.1. Geral

O objetivo do presente trabalho consiste em avaliar e discutir o efeito da implantação de medidas estruturais para controle de cheias, em termos de redução de riscos, ao longo do tempo, quando estas não são seguidas por um adequado planejamento e controle do uso e ocupação do solo. Na medida em que se intensifica a ocupação nas áreas protegidas por estas medidas, regiões vitais ao sistema proposto são ocupadas aumentando assim as taxas de impermeabilização da bacia, e consequentemente o risco de cheias tende a elevar consideravelmente, devido aos sistemas socioeconômicos expostos, configurando, assim, um cenário de baixa resiliência da cidade.

O objeto empírico desta dissertação será a Bacia do Rio Pavuna, sua relação com o processo de urbanização ocorrido após a construção da barragem de Gericinó e o diagnóstico de cheias desta região, para diferentes recorrências, com e sem barragem.

1.1.2. Específicos

Os objetivos específicos desse trabalho são detalhados a seguir:

- Caracterizar a Bacia do Rio Pavuna e o seu processo de urbanização, avaliando, inclusive, as modificações introduzidas no padrão de ocupação do solo da bacia, após a introdução da Barragem de Gericinó;
- Utilizando ferramentas de modelagem matemática, em particular o modelo MODCEL, caracterizar o comportamento hidrológico e hidrodinâmico da bacia, antes da construção da barragem, para a chuva de referência de projeto da barragem, de 25 anos de tempo de recorrência, e para tempos de recorrência maiores, respectivamente iguais a 50 e 100 anos de tempo de recorrência;
- Realizar a análise de risco de cheias, para cada cenário anterior à implementação da barragem (ano de 1990);
- Caracterizar o comportamento hidrológico e hidrodinâmico da bacia, logo após a construção da barragem, com uma menor densidade urbana, para a chuva de referência de projeto da barragem, de 25 anos de tempo de

recorrência, e para tempos de recorrência maiores, respectivamente iguais a 50, 100 anos de tempo de recorrência;

- Realizar a análise de risco de cheias, para cada cenário após a implementação da barragem (ano de 1990);
- Caracterizar o comportamento hidrológico e hidrodinâmico da bacia, duas décadas após a construção da barragem, para a chuva de referência de projeto da barragem, de 25 anos de tempo de recorrência, e para tempos de recorrência maiores, respectivamente iguais a 50, 100 anos de tempo de recorrência;
- Realizar a análise de risco de cheias, para cada cenário da Situação Atual;
- Análise comparativa dos resultados de avaliação do risco, em cada conjunto de cenários (com e sem barragem);
- Discutir a necessidade de integração da aplicação de medidas estruturais de controle de cheias com o posterior planejamento e controle do uso e ocupação do solo, considerando os processos de urbanização da bacia, para adequada efetividade dos resultados; e
- Propor um possível cenário alternativo de projeto para reduzir o risco de cheias no cenário atual.

1.2 Hipótese de Trabalho

A hipótese de trabalho a ser verificada com esta dissertação postula que medidas estruturais de controle de enchentes, desacompanhadas de medidas de organização, planejamento e controle de ocupação do solo, podem ter seus resultados comprometidos em longo prazo, tendo em vista que as populações crescem, planícies de inundação são ocupadas, e, conseqüentemente danos causados por enchentes continuam a aumentar, requerendo assim novas formas de defesa.

A crença na infalibilidade do sistema pode induzir um sentimento de falsa segurança, ou, mais precisamente, um sentimento de segurança absoluta, levando à ocupação de áreas naturalmente perigosas, que se encontram agora protegidas para certo horizonte de projeto, configurado pelo tempo de recorrência. No entanto, como todas as obras são dimensionadas para atuar em um cenário específico de cheias, ao não considerarem cenários futuros de ocupação da bacia pode ocorrer um agravamento considerável do risco de cheias na região. Assim, os sistemas urbanos introduzidos na

“área protegida” configuram uma grande exposição ao risco, provavelmente também associada a uma grande vulnerabilidade intrínseca, uma vez que os ocupantes da área se julgam a salvo.

2. O Planejamento Urbano

Planejamento da cidade, por natureza, está essencialmente preocupado em modelar o futuro (Ward, 1994). O planejamento é um elemento fundamental para compreender a produção e organização do espaço urbano, pois ele expressa os interesses dos segmentos coexistentes na cidade e pode justificar ou não a ação deles (Cruz, 2011).

Em linhas gerais, o planejamento pode ser entendido como sendo um processo de trabalho permanente, que tem por objetivo final a organização sistemática de meios a serem utilizados para atingir uma meta, que contribuirá para a melhoria de uma determinada situação (Ferreira Junior, 2004).

A teoria do planejamento urbano além de incorporar ideias para futuras mudanças e práticas de planejamento, reflete também os valores existentes da sociedade, a cultura, a tecnologia, as tendências econômicas e demográficas.

Muitos autores entendem que o planejamento urbano faz parte de uma ciência maior denominada Urbanismo. Porém, observa-se pouca clareza entre a distinção dos termos urbanismo e planejamento urbano. Ultramari (2009) entende que o conceito de Urbanismo tende a se aproximar do Planejamento Urbano quando se pretende entender o desenho proposto para a cidade a partir das relações da sociedade.

Assim, Ultramari (2009), ao procurar clarear as ideias acerca desta distinção entre os significados, conclui, por fim, que tal questão é de difícil discernimento: em algum momento, o urbanismo pareceu resultar de uma ciência maior – o planejamento urbano; em outros, tem-se a certeza que o correto seria entender esta questão de forma inversa. Por vezes, ainda, sugere a utilização indistinta entre urbanismo e planejamento urbano. Percebe-se, desta forma, o quão complexa é a abordagem deste tema.

Esta falta de clareza entre o uso dos termos urbanismo e planejamento urbano é facilmente entendida ao se definir as atribuições do urbanista. Isto porque a complexidade do profissional do urbanismo/planejamento urbano dirige-se, obrigatoriamente, a uma abordagem multidisciplinar.

Hoje, a atividade concreta do urbanista se abre para um conjunto muito amplo de temas e técnicas. De acordo com Secchi (2006), alguns consideram que este conjunto seja muito amplo, visto que uma prática que abarca questões e temas tão distantes

difícilmente possa corresponder um saber unitário com suficiente profundidade e rigor. A história progressiva e cada vez mais minuciosa da divisão de trabalho intelectual é uma demonstração disso (Secchi, 2006).

Entretanto, independente da existência de distinção ou não entre os termos urbanismo e planejamento urbano e a forma como se correlacionam, é importante destacar que o urbanista assume um papel de imensa relevância no que tange a organização da cidade. Secchi (2006) identifica que a ação do urbanista foi, por muito tempo, apresentada não só como aquilo que põe fim a um inexorável processo de agravamento das condições da cidade ou do território examinados, mas como o início de um virtuoso processo de melhoria.

Enfim, o Urbanismo/ planejamento urbano é apresentado como uma disciplina cuja finalidade é o controle do crescimento e das transformações espaciais dos assentamentos urbanos. Nele, propõe-se a resolver conflitos sociais, aperfeiçoando um projeto de organização técnica da cidade e da regulamentação do uso do solo, segundo uma divisão lógica dos setores públicos e privados (Calabi, 2012).

Os próximos subcapítulos tratam dos aspectos históricos, em âmbito geral e nacional, referentes ao planejamento urbano, que levaram ao cenário de ocupação urbana existente nos dias de hoje. Tal cenário é importante para compreender a origem dos problemas sociais que se relacionam com a ausência e, muitas vezes, a ineficiência das políticas públicas voltadas para o controle do uso e ocupação do solo, que são tratadas neste estudo.

2.1. Aspectos Históricos do Urbanismo

Como disciplina autônoma, o Urbanismo nasceu na segunda metade do século XIX, em resposta aos problemas gerados pela progressiva industrialização, pelo rápido aumento da população e do movimento em algumas áreas. A cidade sofreu uma mudança espontânea que pareceu decorrer de um fenômeno natural incontrolável.

Secchi (2006) aponta que através da figura da concentração, os aspectos físicos da cidade e do território são postos em um vínculo lógico com as relações sociais.

O pesadelo da concentração e de tudo quanto a ela está associado e dela resulta como consequência inevitável, isto é, as multidões, o congestionamento, a falta de

higiene, e tudo aquilo que, na segunda metade do século XIX, significou desmoralização e degeneração da população urbana, absorve o pensamento social (Secchi, 2006).

Assim, visando solucionar os problemas gerados com a aglomeração urbana, o urbanismo nasceu como fruto do encontro dos estudos conduzidos sobre a cidade por higienistas, sociólogos, geógrafos, demógrafos, junto com a engenharia, encontrando inicialmente seus fundamentos em um número limitado de textos publicados entre 1859 e logo nos primeiros anos do século XX.

O urbanismo pode ser entendido como uma disciplina com diferentes vertentes e objetivos. Baseado neste conceito, Calabi (2012) afirma que o urbanismo foi, ao longo da história, interpretado de diferentes formas:

(...)foi interpretado como disciplina científica porque procura leis entendidas como fatos gerais; foi também proposto como disciplina histórica, na medida em que se afirmava, institucional e socialmente, através de uma narrativa atenta aos modos de formação e transformação da cena física, como expressão viável dos fenômenos sociais. Mais tarde foi visto como disciplina jurídica, tendo como característica distintiva a possibilidade de se dissolver em um conjunto de normas, um sistema de obrigações que permanecem válidas, mesmo se o sujeito transgredi-las ou não utilizá-las (CALABI, 2012, p. xxi).

Esta disciplina ocupa-se das transformações do território, do modo como estas transformações acontecem e aconteceram, dos sujeitos que as promovem, de suas intenções, das técnicas utilizadas, dos resultados esperados, dos êxitos obtidos, dos problemas que surgem, um de cada vez, induzindo novas transformações (Secchi, 2006).

O período de formação do urbanismo, com características autônomas, é situado entre os anos de 1859 e 1913. Hoje o urbanismo possui aproximadamente um século e meio de vida, ao longo do qual é possível traçar uma linha de desenvolvimento por 4 fases.

Um primeiro período situa-se entre meados do século XIX e a primeira guerra mundial, quando, nessa fase, o urbanismo, ao enfatizar os aspectos negativos, compromete-se a propor soluções aos “males” que afligem as cidades. Nesta época, são evidenciadas as péssimas condições de vida urbana a serem enfrentadas com instrumentos de projeto.

Dentre as soluções encontradas, têm-se inicialmente a organização da população em vilas operárias que são conjuntos compactos de habitações e serviços comunitários. Seus idealizadores propunham conciliar os modos da intervenção pública com os da experiência utópica, em um projeto que lhes permitisse se resguardar dos respectivos inconvenientes (Calabi, 2012).

Em sequência, com um significado oposto, nasce o plano de ampliação que tem origem pela aceitação de que é indispensável alguma forma de organização geral do crescimento urbano. Neste, eram definidos os limites entre as esferas de intervenção, e, como consequência, o processo de planejamento foi reduzido à elaboração de uma planimetria da proposta, na qual estão traçados os limites entre as partes do solo destinados a diferentes elementos urbanos (Calabi, 2012).

Outra resposta aos problemas da cidade industrial no final do século foi o modelo de ocupação de baixa densidade, as cidades-jardim. Neste caso, os problemas das sociedades poderiam ser enfrentados unicamente abordando-se as questões que se manifestavam de maneira diferente na cidade e no campo, isto é, unindo as vantagens de uma e de outra (Howard *apud* Calabi, 2012).

Estas foram algumas das soluções propostas na época para contornar os problemas gerados com a urbanização. Percebe-se assim, que a nova disciplina individualiza o próprio campo de aplicação, por um lado, controlando o processo de ampliação da cidade e por outro, na organização da cidade existente e, desta forma, especificando uma série de instrumentos, de projetos, normas que ainda hoje são em parte utilizadas na prática urbana corrente.

A partir do fim do século XIX, legislação, regulamento construtivo, zoneamento e o plano diretor passam a ser instrumentos que se destinam, essencialmente, a fornecer critérios sobre a criação do espaço para milhões de pessoas que se concentram na cidade. (Calabi, 2012). Constata-se, assim, que estes instrumentos são utilizados para conter e organizar o crescimento “natural” das cidades, regulamentando o espaço.

A segunda fase da história do urbanismo se iniciou na primeira década do século XX e durou até a segunda guerra mundial. Neste momento, tem-se a consolidação dos temas e da ampliação do objeto do plano a um âmbito extraurbano.

Surge uma repentina mudança de escala: do perímetro urbano ao território da conurbação, do plano diretor urbano ao regional.

Calabi (2012) indica que fez-se necessário considerar, como horizonte de planejamento, territórios bem mais amplos do que aqueles até então definidos como superfície urbanizada, seja para a distribuição das atividades produtivas, seja para uma localização equilibrada dos parques e áreas verdes e, finalmente, mas diretamente ligado às questões precedentes, de acionar os procedimentos econômicos, jurídicos e financeiros com o propósito de oferecer um parque habitacional de baixo custo a ser realizado por uma entidade pública.

Neste período, um marco de grande importância, que merece destaque nesta discussão, diz respeito à teoria e tradição da sociologia urbana norte-americana da Escola de Chicago, com suas variações entre a abordagem cultural e a abordagem dita ‘ecológica’.

Entre 1915 e 1940, a Escola de Chicago produziu um vasto e variado conjunto de pesquisas sociais, direcionado à investigação dos fenômenos sociais que ocorriam especificamente no meio urbano da grande metrópole norte-americana. A principal motivação foi o interesse em buscar soluções concretas para uma cidade caótica marcada por um intenso processo de industrialização e de urbanização, que culminou em seu crescimento demográfico espantoso, seu imenso contingente imigratório, seus guetos de diferentes nacionalidades geradores de segregação urbana, sua concentração populacional excessiva e suas condições de vida e de infraestrutura precárias (Cancin, 2009).

A teoria de Robert Park, ilustre representante da Escola, sobre a ecologia humana e as áreas naturais pressupõe uma analogia entre o mundo vegetal e animal, de um lado, e o mundo dos homens, de outro (Sant’Anna, 2002). De acordo com Monte Mór (2006), Park se centrou na transformação das relações de competição, tomadas como inerentes à sobrevivência do indivíduo em uma comunidade, e a emergência e construção de consensos e objetivos comuns, tomadas como elementos da constituição de uma sociedade. O sentido ecológico desta abordagem se centrava no conceito de área natural desenvolvido por Park, assumindo que as forças competitivas naturais tendem a produzir um equilíbrio também ‘natural’ de adaptação social ao ambiente urbano. O estudo da cidade, a partir da visão ecológica se daria através da análise de uma série de

processos interativos, mas especialmente de quatro: competição, conflito, adaptação e assimilação (Bettin, 1982; Gottdiener, 1993 *apud* Monte Mór, 2006).

As relações entre os indivíduos e entre os indivíduos e o meio ambiente seriam assim condicionadas pela competição e pelo conflito, determinando a distribuição territorial e sua vocação profissional. Em consequência desta situação, os indivíduos passariam a ter problemas de adaptação à ordem social que lhes teria sido imposta. A contrapartida ao problema da adaptação seria a assimilação à ordem social a partir de profundos e contínuos contatos sociais (Bettin, 1982 *apud* Monte Mór, 2006).

A abordagem ecológica define o espaço de maneira específica. Isto é, o espaço não é um invólucro vazio, mas um meio completo no qual a atividade de adaptação e de cooperação dos indivíduos ou dos grupos encontra recursos. Essa visão ecológica marca o início de um estudo mais sistemático sobre a cidade, ao menos tradicionalmente, fornecendo a base teórica para a constituição da Sociologia Urbana (Sant'Anna, 2003).

Monte Mór (2006) entende que a abordagem ecológica é reconhecida como o primeiro esforço teórico abrangente para uma abordagem social compreensiva da cidade, ganhando força nos Estados Unidos.

A apresentação em 1924 do primeiro curso de ecologia urbana por Robert Park e Roderick McKenzie especifica que não se trata de estudar a relação de uma população com seu território, mas a relação entre duas populações num mesmo território (Valladares e Lima, 2000).

A terceira fase (1944-1970) corresponde à confiança nas possibilidades operativas do projeto de intervenção e à esperança, após as destruições bélicas, da segunda reconstrução.

Nesta fase, junto com a ideia de descentralização, divulga-se salvaguarda do cinturão verde e da expansão das cidades satélites assim como a descentralização industrial como objetivo o desenvolvimento regional.

Surge, nesta época, um conceito notavelmente importante que deve ser amplamente considerado nos dias atuais e deve servir como base para qualquer planejamento: o conceito de planejamento contínuo ou planejamento como processo. Astengo (1968) teoriza sobre este, indicando que decisões urbanísticas devem estar ligadas entre si e

devem ser coerentes com o processo de desenvolvimento real, considerando o crescimento demográfico. Além disso, considera que tais decisões devem ser “operacionais” para a consecução dos objetos definidos e articulados nos planos de longo, médio e curto prazo, através dos atos de intervenção de caráter executivo, nos quais as decisões públicas devem ter valor prioritário, de orientação para o setor privado.

O planejamento urbano deve ser, em todas as suas fases, coerente com o planejamento econômico.

Finalmente, na quarta fase, que abrange nossos dias, identifica-se o desaparecimento da convicção de que o problema central fosse controlar o crescimento.

Além disso, a capacidade de projetar, que no passado era própria do urbanista e o tornava um especialista público, hoje é distribuída entre sujeitos cada vez mais numerosos que, juntos, propõem “pacotes complexos” nos quais são evidenciados alguns problemas, suas descrições e soluções (Calabi, 2012).

Os instrumentos urbanísticos identificam-se, cada vez mais, com uma série de procedimentos que visa regular, de forma duradoura, as relações e comportamentos de um conjunto de grupos sociais, locais e de interesse.

Neste contexto, em 1972, Castells publicou a obra *La question urbaine*, que consiste em uma abordagem marxista sobre a questão urbana realizada num contexto caracterizado pela explosão das lutas urbanas e pela politização do urbano em todo o mundo. Em seu trabalho, faz uma dura crítica à Escola de Chicago, rejeitando a análise do espaço focada na cultura urbana e propondo que esta seja realizada através da compreensão da estrutura social e da determinação do espaço pelos modos de produção. Entende que a análise do espaço leva a compreender como ele é determinado pelos sistemas econômico, político e ideológico. A inovação desta obra, foi a introdução da política e dos conflitos sociais no centro da problemática urbana (Silva, 2010).

Costa (2001) afirma que muita coisa mudou na trajetória das questões urbanas, tanto na leitura da realidade como no desenvolvimento teórico, desde os precursores trabalhos críticos do final dos anos sessenta e início dos setenta, como é o caso da obra de Castells (1972), que se perguntava se havia (epistemologicamente falando) uma sociologia urbana.

De acordo com Costa (2001), o urbano continuou na linha de frente dos estudos sociais no início dos anos oitenta, desta vez como palco e como elemento gerador dos chamados novos movimentos sociais ligados principalmente à provisão e ao acesso aos então denominados meios de consumo coletivo. Os estudos passam a seguir a enfatizar então, os sujeitos destas e outras ações, como agentes catalisadores das práticas sociais, há uma valorização do cotidiano e dos estudos locais e localizados, o indivíduo é redescoberto. Esta pulverização de abordagens que passa a caracterizar a entrada na década de noventa parece cobrir diferentes nuances do espectro político.

De acordo com Secchi (2012), temas emergentes na fase em que se encontra o urbanismo são principalmente os ambientais e econômicos, a procura de um desenvolvimento sustentável do território. Consequentemente, aumenta a preocupação com a requalificação urbana e ambiental, tema este que tem ganhado grande notoriedade em diversos projetos urbanos dos dias atuais.

Poucos conceitos têm sido recentemente tão utilizados e debatidos como o de desenvolvimento sustentável. Pode-se identificar claramente mudanças de enfoque na definição da problemática ambiental nos últimos anos: da passagem de enfoques considerados conservacionistas, prevalentes no início dos anos setenta, para aqueles que buscam associar desenvolvimento econômico à preservação ambiental, consagrando assim a ideia de sustentabilidade, considerada como a atual linguagem do ambientalismo (Peet; Watts, 1996 *apud* Costa, 2001).

Costa (2001) entende que o conceito de desenvolvimento sustentável vem se transformando num enorme "guarda-chuva" capaz de abrigar uma variada gama de propostas/abordagens inovadoras, progressistas, ou que, pelo menos, caminhem na direção de maior justiça social, da melhoria da qualidade de vida da população, de ambientes mais dignos e saudáveis, de compromisso com o futuro.

Um divisor de águas importante nesta discussão do ponto de vista da interface entre análise ambiental e as ciências sociais, diz respeito à aceitação ou não do atual projeto de modernidade (capitalista ocidental) que tem no discurso acerca do desenvolvimento (sustentável) a sua mais abrangente tradução (Costa, 2001).

Em síntese, pode-se dizer que o campo dos estudos ambientais vem experimentando simultaneamente o alargamento de suas bases conceituais e a

multiplicação da quantidade de estudos e áreas do conhecimento envolvidas. Em grande parte destes trabalhos, a dimensão espacial/urbana das análises permanece subestimada, às vezes inexistente, ou ainda, numa perspectiva mais radical, até mesmo negada como não-ambiental, não-natural (Costa, 2001).

Por fim, pode-se dizer que a tomada de consciência no que diz respeito às questões tipicamente urbanas e a necessidade de intervir sobre elas surgem juntamente com a consolidação do capitalismo ocidental em sua versão de concentração urbano-industrial iniciada na Europa e expandida para diferentes partes do mundo.

2.2. Planejamento Urbano no Brasil

O processo de urbanização brasileiro adquire relevância, praticamente, no século XX. Foi na década de 1950, que o Brasil passou a ser um país majoritariamente urbano. No entanto, mesmo ainda não havendo uma denominação formal e nem estruturas formais nas administrações públicas, o planejamento urbano, teve seu início no final do século XIX.

A história do planejamento urbano no Brasil, do ambiente construído, conforme aponta Maricato (2001), apresenta um longo trajeto, com herança de oligarquias políticas, e que, segundo esta autora, traz consigo características históricas de uma sociedade de raízes coloniais, que nunca rompeu com a assimetria em relação à dominação externa e que, internamente, nunca rompeu tampouco com a dominação fundada sobre o patrimonialismo e o privilégio.

Diferentemente da história do planejamento europeu, que ao propor soluções à desordem urbana, abarcava juntamente as questões sociais de forma mais concreta e efetiva, o planejamento urbano no Brasil não contou com o mesmo desenvolvimento. Ao longo de toda história, o planejamento urbano no Brasil foi marcado por uma sequência de fatos que contribuíram e muito para aprofundar a desigualdade social no país, na medida em que privilegiava uma pequena classe dominante. A exclusão e segregação são marcas constantes da trajetória não só da urbanização, mas do urbanismo e do planejamento urbano no Brasil.

Historicamente, esse padrão de urbanização desigual, excludente e predatório caminhou de mãos dadas com políticas clientelistas e critérios patrimonialistas de

atendimento às demandas sociais por serviços, equipamentos e infra-estruturas urbanas (Faria e Schaversber, 2003).

Para Villaça (1999), por estar atrelado aos interesses da classe dominante, o planejamento urbano no Brasil é: “(...) apenas discurso, o planejamento é uma fachada ideológica, não legitimando ação concreta do Estado, mas, ao contrário, procurando ocultá-la”.

Villaça (1999) ao tratar sobre a história do planejamento urbano no Brasil apresenta três importantes períodos, os quais permitem analisar o caráter do mesmo. Os períodos destacados pelo autor compreendem: 1875 – 1930; 1930 a 1990; e de 1990 em diante.

O período entre 1875 e 1930 é marcado pela proposta da nova classe dominante, que “rejeita” o passado colonial e usa o planejamento para impor a sua ideologia (PNCC, 2013). Obras de embelezamento e melhoramento tiveram destaque, sobretudo nas cidades do Rio de Janeiro e de São Paulo. Neste período surgem as grandes avenidas, praças e monumentos. Entretanto ressalta-se, que não há preocupação, até então, com todos os habitantes das cidades.

Um marco importante deste período compreende as Reformas de Pereira Passos (1903 – 1906), ocorridas no Rio de Janeiro, as quais trazem dois elementos importantes do urbanismo: a sua primeira fase higienista, na qual predominavam os médicos sanitaristas, e a segunda fase na qual os engenheiros e técnicos buscavam soluções para o saneamento e a circulação na cidade, além da preocupação com o padrão construtivo (PNCC, 2013). Neste sentido a face ideológica do planejamento urbano faz-se presente com a presença de um discurso baseado no privilegiamento dos interesses da classe dominante.

O segundo período inicia-se na década de 1930, e nele a cidade passa a ser vista como força de produção. Deixa-se a “cidade bela”, para buscar-se a “cidade eficiente”.

Nas décadas iniciais do século XX, as cidades brasileiras eram vistas como a possibilidade de avanço e modernidade em relação ao campo, que representava o Brasil arcaico. A salvação parecia estar nas cidades, onde o futuro já havia chegado. Entretanto, Santos (1986), aponta que todas as esperanças que a cidade despertava na sociedade, não passavam de mera expectativa e a prática, de fato, era muito diferente.

Villaça (1999) entende que este período foi marcado pela tentativa de esconder a origem dos problemas, atribuindo ao planejamento a função de solucioná-los. Os problemas eram, portanto, entendidos como fruto do crescimento caótico, para os quais a solução estaria no planejamento racional com técnicas e métodos bem definidos.

Em sequência, na esteira das Reformas de Modernização do Estado, na chamada “Era Vargas”, tem-se a divulgação dos planos para cidades do Brasil.

Assim, com a construção dos planos, o discurso se tornou cada vez mais hegemônico; todavia, com o processo de urbanização e a consequente intensificação da desigualdade, surgiram movimentos urbanos que passaram a contestar esse discurso (Cruz, 2011).

Surge, assim, uma nova maneira de formular o planejamento com o objetivo de abranger os aspectos gerais da cidade e seus problemas, denominado “plano geral, como, por exemplo, os planos Agache no Rio de Janeiro e Prestes Maia em São Paulo. A principal novidade desses planos era o destaque para a infra-estrutura, principalmente a de saneamento e transportes. (Cruz, 2011)

De acordo com Villaça (1999), os planos representaram três diferentes períodos no Brasil, entre os anos de 1930 a 1990: Urbanismo e plano diretor (1930-1965 – apresentado anteriormente); do planejamento integrado e dos superplanos (1965-1971) e dos planos sem mapa (1971-1992).

Nos anos 60 e 70, o planejamento urbano tradicional se consolida, sendo denominado planejamento integrado. O planejamento integrado trazia no discurso a necessidade de ver a cidade além de seus aspectos físicos. Dessa forma o argumento era que “Os planos não podem limitar-se a obras de modelagem urbana; eles devem ser integrados tanto do ponto de vista interdisciplinar como do ponto de vista espacial, integrando a cidade em sua região” (Villaça, 1999, p. 212).

O apogeu técnico, no entanto, vem com os superplanos, que, devido à abrangência aproximaram-se muito mais de recomendações para criação de outros planos, distanciando o plano e suas propostas, da possibilidade de implantação (Cruz, 2011).

Há uma grande safra de Planos Diretores de Desenvolvimento Integrado produzida no período de 1965 a 1971, incorporando aspecto sócio econômico, além dos

tradicionais físico-territoriais (Faria e Schaversberg, 2011). Contudo, muitos desses planos só tiveram a pretensão de guiar a orientação ao ambiente construído, não enfrentando as questões sociais (Ferreira Junior, 2004).

Faria e Schaversberg (2011) afirmam que os planos eram realizados por consultorias e sem a participação dos técnicos e dos cidadãos, por meio de extensos diagnósticos, e continham poucos dispositivos com alguma aplicabilidade, o que gerou duras críticas de intelectuais quanto à manutenção e validade dessa empreitada.

A experiência histórica com planos diretores no Brasil mostra que eles se aplicam apenas a uma parte da cidade, tomam o mercado como referência e ignoram a demanda da maior parte da sociedade, bem como ignoram a cidade ilegal (Villaça, 2005).

Além disso, o predomínio da visão setorialista na Política Urbana revela claramente uma leitura fragmentada do território. De acordo com Faria e Schaversberg (2011), um dos problemas básicos que decorrem dessa concepção setorialista é que ela dificulta o enfrentamento de um desafio fundamental que é aumentar a oferta de terra urbanizada e bem localizada, boa do ponto de vista urbanístico e ambiental para as maiorias.

Esta questão recai sobre um dos principais problemas relacionados ao planejamento urbano, se não o principal, que é a gigantesca ilegalidade presente na ocupação do solo a partir das terras invadidas ou parceladas irregularmente. Segundo Maricato (2006), a dificuldade de acesso à moradia legalizada é um dos elementos centrais da desordem urbana identificada especialmente na ocupação irregular do solo e na segregação territorial.

Maricato (2003) afirma que é nas áreas rejeitadas pelo mercado imobiliário privado e nas áreas públicas, situadas em regiões desvalorizadas, que a população trabalhadora pobre vai se instalar: beira de córregos, encostas dos morros, terrenos sujeitos a enchentes ou outros tipos de riscos, regiões poluídas, ou áreas de proteção ambiental (onde a vigência de legislação de proteção e ausência de fiscalização definem a desvalorização).

Assim, o planejamento que não contempla as questões sociais aprofunda ainda mais as desigualdades, gerando o que Villaça (1998) interpretou como a existência de duas cidades no mesmo espaço: a dos segregados involuntariamente e a dos auto-

segregados (classe dominante), ou seja, uma desigualdade social e espacial ao mesmo tempo.

Maricato (2006) entende que uma parte da cidade é regulada por abundante e detalhada legislação (zoneamento, código de edificações, lei de parcelamento do solo, além das rigorosas leis de proteção ambiental) enquanto que, em outra parte, tudo é permitido.

A trajetória da luta pela reforma urbana iniciou-se nos anos 1960, época que os segmentos progressistas da sociedade brasileira demandavam reformas estruturais na questão fundiária. No governo de João Goulart, ela chegou a entrar nas pautas de debates em conjunto com outras reformas de base, com destaque para a Reforma Agrária. No entanto, com o Golpe de 1964, um regime político autoritário, (que durou até 1984) inviabilizou a realização dessas reformas (Saule Júnior e Uzzo, 2009).

A crítica à política urbana federal, à ditadura militar, às condições de vida nas cidades, fez surgir movimentos sociais que reivindicavam a construção de moradias, a melhoria dos serviços urbanos e a participação da população nos destinos das cidades. (Faria e Schaversberg, 2003).

Neste contexto, destaca-se que o crescimento das cidades foi marcado por um forte êxodo rural, tendo em vista que, principalmente entre as décadas de 40 e 90, a população urbana passou de 31,2% a 75% do total da população nacional (Costa, 2008). Esse crescimento acelerado, descontrolado (quase sempre) e concentrado em um número restrito de cidades não foi acompanhado de uma política de fornecimento de infraestruturas. As consequências não foram poucas, sobretudo a segregação espacial de bairros que, abandonados ao descaso, à margem de qualquer condição de dignidade, foram gerados sob a convivência do poder público (Saule Júnior e Uzzo, 2009).

Em sequência, nos anos 1970 e 1980, os temas da reforma urbana reapareceram, os movimentos sociais aos poucos ganhavam mais visibilidade e relevância política. As reivindicações destes movimentos eram apresentadas como direitos, com o objetivo de reverter as desigualdades sociais com base em uma nova ética social, que trazia como dimensão importante a politização da questão urbana, compreendida como elemento fundamental para o processo de democratização da sociedade brasileira (Saule Júnior e Uzzo, 2009).

Salienta-se que ao longo dos anos 80 e 90 os movimentos sociais e populares conseguiram pautar o processo de redemocratização com questões pertinentes à construção de um Estado de direitos, onde o acesso à terra e sua função social tem um papel central (Ribeiro *et al*, 2012)

Em 1985, foi criado o Movimento Nacional pela Reforma Urbana, que se iniciou com uma série de lutas locais por moradias e ganhou, gradativamente, um escopo de luta pela cidade como um espaço democrático em termos de acessos, educação, cultura, infraestrutura, saúde e segurança. Esse movimento envolveu parte dos movimentos sociais existentes, sindicatos e organizações acadêmicas, e começou a ganhar destaque dentro do processo de abertura política mais amplo que visava à redemocratização do País (Fernandes, 2013).

Essas entidades assumiram a tarefa de elaborar uma proposta de lei a ser incorporada na Constituição Federal, com o objetivo de modificar o perfil excludente das cidades brasileiras, marcadas pela precariedade das políticas públicas de saneamento, habitação, transporte e ocupação do solo urbano, assim configuradas pela omissão e descaso dos poderes públicos (Saule Júnior e Uzzo, 2009).

Com o fortalecimento gradual de um novo pacto sociopolítico, havia um amplo reconhecimento da necessidade de promoção de reformas políticas e jurídicas mais profundas no País, levando assim ao notável, ainda que em diversos aspectos limitado, processo constituinte de 1986-88 (Fernandes, 2013).

A principal bandeira da reforma urbana se consolida: o direito à cidade, que se caracteriza pela gestão democrática e participativa das cidades; pelo cumprimento da função social da cidade; pela garantia da justiça social e de condições dignas a todos os habitantes das cidades; pela subordinação da propriedade à função social; e pelas sanções aos proprietários nos casos de não cumprimento da função social (Saule Júnior e Uzzo, 2009).

Nesse sentido, em 1988 a Assembléia Nacional Constituinte foi um grandioso espaço de luta política, em que as forças populares tiveram um árduo trabalho, articularam suas demandas e ao mesmo tempo fizeram o embate com poderosos lobbies das forças conservadoras.

Finalmente, o último período iniciado nos anos 90, para Villaça (1999), representa uma reação às formas anteriores de planejamento, pois trás uma nova visão baseada na retomada dos planos diretores e da maior democratização da gestão urbana.

Ainda que perdurasse o conservadorismo governamental nos anos seguintes, conceitos como o ‘sentido social da propriedade’ e a criação de inúmeros mecanismos ligados à participação popular presentes no novo estatuto político do país criaram as bases para um novo processo de planejamento mais democrático e afastado das práticas tecnocráticas do período militar (Monte-Mór, 2008).

Contudo, é importante destacar que, mesmo que tenham avançado em alguns aspectos, com a Constituição de 1988, as cidades permaneceram com problemas estruturais e setoriais, sendo este um indicativo do baixo grau de implantação dos planos diretores alcançado.

Desta forma, para enfrentar esse quadro, do ponto de vista do marco jurídico urbanístico, o Brasil avançou na Constituição Federal de 88 ao aprovar o capítulo da Política Urbana e com sua regulamentação no Estatuto da Cidade, Lei Federal 10.257/01. Assim, as cidades passaram a ter disponível um leque de novos instrumentos regulamentados por lei federal para aplicar.

Com a entrada em vigor do Estatuto da Cidade (2001), buscou-se instrumentalizar a sociedade e o poder público com institutos jurídico/urbanísticos que corrigiam os problemas verificados no passado e possibilitavam estabelecer planos que efetivamente tenham foco na construção de cidades mais justas, sustentáveis e de todos (PNCDA, 2011).

Conforme afirma Carvalho (2001), o Estatuto da Cidade (2001) reafirma os princípios básicos estabelecidos pela Constituição da União, preservando o caráter municipalista, a centralidade do plano diretor como instrumento básico da política urbana e a ênfase na gestão democrática.

A proposta do Ministério das Cidades, em 2003, veio com o intuito de aprimorar a legislação referente à questão urbana e o destino das cidades. Além da ausência da abordagem mais geral, havia a ausência de marcos institucionais ou regulatórios claros para as políticas setoriais urbanas, caso das áreas de saneamento, habitação e transporte. (Maricato, 2007)

O Ministério das Cidades teve sua estrutura baseada nos três principais problemas sociais que afetam as populações urbanas, e que estão relacionados ao território, sendo eles: a moradia, o saneamento ambiental (que agrega água, esgoto, drenagem e coleta e destinação de resíduos sólidos) e as questões reunidas sob o tema do transporte da população urbana – mobilidade e trânsito. (Maricato, 2007)

Por fim, pode-se dizer que houve grandes avanços legislativos, o que ainda não é suficiente para apagar a visível marca hegemônica do desenho das desigualdades sociais do território brasileiro. A ilegalidade urbana ainda se encontra muito presente como característica marcante do não planejamento urbano brasileiro.

Não obstante, sem desconsiderar que tais abordagens são fragmentos teóricos de uma realidade muito ampla e complexa, é possível identificar que as massas que vivem hoje nas cidades ditas “ilegais” ou cidades “informais” apresentam-se como um subproduto de uma industrialização totalmente descompromissada com a questão urbana, de um mercado de trabalho precário e somados a um restrito mercado imobiliário privado, que controla os investimentos públicos, e por sua vez o processo de urbanização. (Viana, 2001)

Neste sentido, deve haver maior comprometimento do Estado com as classes sociais menos favorecidas, para que suas ações estejam pautadas no planejamento que objetive promover maior desenvolvimento socioespacial, o que colaborará com a transformação social, desde que não esteja apenas baseado na racionalidade técnica guiada por critérios econômicos (Vasconcellos, 2001).

Porém, para tratar desta questão, Ferreira Junior (2004) indica que é necessário ter maturidade e inteligência política para entender que esse processo é trabalhoso e complexo, pois envolve uma diversidade de agentes, que atuam em diferentes escalas no mesmo espaço-social.

Para que isso seja possível, é fundamental que algumas limitações existentes na prática do planejamento urbano brasileiro sejam discutidas e superadas. Dentre estas, pode-se citar:

- A necessidade de mudar a atitude na produção do espaço segregado, para que haja uma efetiva participação popular;

- Superar as relações de privilégio existentes para uma minoria;
- A aplicação de leis de forma rígida, sem que se faça arbitrária.

Além disso, o conceito de planejamento continuado teorizado por Astengo (1968), e que foi abordado anteriormente, deve ser considerado no processo de planejamento urbano e principalmente na criação de planos diretores, a fim de torná-los coerentes com o desenvolvimento real e consequentemente produzir avanços concretos e de fato executáveis na organização do espaço.

O desenvolvimento urbano includente exige que se atue em dois eixos: urbanizar e legalizar a cidade informal, conferindo-lhe melhor qualidade e o status de cidadania, e produzir novas moradias para aqueles que, sem outras saídas e recursos técnicos ou financeiros, invadem terras para morar (Maricato, 2003).

Entretanto, além de legalizar e urbanizar a cidade informal, existe ainda a necessidade clara de se considerar as questões ambientais. Pois estas áreas de ocupação ilegal, em sua maioria, apresentam riscos ambientais aos seus moradores. Conforme abordado anteriormente, tais áreas, que possuem a vigência da legislação de proteção combinada com a ausência de fiscalização, acabam sendo comumente ocupadas pela população pobre, que se instala em margens de rios, encostas dos morros, terrenos sujeitos a enchentes ou outros tipos de riscos.

3. Chuvas e Cidades

A chuva é um dos crescentes desafios que as cidades enfrentam, pois apesar de ser um fenômeno natural, seus efeitos têm desdobramentos econômicos e sociais.

Silveira (2000) afirma que o homem sempre procurou se proteger de chuvas intensas em refúgios ou habitações cobertas, e que a busca por soluções de controle de cheias existe desde tempos remotos. São diversos os marcos encontrados ao longo da história que retratam a busca em melhorar a qualidade de sua relação com as chuvas.

A aplicação e busca por tecnologias relacionadas à disciplina das águas, seja para controle de cheias ou suprimento, dentre outras funções, datam de tempos bem remotos. Burian e Edwards (2002) afirmam que apesar das enormes vantagens tecnológicas da engenharia dos tempos atuais em relação ao passado, fantásticos feitos de engenharia que rivalizam com os de hoje foram alcançados ao longo da história. Como exemplos, cita casos como as ruínas de cidades da Mesopotâmia, que continham sistemas de drenagem pluvial e de esgoto sanitário bem construídos e também os avanços alcançados no império romano, como é o caso do desenvolvimento de práticas de drenagem em estradas e a construção de grandes condutos subterrâneos conectados para formar uma rede de esgotos unitária.

Entretanto, ainda se referindo ao passado, mesmo com avanços tecnológicos tão significativos para a sociedade, diversas limitações influenciavam as soluções de controle de cheias adotadas. Burian e Edwards (2002) citam que no caso da Europa Medieval as práticas de drenagem urbana foram restringidas haja vista que a maioria das pessoas vivia perto de córregos, rios ou outros corpos de água, isto porque a água não era comumente trazida para a área urbana por aquedutos ou tubulações como havia sido feito na antiguidade.

No entanto, percebe-se a existência de limitações até os dias de hoje, seja no quesito de ausência de técnicas mais eficazes de drenagem como também na deficiência de conhecimento das técnicas existentes, o que culminou para que o desenvolvimento das cidades ocorresse, na maioria das vezes, de forma insuficiente para lidar com as questões referentes às chuvas, deixando assim problemas para as gerações futuras.

Neste contexto, Silveira (2000) afirma que a drenagem pluvial foi tratada como uma prática acessória e emergencial, e até como uma questão individual, até meados do século XIX, quando as cidades já formavam grandes aglomerados humanos.

Como abordado no capítulo anterior, sabe-se que as cidades começaram a crescer especialmente após a era industrial e foi a partir deste momento que os problemas decorrentes da urbanização começaram a ganhar maiores proporções. No que concerne a questão da drenagem pluvial, as inundações urbanas aumentaram em sua magnitude e frequência, influenciando assim, a dinâmica das cidades (Miguez *et al*, 2012). Desta forma, a disciplina drenagem urbana ganhou maior relevância no estudo das cidades, motivando principalmente a busca por novas tecnologias e soluções.

O sistema de drenagem é parte fundamental da infraestrutura da cidade e corresponde a uma chave importante na vida urbana. Se o sistema falhar, as cidades ficam sujeitas a inundações, a possível degradação ambiental, a problemas de saúde e saneamento e a interrupção dos serviços urbanos (Miguez *et al*, 2012). Estes sistemas precisam ser capazes de lidar tanto com águas residuais como com águas pluviais e devem ter como objetivo minimizar seus efeitos negativos incluindo as inundações.

O sistema de drenagem urbana divide-se em dois subsistemas principais: a microdrenagem e a macrodrenagem.

O sistema de microdrenagem é constituído pela drenagem dos loteamentos urbanos e áreas públicas como praças, parques e ruas, convencionalmente visando à retirada das águas precipitadas e sua condução para a rede secundária, ou macro-drenagem, com um risco associado de 2 a 10 anos.

Quando bem projetado, elimina praticamente os alagamentos na área urbana, evitando as interferências entre as enxurradas e o tráfego de pedestres e de veículos, e danos às propriedades (FCTH, 1999).

Já o sistema de macrodrenagem consiste nos dispositivos com riscos relativos a uma recorrência variando entre 10 e 100 anos, que são responsáveis pelo escoamento final das águas pluviais provenientes do sistema de microdrenagem urbana. É formado por condutos artificiais e pela hidrografia natural da bacia, ou seja, quando este sistema não há projeto formal, ele já existe naturalmente, pois as cheias escoam pelas depressões topográficas e pelos cursos d'água naturais.

Do seu bom funcionamento dependem, essencialmente, a segurança urbana e a saúde pública. Se a área urbana não se desenvolver de forma coerente com essas condições, são grandes os riscos de prejuízos materiais e mesmo de perdas de vidas humanas.

Assim, é importante destacar que o sistema de drenagem urbana depende fundamentalmente de uma série de fatores e necessidades diversas, cujas ações e esforços por parte do poder público e da própria sociedade permitem que a qualidade de vida se torne melhor, buscando sempre reduzir os riscos de ocorrência de eventos indesejáveis e severas repercussões às atividades que acontecem no espaço urbano.

Este capítulo tem como objetivo situar a problemática da drenagem urbana e do controle de inundações, apresentando uma revisão bibliográfica sobre o tema, no intuito de se criar um embasamento teórico para suportar a discussão pretendida neste trabalho.

3.1. Impactos da urbanização no ciclo hidrológico

O impacto causado pelo desenvolvimento urbano sobre o ciclo hidrológico (Figura 3.1) é complexo e altera quase todos os processos hidrológicos (Brilly *et al.*, 2006), mudando assim seu equilíbrio natural de forma significativa.

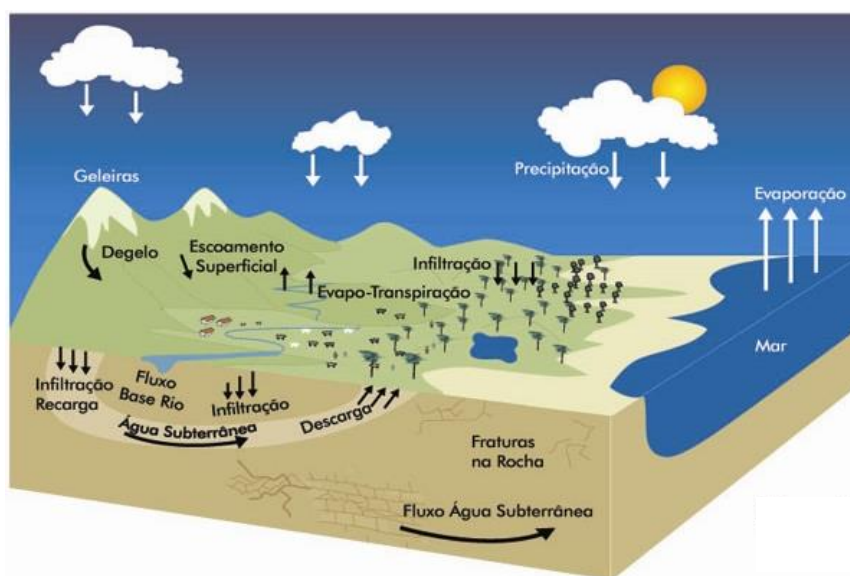


Figura 3.1: Ciclo hidrológico.
Fonte: MMA (2014).

De acordo com Lindh (1972), a urbanização pode ser considerada a mudança na ocupação e uso do solo provocada pela conversão de terras rurais para comunidades urbanas, suburbanas e industriais. Os efeitos principais são o aumento da densidade

populacional e da concentração de edifícios e instalações residenciais, industriais e comerciais, com o consequente aumento das áreas impermeáveis. Como resultado do aumento de superfícies impermeáveis, o desenvolvimento urbano pode alterar dramaticamente o regime hidrológico de uma bacia hidrográfica.

A hidrologia de uma determinada região sujeita ao desenvolvimento urbano apresenta mudanças nas suas características espaciais e temporais. Décadas de estudos disponíveis demonstram claramente os impactos adversos da urbanização sobre o ambiente natural (Schueler, 2000).

Dentre as principais alterações provocadas na mudança da hidrologia, decorrentes da urbanização, pode-se apontar as seguintes:

- Aumento do volume de água produzido pelo escoamento superficial e aumento das inundações;
- Aumento na velocidade do escoamento superficial e diminuição do tempo de concentração da bacia;
- Aumento do pico do hidrograma de cheia nas áreas urbanizadas;
- Redução da recarga do lençol freático; e
- Redução do fluxo permanente dos rios, devido à redução do armazenamento de água no solo.

Leopold (1968) aponta que o volume de escoamento é regido principalmente pelas características de infiltração e está relacionado ao tipo de cobertura vegetal, bem como à inclinação do terreno e ao tipo de solo. É, portanto, diretamente relacionado com a porcentagem de área coberta por telhados, ruas e outras superfícies impermeáveis.

Com a urbanização, novos elementos são adicionados pelo homem, como edificações, pavimentação, entre outros, que acabam por reduzir drasticamente a infiltração, favorecendo assim, o escoamento das águas que passa a assumir um padrão mais concentrado. De acordo com Schueler (1995), dependendo do grau de cobertura impermeável de bacias hidrográficas, o volume anual de escoamento de águas pluviais pode aumentar de 2 a 16 vezes em relação à sua taxa de pré-desenvolvimento.

Como o volume do escoamento superficial aumenta, o do pico de cheia também aumenta. Estudos realizados por Leopold (1968) mostraram que os picos de cheias aumentam cerca de seis vezes, quando comparado com as inundações em condições naturais.

Além disso, Leopold (1968) também destaca que o aumento do runoff também afeta o escoamento subterrâneo, visto que em qualquer série de chuvas, quanto maior a porcentagem de escoamento direto, menor é a quantidade de água disponível para a umidade do solo e reposição para o armazenamento de água subterrânea. Ou seja, a cobertura impermeável diminui consideravelmente a infiltração da água das chuvas no solo; assim, um menor fluxo está disponível para recarregar a água subterrânea.

Em decorrência da redução de armazenamento de água no solo, durante longos períodos sem chuvas, os níveis de escoamento de base são muitas vezes reduzidos em córregos urbanos (Simons e Reynolds, 1982).

Em relação ao aumento na velocidade do escoamento superficial e diminuição do tempo de concentração da bacia, pode-se afirmar que o escoamento superficial se move mais rapidamente ao longo da pavimentação do que sobre a vegetação natural.

Na Figura 3.2 é apresentado o efeito da urbanização sobre as variáveis do ciclo hidrológico. O hidrograma típico de uma bacia natural e aquele resultante da urbanização são apresentados na Figura 3.3.

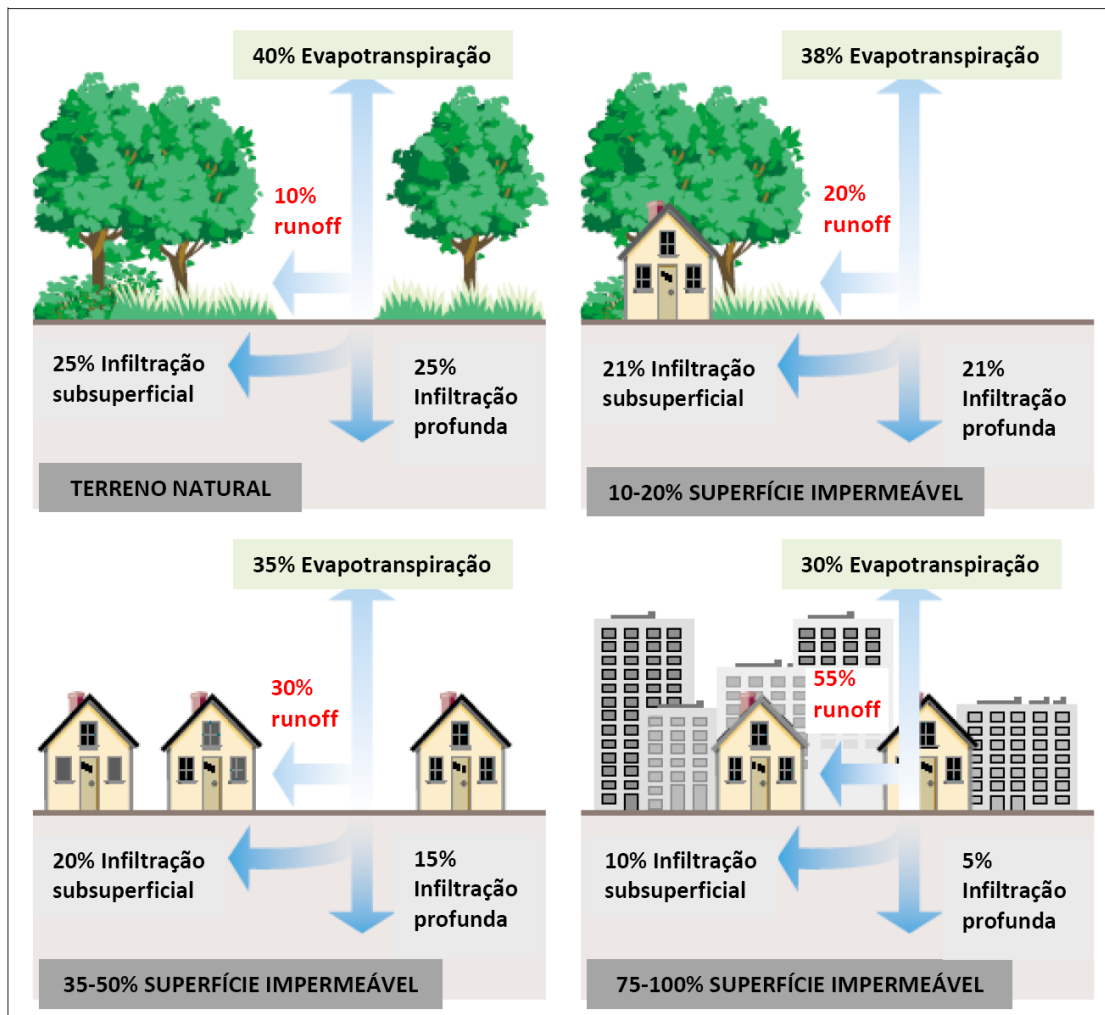


Figura 3.2: Efeitos da urbanização no balanço hídrico.

Fonte: Adaptado de FISRWG (2001).

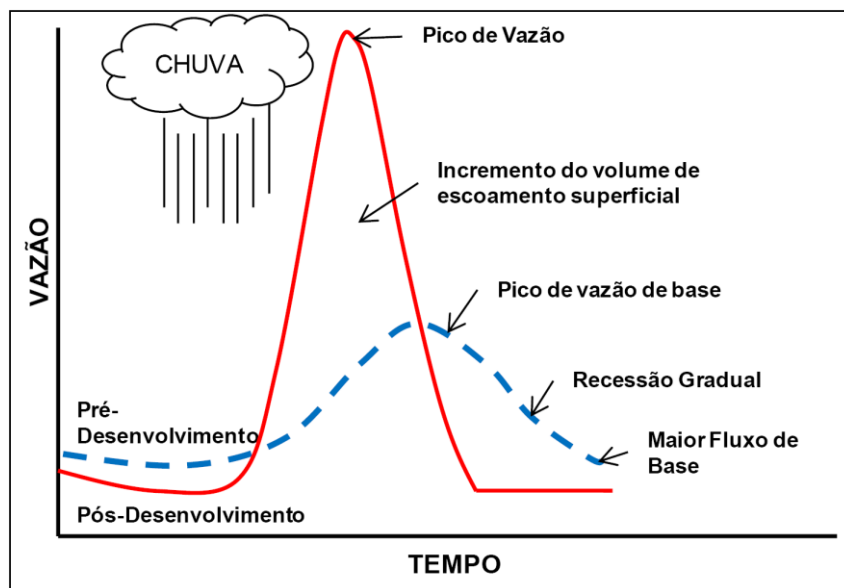


Figura 3.3: Comparação entre o volume e a duração do escoamento de águas pluviais, antes e depois do desenvolvimento.

Fonte: Schueler *apud* Marins (1987).

Leopold (1968) afirma que os dois fatores principais que regem o regime de escoamento são o percentual de área impermeável e a taxa em que a água é drenada através da superfície para canais. O primeiro é regido pelo tipo de uso do solo e o último é determinado pela densidade, tamanho e características de canais tributários e, assim, pela capacidade do sistema de drenagem.

Neste contexto, OEHHA (2006) aborda a relação entre impermeabilização e a qualidade do escoamento e afirma que na maioria dos casos, quando a cobertura impermeável (IC) é inferior a 10% de uma bacia hidrográfica, o escoamento permanece saudável. Por outro lado, quando a cobertura impermeável encontra-se acima de 10%, sinais comuns de degradação do córrego são evidentes, a saber:

- Excesso de erosão dos corpos d'água (leito e margem);
- Aumento do tamanho e frequência das inundações de 1-2 anos;
- Perda da mata ciliar;
- Aumento de poluentes na água;
- Aumento de sedimentos finos no leito; e
- Degradação geral do habitat aquático.

A descarga de sedimentos em corpos d'água ocorre a partir do carreamento de partículas previamente depositadas em superfícies impermeáveis, da erosão do solo associado às atividades de construção e da erosão das margens dos canais (CSQM, 2004).

Leopold (1968) aponta que o principal efeito do uso do solo em relação aos sedimentos vem da exposição do solo à água de chuva e afirma que a produção de sedimentos em áreas urbanas tende a ser maior do que nas áreas não urbanizadas mesmo quando as áreas de solo desprotegidas são pequenas e amplamente dispersas.

Embora alguma erosão e sedimentação sejam naturais, cargas excessivas de sedimentos podem ser prejudiciais para a vida aquática. Os sólidos podem ficar em suspensão ou depositar-se no fundo do corpo de água. Os sólidos suspensos podem tornar a água turvas, diminuir o valor estético e recreativo de um corpo d'água. Quanto à deposição de sedimentos em corpos d'água, esta pode resultar na perda de habitat em águas profundas e podem afetar a navegação, muitas vezes necessitando de dragagem.

Também pode obstruir os canais, aumentando a frequência de inundações (CSQM, 2004).

No que concerne ao aumento de poluentes no escoamento de águas pluviais, Schneider (1975) entende que inerente à alteração do ciclo hidrológico pela urbanização é a contaminação por resíduos urbanos, e a consequente poluição da água.

Finnotti *et al* (2009) citam que os resíduos urbanos dispostos de forma inadequada são lixiviados pela água precipitada e podem vir a contribuir com a carga de poluentes que são direcionados para os rios.

Além disso, CSQM (2004) indica que lixo e entulho são lavados da superfície terrestre pelo escoamento de águas pluviais e podem se acumular em sistemas de drenagem de águas pluviais e corpos receptores. Este acúmulo provoca o assoreamento da drenagem, que reduz a capacidade de escoamento de condutos, rios e lagos urbanos (WMO,2011) e agrava os alagamentos localizados.

CSQM (2004) entende como fontes de lixo e detritos, no escoamento de águas pluviais urbanas, o lixo proveniente de residências, de estacionamento comerciais, esgotos combinados, despejo ilegal e lixo industrial.

De acordo com Tucci (2007), a quantidade de material suspenso na drenagem pluvial é muito superior à encontrada no esgoto in natura. Essa carga é mais significativa no início das enchentes, visto que os primeiros 25 mm de escoamento superficial geralmente transportam grande parte da carga poluente de origem pluvial (Schueller, 1987).

Tucci (2007) destaca que a qualidade da água das chuvas depende de vários fatores, dentre eles:

- a limpeza urbana e sua frequência;
- a intensidade da precipitação e sua distribuição temporal e espacial; e
- a época do ano e do tipo de uso da área urbana.

Ademais, é importante ressaltar que a presença de resíduos urbanos diminui o valor estético de corpos d'água e pode prejudicar diretamente a vida aquática (por serem confundidos com alimentos) ou indiretamente (através da modificação do habitat) (CSQM, 2004).

Já no que tange a questão de poluição dos aquíferos, poluentes solúveis podem migrar para as águas subterrâneas e contaminar potencialmente poços em áreas de aquíferos de abastecimento.

Este fator é agravado principalmente pela retirada da vegetação original e da camada de proteção do solo, que funciona como um imprescindível mecanismo de filtração do escoamento superficial (Toronto And Region Conservation, 2006). Áreas impermeáveis diminuem as funções de purificação de águas pluviais naturais das bacias hidrográficas e aumentam potencialmente os impactos na qualidade da água em águas receptoras (CSQM 2004).

A Figura 3.4 ilustra como a cobertura impermeável e os sistemas de drenagem urbana aumentam o escoamento em rios e canais. O grande volume, velocidade e duração do escoamento agem sobre as margens dos rios, intensificando a erosão e o transporte de sedimentos, como também implicam na obstrução de canais e danos ao habitat.

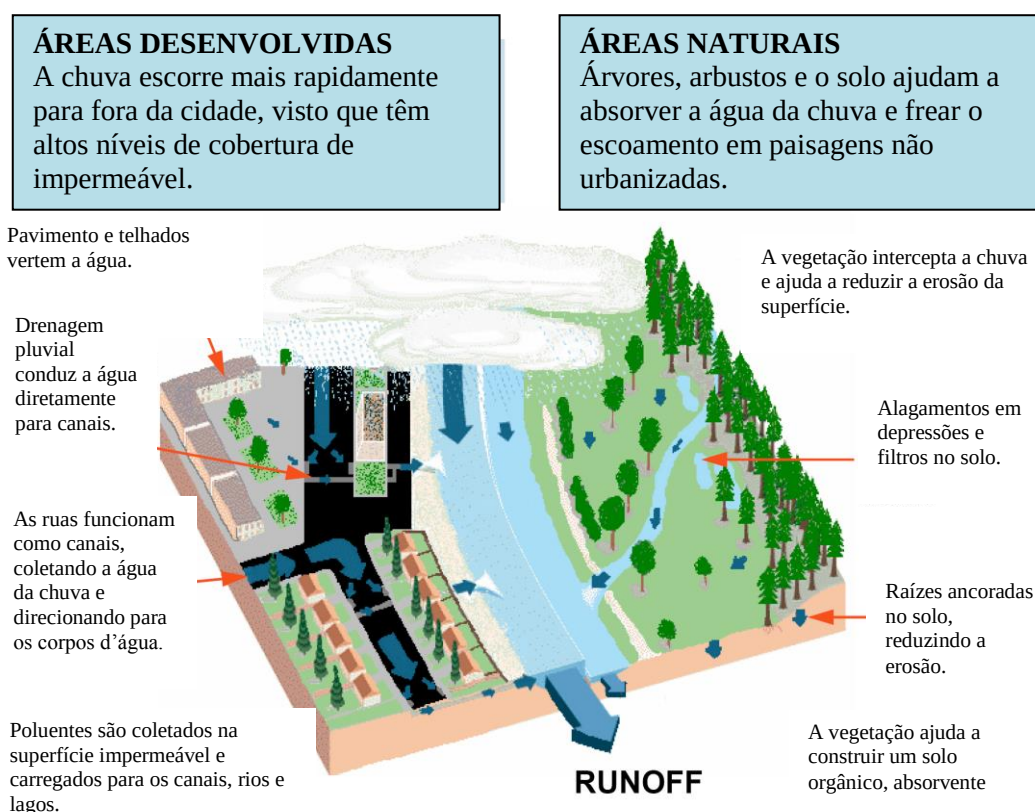


Figura 3.4: Comparação do escoamento em áreas desenvolvidas e naturais.
Fonte: Adaptado de OEHHA (2006).

Do exposto, percebe-se que as intervenções decorrentes da ocupação da bacia hidrográfica trazem consigo impactos no meio físico como um todo. Estes impactos podem ser classificados como quantitativos, qualitativos e em relação ao valor ambiental do ambiente aquático, considerando a biota e seu valor recreativo.

Por outro lado, em zonas não urbanizadas, processos naturais, tais como a infiltração, interceptação, armazenamento, depressão, filtração por vegetação e evaporação podem reduzir a quantidade de escoamento de águas pluviais e remover poluentes. Áreas não urbanizadas possuem grande importância para a manutenção da qualidade e quantidade dos recursos hídricos, na medida em que o impacto da retirada de áreas verdes é bastante significativo.

Para cada modificação das variáveis de equilíbrio do ciclo hidrológico segue um ajuste em cadeia em diferentes escalas de tempo e espaço.

Todos os impactos até então citados influenciam diretamente a magnitude e frequência das inundações urbanas, visto que as enchentes aumentam de frequência não só pelo aumento do escoamento superficial, mas também pela redução de capacidade do sistema de drenagem provocada pelo assoreamento dos condutos e canais. No entanto, deve-se destacar que os efeitos dependem da natureza e magnitude da influência urbana, que pode vir a ser planejada objetivando mitigar os impactos.

Jha *et al* (2011) sustentam a ideia de que a urbanização quando mal planejada contribui para agravar, e muito, o risco de inundação devido à inadequada mudança no uso do solo. Muitas vezes, usos e índices de ocupação incompatíveis com a capacidade de suporte do meio são impostos ao ambiente e acabam por agravar condições de alagamento.

As cheias urbanas interrompem os sistemas econômicos e podem vir a causar perdas socioeconômicas significativas. Entre os impactos produzidos, Miguez e Magalhães (2010) apontam que há riscos para a saúde e perdas de vidas humanas, inundações nas casas, imóveis comerciais e industriais, inundações de ruas e cruzamentos, causando atrasos no tráfego, interrupção de serviços como abastecimento de água, fornecimento de energia e saneamento básico.

Tucci (2005) afirma que as inundações em áreas urbanas podem ser facilmente percebidas como consequência de dois processos, que podem ocorrer de forma isolada ou integrada:

- I. Inundações de áreas ribeirinhas: são inundações naturais que ocorrem no leito maior dos rios por causa da variabilidade temporal e espacial da precipitação e do escoamento na bacia hidrográfica; e
- II. Inundações devido à urbanização: são as inundações que ocorrem na drenagem urbana por causa do efeito da impermeabilização do solo, canalização do escoamento ou obstruções ao escoamento.

Nas cidades de países em desenvolvimento, é facilmente notada a existência de cenários de ocupação desordenada desacompanhado de uma infraestrutura adequada o que resulta em problemas severos de cheias urbanas.

De acordo com Moreno (2002), estima-se que mais da metade da população mundial viva em cidades, e mais de dois terços das cidades do mundo vão estar expostos a inundações nos próximos 30 anos, devido a fatores que incluem as alterações climáticas, aumento do nível do mar e ao crescimento das cidades. Existe, assim, a necessidade de focar em soluções adequadas de drenagem para enfrentar este quadro agravante das cheias provocado pela crescente urbanização.

3.2. Controle de cheias

Andjelkovic (2001) afirma que, em termos técnicos, não há risco de inundação que não possa ser reduzido através de medidas de engenharia, mas ressalta que o custo é um fator determinante.

Conforme afirma Neto (2009), a drenagem urbana não se restringe aos aspectos puramente técnicos impostos pelos limites restritos à engenharia, pois compreende o conjunto de todas as medidas a serem tomadas que visem à atenuação dos riscos e dos prejuízos decorrentes de inundações aos quais a sociedade está sujeita.

Historicamente, com o surgimento dos primeiros impactos do crescimento das cidades, como a mudança do uso do solo urbano e a produção das primeiras inundações, a canalização surgiu como principal medida mitigadora de cheias, tanto no nível de microdrenagem como em âmbito da macrodrenagem, em que se inserem grandes obras de canalização e retificação de rios urbanos. No entanto, a canalização tende a resolver apenas localmente as cheias, com uma visão parcial do problema (Miguez *et al*, 2012).

Conforme afirmam Souza e Goldenfum (1999), os projetos tradicionais de drenagem urbana têm como filosofia escoar a água precipitada o mais rapidamente possível para jusante, ou seja, tal solução procura remover de maneira mais eficiente possível a água dos centros urbanos.

Este processo acaba por ter um efeito cíclico de inundações na bacia. Áreas à jusante que foram inicialmente protegidas por canalizações voltam a ser inundadas em um futuro próximo, visto que, com o processo de urbanização da bacia em regiões localizadas a montante destas intervenções, novas obras de canalização são implantadas transferindo assim, o problema para estas áreas a jusante.

Pode-se afirmar, assim, que o conceito tradicional constitui a prática acessória e emergencial a que se refere Silveira (2000), que foi abordada anteriormente, e que trabalha de forma individual na bacia, pois transfere os problemas para outras áreas.

Segundo Baptista *et al* (2005), com a transferência dos problemas de inundações para áreas a jusante, novas obras de drenagem devem ser construídas nestas regiões. Tais obras costumam ser muito onerosas e seu custo deve ser suportado por toda a comunidade.

Além disso, a canalização dos cursos d'água gera na população uma falsa ideia de segurança em relação às inundações, facilitando a ocupação de áreas ribeirinhas quando não há controle sobre a ocupação e uso do solo, agravando, assim, os prejuízos causados pelas cheias. Outro problema é o estrangulamento do sistema de drenagem causado pela cidade, o que gera um cenário em que há muito poucas possibilidades de novas obras de canalização (Miguez *et al*, 2012).

A partir deste cenário entende-se facilmente a afirmação feita por Miguez e Magalhães (2010) de que as soluções locais, como é o caso das canalizações, podem ser inadequadas para suprir a necessidade do sistema de drenagem e que a principal causa disto é a ausência de ferramentas de avaliação de projeto que sejam sistêmicas e capazes de representar o problema em uma abordagem integrada.

Neste sentido, Miguez e Carneiro (2011) entendem que os projetos de drenagem devem ser compatibilizados com projetos de crescimento urbano, e o processo de controle de cheias deve compreender toda a bacia hidrográfica.

A ineficiente tentativa de ajustar o comportamento do sistema utilizando soluções tradicionais, juntamente com o atual desafio enfrentado pelas cidades de equilibrar o desenvolvimento do ambiente construído de forma sustentável, motivou a busca por novas soluções de drenagem urbana que fossem mais eficazes no controle das cheias, o que, conseqüentemente, resultou na mudança dos conceitos aplicados.

Assim, a partir dos anos 1970 uma nova abordagem para tratar o problema foi desenvolvida, trata-se do conceito “tecnologias alternativas” ou “compensatórias” de drenagem, as quais possuem como fundamento considerar a qualidade de vida e a preservação ambiental (Baptista *et al*, 2005).

Estas tecnologias são alternativas, pois consideram o impacto da urbanização de forma global, tomando a bacia como base de estudo. A compensação ocorre a partir do controle da produção de excedentes de água decorrentes da impermeabilização evitando assim sua rápida transferência para as áreas à jusante (Baptista *et al*, 2005.).

Nesta tendência, em âmbito internacional, Coffman *et al*. (1998) propuseram o conceito de desenvolvimento de baixo impacto, conhecido como LID (Low Impact Development). As medidas de LID adotam uma série de procedimentos que tentam compreender e reproduzir o comportamento hidrológico anterior à urbanização. Neste

contexto, a utilização de paisagens multifuncionais surge como elementos importantes na malha urbana, visando permitir a restauração de características de infiltração e retenção naturais da bacia.

Baptista *et al* (2005), que consolidaram o conceito de técnicas compensatórias no Brasil, afirma que a utilização de técnicas compensatórias consiste em tratar a problemática das águas pluviais e seu manejo de forma integrada com o ordenamento urbano, ou seja, promover sua interação com o projeto urbanístico, potencializando os aspectos que podem levar a valorização de soluções que atendam aos objetivos das águas pluviais junto com os urbanísticos.

A abordagem integrada para a gestão de águas pluviais é a chave para o desenho urbano envolvendo águas pluviais (VSC, 1999.). Esta aproximação integrada passa a considerar as águas pluviais como um recurso, em vez de um ônus, e considera todos os aspectos do escoamento superficial dentro do desenvolvimento da cidade, incluindo questões ambientais, sociais e culturais (VSC, 1999). Assim, ao considerar uma abordagem integrada, serão considerados além dos aspectos hidrológicos e hidráulicos, aspectos ambientais, culturais e paisagísticos.

3.2.1 Tipos de Medidas de controle de cheias

As medidas para o controle da inundação, independentemente de sua característica compensatória ou não, podem ser divididas em dois grupos: do tipo estrutural e não estrutural.

I. Medidas Estruturais

As medidas estruturais são aquelas que introduzem modificações físicas na rede de drenagem e na paisagem da bacia urbana (Miguez e Magalhães, 2010). São intervenções implantadas para reduzir o risco das enchentes, reorganizando as vazões no tempo e no espaço da bacia.

Estas soluções variam de estruturas pesadas de engenharia, tais como barragens e canais de drenagem a medidas complementares ou alternativas mais naturais e sustentáveis.

Basicamente, as medidas de controle de inundações estruturais compõem o conjunto mais tradicional de intervenções em uma bacia e podem ser classificadas como intensivas e extensivas (Simons *et al.*, 1977).

De acordo com Miguez e Magalhães (2010) as medidas intensivas referem-se às principais modificações na rede de drenagem, incluindo medidas como a canalização e retificação, dragagem e construção de diques, bem como aplicações de reservatórios para amortecimento das cheias, entre outros.

As medidas intensivas podem ser de três tipos (Simons *et al.* 1977):

- aceleram o escoamento: construção de diques e polders, aumento da capacidade de descarga dos rios e corte de meandros;
- retardam o escoamento: Reservatórios e as bacias de amortecimento; e
- desvio do escoamento: são obras como canais e desvios.

Já as medidas extensivas são aquelas que agem na bacia, procurando modificar as relações entre precipitação e vazão, como a alteração da cobertura vegetal do solo, que reduz e retarda os picos de enchentes e controla a erosão da bacia (Tucci, 1997). São medidas que aparecem espalhadas na bacia, agindo diretamente na fonte a fim de controlar a geração do escoamento superficial (Miguez e Magalhães, 2010).

O controle extensivo das cheias é realizado mediante intervenções de conservação do solo, com práticas agrícolas corretas e através do reflorestamento da bacia. Cordero *et al* (1999) apontam que este tipo de medida produz benefícios diversos que influenciam no fenômeno de formação da cheia segundo os seguintes mecanismos:

- (i) aumento da capacidade de infiltração do terreno e, conseqüentemente, redução dos defluxos superficiais (que constituem a componente mais importante da cheia);
- (ii) redução da velocidade média de escoamento d'água e incremento dos volumes hídricos contidos temporariamente no solo, com conseqüente aumento dos tempos de concentração e da capacidade de laminação da bacia.

II. Medidas Não Estruturais

As medidas não estruturais objetivam reduzir a exposição de pessoas e propriedades às inundações, agindo de maneira complementar às medidas estruturais a partir de um melhor planejamento e gestão do desenvolvimento urbano.

Geralmente estas medidas não exigem grandes investimentos iniciais, mas muitas vezes dependem de uma boa compreensão dos perigos de inundação e também de sistemas de previsão adequados (Andjelkovic, 2001).

Jha *et al* (2011) reconhecem que as medidas não estruturais podem dividir-se em quatro principais grupos de acordo com seus propósitos: preparação para as inundações, mitigação das inundações, planejamento e gestão para emergência de cheias e recuperação após cheias.

WMO (2008) afirma que as medidas que visam à preparação para as cheias atentam para a prevenção de riscos potenciais que podem se transformar em desastres, tanto em nível social como em nível individual.

Dentre as principais medidas não estruturais encontradas em diversas literaturas, pode-se citar:

1. Seguro de cheias - o Seguro de inundação é uma ferramenta complementar de redução dos riscos. O objetivo do seguro de inundação é proporcionar indenizações pelos prejuízos causados pela inundação quando os danos não são evitáveis a um custo aceitável (Cordero *et al*,1999).
2. Sistema de alerta de cheias - um sistema de alerta serve para informar e alertar às pessoas que habitam em zonas sujeitas a inundações sobre os riscos e a eminência de uma enchente. Os alertas são baseados nas previsões dos eventos de cheia, que são simulados por meio de modelos matemáticos hidrológicos em tempo real. Tais modelos consistem em prever a evolução do fenômeno de cheia com certa antecipação. Os alertas, por sua vez, servem para acionar os dispositivos de controle das cheias pré-dispostos no sistema resposta (Cordero *et al*,1999).
3. Plano Diretor - consiste em um conjunto de estratégias, medidas e políticas organizadas em conjunto, a fim de gerenciar o risco de inundações e orientar o desenvolvimento de sistemas de drenagem (Miguez e Magalhães, 2010). A bacia

hidrográfica deve ser considerada em sua totalidade quando da aplicação do plano diretor. Além disso, este plano deve ser realizado de forma integrada com o planejamento urbano e instrumentos de gestão, normas e leis conexas (Andjelkovic, 2001).

Tucci (2005) entende que um Plano Diretor de Drenagem Urbana deve abordar:

- O planejamento da distribuição da água no tempo e no espaço, com base na tendência de ocupação urbana compatibilizando esse desenvolvimento e a infraestrutura para evitar prejuízos econômicos e ambientais;
- O controle da ocupação de áreas de risco de inundação através de restrições nas áreas de alto risco; e
- A convivência com as enchentes nas áreas de baixo risco.

4. Controle da ocupação e uso do solo – A mais importante de todas as medidas não estruturais, inclusive para este trabalho, é o planejamento da ocupação e uso do solo. Nas áreas urbanas, como abordado anteriormente, a invasão das áreas de inundação por loteamentos irregulares, como é o caso das planícies de inundação e margens de rios, define um cenário problemático de risco que pode vir a causar perdas socioeconômicas significativas.

O planejamento de medidas que visam a redução do risco de cheias deve considerar medidas de planejamento urbano para impedir a ocupação das áreas expostas a riscos de inundação (WMO, 2008).

Conceitualmente, de acordo com WMO (2008), a regulação da ocupação das margens deve ser baseada no mapeamento de inundações, identificação de zonas inundáveis e áreas propensas a alagamentos e no estabelecimento de critérios de uso e ocupação do solo. Em termos práticos, isto significa que o zoneamento de acordo com o grau de exposição às cheias permite delimitar o tipo de uso para cada área, de modo a minimizar o aumento de exposição no processo de desenvolvimento urbano. A Figura 3.5 mostra como pode ser realizado o zoneamento de uma planície de inundação.

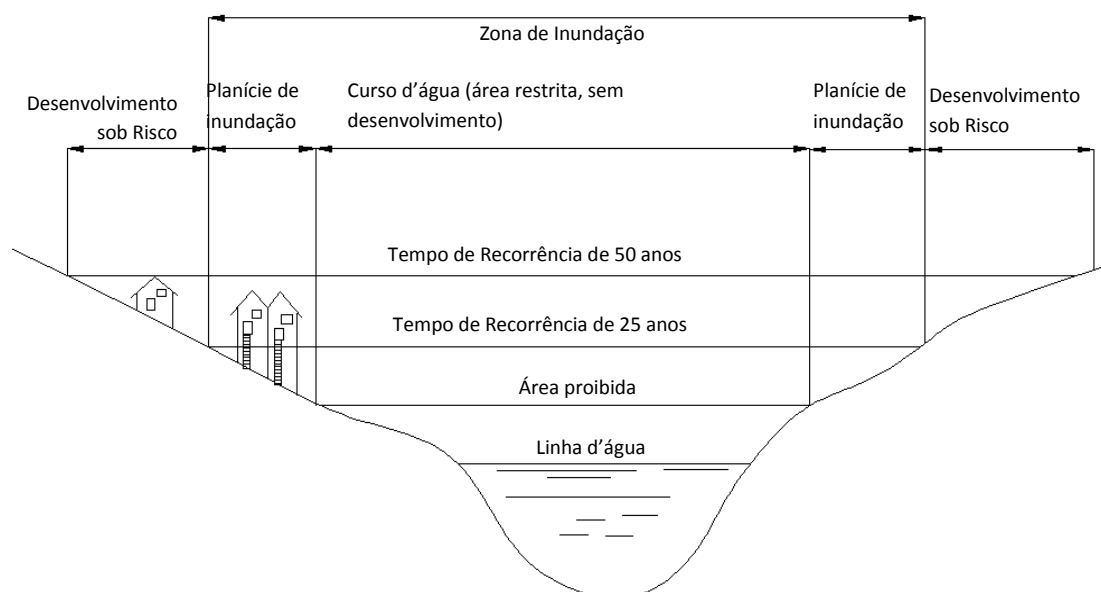


Figura 3.5: Zoneamento da planície de Inundação.
Fonte: Adaptado de WMO (2008).

Além dessas medidas não estruturais listadas, existem várias outras possibilidades de aplicação deste tipo de medida como, por exemplo, atividades de educação ambiental e a criação de um programa de seguro contra inundações.

O desafio no que tange as medidas não estruturais reside na necessidade de envolver a participação e a concordância das partes interessadas e as suas instituições. Isso inclui, por vezes, a manutenção dos recursos, conscientização e preparação ao longo de décadas sem uma inundação, considerando que a memória do desastre tende a enfraquecer ao longo do tempo. Este desafio é ainda maior pelo fato de que a maioria das medidas não estruturais é projetada para minimizar, mas não evitar danos, e, portanto, a maior parte das pessoas instintivamente prefere a medida estrutural. (Jha *et al*, 2011).

De acordo com Jha *et al* (2011), a ordem em que são aplicadas as medidas de mitigação é de primordial importância. Uma sequência ideal seria primeiramente desenvolver a consciência pública, que leva à criação de uma vontade política, seguida pela elaboração e aprovação das leis e regulamentos; e em segundo lugar, propor medidas de redução de risco, e, finalmente, oferecer educação e realizar o treinamento.

Por fim, no tocante aos princípios modernos relacionados ao controle de drenagem, Tucci (2007) ressalta que:

- novos desenvolvimentos não podem aumentar ou acelerar a vazão de pico das condições naturais (ou prévias aos novos loteamentos);
- deve-se considerar o conjunto da bacia hidrográfica para controle da drenagem urbana;
- deve-se buscar evitar a transferência dos impactos para jusante;
- devem-se valorizar as medidas não estruturais (educação tem papel fundamental); e
- devem-se implementar medidas de regulamentação e instrumentos econômicos.

4. Políticas Públicas de Regulação do Uso do Solo Urbano

As políticas públicas de desenvolvimento urbano traduzem o modo como os investimentos nas esferas sociais podem contribuir para reverter a lógica da desigualdade e da exclusão social. Vão de encontro à fragmentação e à desarticulação das intervenções setoriais e intergovernamentais, visando aperfeiçoar custos sociais e promover a qualidade de vida nas cidades (Passos, 2010).

As políticas públicas são regras e procedimentos explicitados em leis, programas e linhas de financiamentos que orientam ações que normalmente envolvem aplicações de recursos públicos.

De acordo com Ferreira (2005), a criação de “instrumentos urbanísticos” capazes de dar ao Poder Público um maior controle sobre as dinâmicas urbanas originou-se no esforço de construção do Estado do Bem-Estar Social na Europa, onde o Estado tinha um forte papel regulador. Nesse sentido, cabia ao Poder Público uma forte ingerência na regulamentação e no controle do desenvolvimento urbano, para garantir uma mínima variedade social na produção urbana, buscando prover habitação de interesse social integrada à malha urbana, protegendo assim, os mais pobres das dinâmicas imobiliárias.

Tais dinâmicas correspondem à valorização dos preços da terra dos locais mais bem situados ou nas fronteiras de expansão imobiliária, que ocasionava a expulsão da população mais pobre pelos mecanismos de mercado, em processos conhecidos como gentrificação (Cymbalista, 2006).

Ferreira (2005) também destaca que além de evitar este processo, a intervenção do Estado no controle e regulamentação do desenvolvimento urbano tinha como função permitir a preservação dos espaços públicos como espaços de uso democrático, protegendo-os de ações invasivas.

No Brasil não foi diferente, a chamada cidade ilegal, mencionada anteriormente, a qual além de fruto de uma política clientelista e que teve também como causa o processo de gentrificação, trouxe a necessidade por parte do Estado, da utilização e incorporação de mecanismos de regulação do uso e ocupação do solo em suas políticas públicas.

Inicialmente, a regulação do solo urbano contou com a utilização de instrumentos tradicionais descritos a seguir. Entretanto, à medida que aumentavam os índices de urbanização, o tamanho das cidades, a escala e a complexidade das redes urbanas, foi ocorrendo uma crescente disparidade entre o processo de desenvolvimento urbano das cidades e os instrumentos e métodos de intervenção pública sobre esses processos.

De acordo com Carneiro (2008), em relação aos instrumentos específicos e de longa tradição no planejamento urbano, é possível agrupá-los, sumariamente, em duas categorias: o zoneamento e o parcelamento do solo.

- Zoneamento

De acordo com Villaça (1999), entende-se por zoneamento a legislação urbanística que varia no espaço urbano. Em sua forma mais completa toda a área urbana e de expansão urbana é dividida em zonas, sendo que para cada uma a lei define: o coeficiente máximo de aproveitamento dos terrenos; a taxa máxima de ocupação dos terrenos; e, finalmente os usos e atividades permitidos e proibidos nas zonas. Ou seja, zoneamento é o ato ou efeito de dividir um território por zonas, segundo objetivos e critérios predeterminados, as quais terão uso e ocupação específicos (Schubart, 2001).

Outros elementos que podem ser ainda estabelecidos são o número máximo de unidades por lote e a taxa de impermeabilização (correspondente à máxima área de terreno edificável e pavimentada, para reduzir a vazão de águas pluviais sobre o sistema de drenagem), entre outros. A taxa de impermeabilização, de uso recente, já é um parâmetro urbanístico que incorpora preocupações com a questão da gestão da água (Carneiro, 2008).

A Lei de Zoneamento (ou Lei de Uso do Solo) estabelece, portanto, no âmbito do território municipal, a sua compartimentação em zonas mais ou menos rígidas, para as quais são estabelecidos os usos adequados e os critérios de ocupação do solo.

- Parcelamento do solo:

Define-se por um conjunto de normas relativas aos processos de loteamento, desmembramento ou remembramento de terrenos. Os parâmetros mais usuais são o tamanho mínimo do lote (em função da zona), as áreas de doação

obrigatórias (para equipamentos públicos, para áreas verdes, para sistema viário), as dimensões mínimas de ruas e a infraestrutura a ser implantada, obrigatoriamente, pelo loteador. (Carneiro, 2008).

A lei Federal 6.766/79 estabelecia os parâmetros básicos para o parcelamento urbano, como lote mínimo de 125 m². A Lei Federal 9785/1999 modificou alguns dos artigos da 6.766, permitindo aos municípios a responsabilidade pela fixação dos padrões básicos de parcelamento, desde que maiores que os mínimos estabelecidos na lei federal.

Barreiros e Abiko (1998) destacam o grande valor do controle do parcelamento do solo, tendo em vista sua utilidade para a organização da ocupação do solo, viabilizando a distribuição adequada de lotes e o suprimento de vias e equipamentos públicos para a garantia e preservação da qualidade ambiental.

Assim, além dos valores mínimos definidos pela Lei de Uso e Ocupação do Solo, o Plano Diretor passa a conter as diretrizes para induzir usos e ocupações específicos de terrenos providos de infraestrutura e equipamentos, e regulamenta a ocupação das áreas da cidade, baseados numa distribuição de densidades e compatibilidade de usos. Essa lei tem como objetivo reduzir conflitos entre usos e ocupações em áreas ambientalmente frágeis, como encostas íngremes e margens de rios, e em áreas incompatíveis na cidade, reduzindo, dessa forma, os vazios urbanos (Brasil, 2002).

Os entraves e limitações dos instrumentos tradicionais de regulação do uso e ocupação do solo deram margem para um novo contexto surgido nos últimos anos. Novas visões e abordagens de regulação da ocupação apresentam aspectos como: rompimento da visão tradicional da cidade fragmentada em zonas especializadas; desregulamentação e simplificação da legislação e mecanismos de apropriação social dos benefícios da urbanização (Vaz, 1998).

Quanto mais se instalavam no espaço das cidades as contradições e a desigualdade, mais restrita se tornava a intervenção do planejamento, que permanecia lidando com modelos ideais, pressupondo um território sem tensões ou conflitos, que não consideravam de fato a cidade irregular, informal e clandestina (Passos, 2010).

Além disso, a ocupação urbana precária, insegura, insalubre gerou uma visibilidade incômoda. Saltam aos olhos a proliferação de assentamentos sobre encostas, à beira dos rios, córregos, nas áreas de proteção ambiental, com precariedades urbanísticas, sem saneamento básico, com altas vulnerabilidades sociais e riscos ambientais, entre outros graves problemas. (Moreira, 2008)

Assim, considerando a necessidade de reconhecer e legalizar a cidade real tornou-se indispensável a reformulação da legislação para, desta forma, viabilizar novos instrumentos urbanísticos de controle do uso do solo.

Tais instrumentos urbanísticos foram possíveis a partir da aprovação da Constituição Federal (CF) de 1988 e, anos mais tarde, de forma mais contundente, com a criação do Estatuto da Cidade.

A Constituição de 1988, em seu capítulo de política urbana (artigos 182 e 183) trouxe propostas que procuravam viabilizar novos instrumentos urbanísticos de controle do uso do solo, para que se pudesse, entre outros objetivos, possibilitar o acesso a terra, democratizando o solo urbano.

Silva e Araújo (2003) destacam que a Constituição Federal, pela primeira vez na história, veio contemplar o Plano Diretor, o qual, pelo seu artigo 182, deve ser o instrumento básico da política de desenvolvimento urbano, executada pelo município, que tem por objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e garantir o bem-estar de seus habitantes.

Na frente de atuação local, o modelo descentralizador e municipalista adotado pela CF significou também uma maior autonomia para que os municípios construíssem seus próprios instrumentos de planejamento e gestão urbana.

No âmbito da questão habitacional, a Constituição Federal em seu artigo 182 criou alguns instrumentos para viabilizar a definição explícita da competência municipal. Entre eles, podem ser citados a obrigatoriedade do Plano Diretor, para cidades com população superior a 20 mil habitantes e a exigência de adequada utilização e aproveitamento do solo urbano.

No entanto, para que os princípios presentes na Constituição de 1988 pudessem ser implantados, eram necessários instrumentos que regulamentassem e que incorporassem

os princípios constitucionais, previstos nos capítulos que dispõe sobre a política urbana (Cruz, 2011).

Assim, após a aprovação da Constituição de 1988, a disputa pela renovação dos instrumentos de regulação urbanística, política urbana e planejamento territorial continuou percorrendo o caminho das lutas em nível local e nacional.

A partir disto, foi criado pela Lei Federal nº 10.257/01 o Estatuto da Cidade, que regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal de 1988, e estabelece normas para a execução da Política Urbana, mantendo-se os mesmos princípios apresentados à época na Assembléia Constituinte, quais sejam: a) obrigação do Estado em assegurar os direitos urbanos a todos os cidadãos; b) submissão da propriedade à sua função social, prevalecendo o interesse público ao particular; c) garantia de acesso de toda a população aos benefícios da urbanização e d) gestão democrática da cidade. (Moreira, 2008)

O Estatuto da Cidade é considerado um marco referencial da trajetória da reforma urbana, visto que estabelece diretrizes para o planejamento e desenvolvimento urbano e possibilita a instituição de instrumentos efetivos na gestão da ocupação do solo urbano.

O seu objetivo consiste em ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e da propriedade urbana, mediante o direito a cidades sustentáveis, este entendido como o direito à terra urbana, à moradia, ao saneamento ambiental, à infraestrutura urbana, ao transporte e aos serviços públicos, ao trabalho e ao lazer, para as presentes e futuras gerações (Brasil, 2001). Além disso, reforça o papel do Poder Público municipal como o principal executor da política de desenvolvimento urbano.

O Estatuto possui cinco capítulos que tratam de questões como:

- normas sobre o uso da propriedade urbana visando o interesse coletivo, a segurança e o bem-estar do cidadão e o equilíbrio ambiental;
- instrumentos da política urbana;
- plano diretor;
- gestão democrática da cidade;
- penalidades para o descumprimento da lei; e
- prazo máximo para a elaboração do plano diretor.

Em seu artigo 4º, o Estatuto da Cidade indica seus principais instrumentos, sendo eles:

I – planos nacionais, regionais e estaduais de ordenação do território e de desenvolvimento econômico e social;

II – planejamento das regiões metropolitanas, aglomerações urbanas e microrregiões;

III – planejamento municipal, em especial:

a) plano diretor; b) disciplina do parcelamento, do uso e da ocupação do solo; c) zoneamento ambiental; d) plano plurianual; e) diretrizes orçamentárias e orçamento anual; f) gestão orçamentária participativa; g) planos, programas e projetos setoriais; h) planos de desenvolvimento econômico e social;

IV – institutos tributários e financeiros:

a) imposto sobre a propriedade predial e territorial urbana – IPTU; b) contribuição de melhoria; c) incentivos e benefícios fiscais e financeiros;

V – institutos jurídicos e políticos:

a) desapropriação; b) servidão administrativa; c) limitações administrativas; d) tombamento de imóveis ou de mobiliário urbano; e) instituição de unidades de conservação; f) instituição de zonas especiais de interesse social; g) concessão de direito real de uso; h) concessão de uso especial para fins de moradia; i) parcelamento, edificação ou utilização compulsórios; j) usucapião especial de imóvel urbano; l) direito de superfície; m) direito de preempção; n) outorga onerosa do direito de construir e de alteração de uso; o) transferência do direito de construir; p) operações urbanas consorciadas; q) regularização fundiária; r) assistência técnica e jurídica gratuita para as comunidades e grupos sociais menos favorecidos; s) referendo popular e plebiscito;

VI – estudo prévio de impacto ambiental (EIA) e estudo prévio de impacto de vizinhança (EIV).

Alguns destes instrumentos serão abordados mais adiante neste capítulo, e assim, sendo devidamente aprofundados e detalhados.

4.2. Os Recursos Hídricos e as Políticas Urbanas

A associação entre inundações e deslizamentos de terra com a ocupação de áreas de mananciais e impróprias às atividades urbanas é retrato nítido da cidade ilegal. Este evento é apenas mais um problema dentre os muitos que a política urbana deve considerar ao regular a ocupação do solo. Mais do que um problema ambiental, a ocupação destas áreas é um problema social e de difícil enfrentamento quando considerado o atual caos urbano das cidades brasileiras.

No que tange a questão da mitigação do risco de recorrentes inundações, associado à ocupação irregular de áreas urbanas, como é o caso de áreas marginais de rios, pode-se destacar consideráveis avanços nas políticas urbanas destinadas a regular o uso e a ocupação destas áreas.

Dentre os primeiros marcos regulatórios da política urbana que se preocupa com a ocupação de áreas marginais, encontra-se o Código de Águas, instituído em 10 de julho de 1934 pelo Decreto nº 24.643, que já estabelecia restrições para a ocupação das faixas marginais aos corpos d'água em seus artigos 12 e 14.

(...)

Art. 12. Sobre as margens das correntes a que se refere a última parte do nº 2 do artigo anterior, fica somente, e dentro apenas da faixa de 10 metros, estabelecida uma servidão de trânsito para os agentes da administração pública, quando em execução de serviço.

(...)

Art. 14. Os terrenos reservados são os que, banhados pelas correntes navegáveis, fora do alcance das marés, vão até a distância de 15 metros para a parte de terra, contados desde o ponto médio das enchentes ordinárias. (...)

Entretanto, essas faixas tinham uma preocupação mais clara com a possibilidade de acessar o rio. Contudo, foi apenas a partir de 1965 com a Lei 4771, cuja finalidade foi a de instituir o Código Florestal, que as restrições quanto ao uso e ocupação destas áreas consolidaram-se na normativa jurídica brasileira. O Código Florestal estabeleceu padrões de proteção às florestas e ao meio ambiente de um modo geral, incluindo aspectos como proteção de nascentes e dos corpos d'água e áreas particularmente frágeis como mangues e restingas, designadas então como Áreas de Proteção Permanente - APPs.

Para os efeitos deste código, entendia-se por:

(...)

II - Área de Preservação Permanente: Área protegida nos termos dos arts. 2º e 3º desta Lei, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas.

No Art. 2º, Consideram-se de preservação permanente, pelo só efeito desta Lei, as florestas e demais formas de vegetação natural situadas:

a) ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água desde o seu nível mais alto em faixa marginal cuja largura mínima será:

1 - de 30 (trinta) metros para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura;

2 - de 50 (cinquenta) metros para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;

3 - de 100 (cem) metros para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura;

4 - de 200 (duzentos) metros para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura;

5 - de 500 (quinhentos) metros para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros;

b) ao redor das lagoas, lagos ou reservatórios d'água naturais ou artificiais;

c) nas nascentes, ainda que intermitentes e nos chamados "olhos d'água", qualquer que seja a sua situação topográfica, num raio mínimo de 50 (cinquenta) metros de largura;

(...).

O Código Florestal foi, anos mais tarde, regulamentado pelas Resoluções CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente 302 e 303/2002 que dispõem sobre os parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente.

Com a revisão do Código Florestal em 2012, no que concerne a preservação dos recursos hídricos, ao artigo 4º foram introduzidas delimitações nas áreas no entorno dos lagos e lagoas naturais, em faixa de com largura mínima de:

a) 100 (cem) metros, em zonas rurais, exceto para o corpo d'água com até 20 (vinte) hectares de superfície, cuja faixa marginal será de 50 (cinquenta) metros;

b) 30 (trinta) metros, em zonas urbanas;

Além disso, a revisão do código florestal incluiu como áreas de preservação permanente, quando declaradas de interesse social por ato do Chefe do Poder Executivo, as áreas cobertas com florestas ou outras formas de vegetação destinadas as finalidades de conter a erosão do solo e mitigar riscos de enchentes e deslizamentos de terra e de rocha e proteger várzeas.

Outro marco importante ocorreu em 1979, com a aprovação da Lei 6.766 já citada anteriormente e que tem como objetivo impedir ou disciplinar o parcelamento do solo em áreas inadequadas à ocupação humana, especialmente quando esse tipo de ocupação representar riscos para a segurança da população ou para a preservação ambiental, como, por exemplo, terrenos alagadiços e sujeitos a inundações, antes de tomadas as providências para assegurar o escoamento das águas.

Esta lei, quanto à questão das áreas marginais de rios, além de disciplinar o parcelamento do solo nestas áreas, dá outras providências como é o caso de seu artigo 4º, que diz que os loteamentos deverão atender, pelo menos, as seguintes recomendações:

“III - ao longo das águas correntes e dormentes e das faixas de domínio público das rodovias e ferrovias, será obrigatória a reserva de uma faixa não-edificável de 15 (quinze) metros de cada lado, salvo maiores exigências da legislação específica”

Em sequência, merece destaque o Estatuto da Cidade que possibilitou a instituição de instrumentos efetivos na gestão da ocupação do solo urbano, conforme dito anteriormente.

Carneiro (2008) apresentou, sinteticamente, os principais Instrumentos previstos no Estatuto da Cidade, destacando conceitos, objetivos, aplicações e potencialidades dos instrumentos no que concerne à articulação do controle do uso do solo com o gerenciamento dos recursos hídricos.

Assim, baseado em Carneiro (2008), este trabalho apresenta sucintamente a forma como alguns destes novos instrumentos de controle do uso do solo urbano previstos no Estatuto das Cidades relacionam-se com a ocupação das áreas de risco ou frágeis

ambientalmente e principalmente como auxiliam na regulação destas áreas, conforme descrito abaixo:

- Parcelamento, edificação ou utilização compulsória:

Consiste na obrigatoriedade de parcelar, edificar ou utilizar o solo urbano, conforme previsto no Plano Diretor. O objetivo deste instrumento é induzir a ocupação de áreas já dotadas de infraestrutura e equipamentos, mais aptas para urbanizar ou povoar, evitando a pressão de expansão horizontal na direção de áreas não servidas de infraestrutura ou frágeis ambientalmente. Desta forma, evita-se a pressão em áreas de risco de enchentes ou em áreas de preservação ambiental a partir do aumento da oferta de terra e de edificações que atendam a demanda existente.

- Imposto predial e territorial urbano progressivo no tempo

Tem como função induzir, por estímulo econômico, a utilização do solo urbano, conforme previsto no Plano Diretor, coibindo a não utilização ou a sub-utilização da propriedade, sob pena de pagamento do IPTU progressivo no tempo. Desta forma, busca a redução da pressão por novas áreas, o que inclui também áreas de risco de cheias.

- Desapropriação com pagamento em títulos da dívida pública

Não se trata de um ato punitivo, mas voltado para a adequação do imóvel à função social da propriedade. Tem como objetivo viabilizar a desapropriação de imóvel que não cumpra sua função social, ou seja, que não cumpra a obrigação de parcelamento, edificação ou utilização, de acordo com o Plano Diretor, facultando à prefeitura o pagamento em títulos da dívida pública.

Estas áreas poderão servir para a promoção de transformações na cidade, dentre elas, a implantação de unidades ou a criação de áreas verdes e espaços públicos com vista à preservação do meio ambiente e voltados para minimização de risco de cheias (parques lineares, reservatórios de retenção temporária, etc.).

- Usucapião especial de imóvel urbano

Instrumento voltado para a regularização fundiária, lançando um novo olhar sobre o conceito de propriedade, na medida em que vincula o seu valor de uso e não

ao seu valor de troca. Parte-se do princípio que a propriedade cumpre suas funções sociais quando atende as reais necessidades de moradia e pleno ordenamento da cidade.

O objetivo deste instrumento consiste em assegurar o direito à moradia às populações residentes em favelas, invasões, vilas, bem como em loteamentos clandestinos ou em cortiços, cumprindo as funções sociais da cidade e da propriedade, possibilitando a melhoria das condições habitacionais dessas populações, tanto em áreas urbanas já consolidadas, como em áreas de expansão.

Desta forma, diminui-se a pressão por novas áreas disponíveis, e contribui para conter a expansão da ocupação em áreas de risco de enchentes ou desabamentos e áreas de preservação ambiental.

- **Direito de preempção**

É o instrumento que confere ao poder público municipal preferência para compra de imóvel urbano, respeitado seu valor no mercado imobiliário, antes que o imóvel de interesse do município seja comercializado entre particulares. Como principal objetivo deste instrumento está a promoção da possibilidade de aquisição progressiva de terrenos para o planejamento da cidade. Desta forma, pode-se possibilitar a preservação do meio ambiente e o planejamento do processo de urbanização, que permite a aquisição de terras para reassentamento de populações que vivem em áreas de risco e de preservação ambiental.

- **Operações urbanas consorciadas**

As operações urbanas consorciadas referem-se a um conjunto de intervenções e medidas, coordenadas pelo poder público municipal, com a finalidade de preservação, recuperação ou transformação de áreas urbanas contando com a participação dos proprietários, moradores, usuários permanentes e investidores privados. O objetivo é alcançar, em determinada área, transformações urbanísticas estruturais, melhorias sociais e a valorização ambiental.

- **Estudo de impacto de vizinhança**

O estudo de impacto de vizinhança tem por objetivo avaliar os efeitos positivos e negativos do empreendimento ou atividade na qualidade de vida da população residente na área e em suas proximidades.

O Estatuto da Cidade estabelece que lei municipal definirá os empreendimentos e atividades privados ou públicos em área urbana, que dependerão de elaboração de estudo prévio de impacto de vizinhança (EIV) para obter as licenças ou autorizações de construção, ampliação ou funcionamento, a cargo do poder público municipal.

O estudo poderá prever contrapartidas ao empreendimento, tais como: reserva de áreas verdes ou de uso comunitário; obras de drenagem; estruturas para retenção temporária de águas pluviais; implantação de áreas de infiltração pluvial compensatórias à impermeabilização do solo provocada pelo empreendimento, etc.

- Zonas Especiais de Interesse Social

A concepção básica deste instrumento é incluir, no zoneamento da cidade, uma categoria que permita, mediante um plano específico de urbanização, o estabelecimento de um padrão urbanístico próprio para o assentamento que seja comprometido com a viabilização dos interesses das camadas populares, a fim de incluir as parcelas marginalizadas da cidade em locais próprios para ocupação.

Essas zonas especiais visam incorporar os espaços urbanos da cidade clandestina – favelas, assentamentos urbanos populares, loteamentos irregulares e habitações coletivas (cortiços) – à cidade legal, reduzindo assim, a ilegalidade urbana. Por meio desse instrumento, é possível promover a urbanização e regularização das áreas urbanas ocupadas pela população de baixa renda. A população será provida de serviços básicos e de infraestrutura adequada para melhorar a qualidade de vida dos que habitam esses locais (Brasil, 2001).

Este instrumento possibilita, assim, a recuperação urbanística e ambiental em áreas onde há carência extrema de serviços públicos, cuja marca é o abandono do poder público, num ciclo vicioso legitimado pela ilegalidade da ocupação.

- Plano Diretor

O Plano Diretor é um instrumento básico da política de desenvolvimento, que deve partir de uma leitura real da cidade, com o intuito de envolver os aspectos

urbanos, sociais, econômicos e ambientais, característicos de cada município (Brasil, 2002).

De acordo com o Ministério Público-RS (2013), o Plano Diretor requer estabelecer os objetivos e as atividades a serem executadas durante o planejamento da ordenação territorial e deve estabelecer e controlar as regras para parcelamento, uso e ocupação do solo, macrozoneamento, zoneamento, áreas de interesse sociais, dentre outros instrumentos jurídicos. Cabe a ele garantir a função social da cidade e da propriedade urbana, impondo os limites, as faculdades e obrigações que envolvem a propriedade urbana (Brasil, 2002).

Como forma de controlar a expansão urbana, o Plano Diretor, desde que analisado e implementado com base na realidade do local, auxiliará com normas e diretrizes do uso e ocupação do solo, mapeamento das áreas de risco, zoneamento e código de obras (Feltrin e Raia Junior, 2012).

Ferreira (2005) entende que se toda a população – inclusive as classes menos favorecidas – apreender o significado transformador do plano e do Estatuto da Cidade, e conseguir aprovar sua efetiva implementação no âmbito municipal, cobrará sua aprovação e fiscalizará sua aplicação, em uma oportunidade para conhecer melhor seu território e disputar legitimamente seus espaços.

Dando sequência ao desenvolvimento das políticas públicas, em 1º de janeiro de 2003, foi criado o Ministério das Cidades, que tem como objetivo combater as desigualdades sociais, transformando as cidades em espaços mais humanizados, ampliando o acesso da população à moradia, ao saneamento e ao transporte.

O Ministério das Cidades constituiu um fato inovador nas políticas urbanas, na medida em que superou o recorte setorial da habitação, do saneamento e dos transportes para integrá-los levando em consideração o uso e a ocupação do solo. (Brasil, 2003)

No que concerne especificamente a questão de recursos hídricos, no ano de 2006, o Governo Federal lançou um programa denominado Drenagem Urbana Sustentável sob a gerência do Ministério das Cidades, com o objetivo de promover políticas de desenvolvimento urbano, uso e ocupação do solo e gestão das bacias hidrográficas através da proposição de ações estruturais e não-estruturais, pelos municípios, para a recuperação de áreas úmidas, prevenção, controle e minimização dos impactos

decorrentes das inundações ribeirinhas e no ambiente urbano. Este programa apresentava como ações prioritárias o desenvolvimento de ações na gestão da drenagem urbana dos municípios segundo as diretrizes de seu Plano Diretor de Drenagem Urbana ou de Manejo das Águas Pluviais e caso este não exista, a prioridade de ação para o seu desenvolvimento, seguindo os princípios do Manejo Sustentável das Águas Pluviais Urbanas (Brasil, 2006).

A partir disso, observa-se a existência de iniciativas dispersas no sentido de mudanças de paradigmas dos conceitos predominantes de gestão da drenagem urbana (Cruz *et al*, 2007) que inclui dentre os seus muitos objetivos o combate às cheias urbanas e a mitigação de seu risco.

Neste contexto, além destes instrumentos, é importante destacar a existência de políticas voltadas para áreas específicas que também abordam a questão da ocupação e uso do solo.

No caso dos recursos hídricos, destaca-se a Política Nacional das Águas (Lei 9.433/97) que ao definir seus objetivos deixa claro que atua na prevenção e a defesa contra eventos críticos, de origem natural ou decorrente do uso integrado dos recursos hídricos.

Os instrumentos previstos pela Lei 9.433/97 são: o plano de recursos hídricos, a outorga de direitos de uso, a cobrança pelo uso da água bruta, o enquadramento dos corpos d'água e o sistema de informações.

Dos instrumentos citados, merecem destaque, seguindo a lógica do presente trabalho, os planos de recursos hídricos (PRH), que são planos diretores que visam fundamentar e orientar a implementação da política de gestão dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas.

O PRH constitui-se numa importante ferramenta para o planejamento dos recursos hídricos e entre os seus principais objetivos esta a construção de bases técnicas para gestão eficaz que atenta para a redução dos riscos de cheias e o seu adequado controle.

Os PRHs devem apresentar, como conteúdo mínimo, diversas informações, dentre as quais: diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos; indicação das medidas,

programas e projetos que deverão ser implantados para o atendimento das metas previstas.

Neste contexto, Carneiro (2008) atenta para o fato de que nenhum texto legal definiu com clareza a relação entre a gestão das águas com o planejamento local do território cuja competência e responsabilidade são, sobretudo, dos governos municipais. Neste sentido, o autor entende que há indefinições quanto ao papel fundamental do município como formulador e implementador de políticas urbanas de impacto nos recursos hídricos, quer através de determinações contidas em planos diretores, leis de uso e ocupação do solo, zoneamentos, códigos de obras, parcelamentos do solo, políticas de regularização fundiária urbana, dentre outras, quer pela ausência formal, ou de fato, desses instrumentos.

A deficiência no entendimento das reais funções dos governos locais e o fato de a maioria dos municípios ter pouca autonomia orçamentária dificulta ou até mesmo inviabiliza uma participação mais efetiva na gestão das águas por parte do poder local. Por sua vez, a superação de tal limitação poderia representar enormes avanços na conservação e proteção de mananciais e no controle de inundações urbanas, a partir da utilização efetiva de técnicas tradicionais de engenharia sanitária e ambiental articuladas com iniciativas integradas de planejamento do uso do solo e gestão de recursos hídricos (Carneiro *et al*, 2012).

Além da Lei Federal 9.433, no ano de 2007, foi promulgada a Lei Federal 11.445, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e fixa como competência da União estabelecer e implementar a Política Federal de Saneamento Básico, critérios para a alocação dos recursos e ainda, definir as bases para o Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB). A Lei Federal também exige que a prestação do serviço público de saneamento deve estar articulada com as políticas de desenvolvimento urbano e regional, de habitação, de combate à pobreza e de sua erradicação, de proteção ambiental, de promoção da saúde (Neto, 2009) e também coma gestão de recursos hídricos.

O Plano Diretor de Drenagem Urbana é um dos planos setoriais previstos pela Lei 11.445. Dentre as diretrizes gerais do plano, encontram-se a não ampliação da cheia natural, a não transferência dos impactos, o conhecimento do funcionamento real do sistema e, ainda, a valorização das águas superficiais urbanas, que objetiva integrá-las à

paisagem da cidade (Champs, 2009). Além disso, medidas emergenciais de limpeza e desassoreamento dos rios, assim como a recomposição da mata ciliar, e outras medidas a médio e longo prazo, devem ser articuladas com planos da bacia hidrográfica em questão.

Já no caso que aborda de forma específica e direta os desastres naturais, a Lei Federal 12.608 aprovada em 10 de abril de 2012, instui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), que autoriza a criação de sistemas de informações e monitoramento de desastres, capazes de prever e controlar os seus efeitos negativos, e, além disso, dá outras providências, tais como a definição de instrumentos legais como elementos mitigadores das ações antrópicas e obriga os municípios a elaborar o mapeamento e a fiscalização das áreas de risco.

Dentre os objetivos do PNPDEC estão:

- Reduzir os riscos de desastres;
- Estimular o desenvolvimento de cidades resilientes e os processos sustentáveis de urbanização;
- Promover a identificação e avaliação das ameaças, suscetibilidades e vulnerabilidades a desastres, de modo a evitar ou reduzir sua ocorrência;
- Estimular o ordenamento da ocupação do solo urbano e rural, tendo em vista sua conservação e a proteção da vegetação nativa, dos recursos hídricos e da vida humana;
- Combater a ocupação de áreas ambientalmente vulneráveis e de risco e promover a realocação da população residente nessas áreas;
- Estimular iniciativas que resultem na destinação de moradia em local seguro;
- Desenvolver consciência nacional acerca dos riscos de desastre;
- Orientar as comunidades a adotar comportamentos adequados de prevenção e de resposta em situação de desastre e promover a autoproteção.

Com a aprovação da nova Lei Federal 12.608, fica determinado como função do município a promoção da fiscalização das áreas de risco de desastre e o combate de novas ocupações nessas áreas, bem como vistoriar edificações em áreas de risco e

promover, quando for o caso, a intervenção preventiva e a evacuação da população das áreas de alto risco ou das edificações vulneráveis;

Além disso, o município possui também a função de elaborar mapeamento contendo as áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos, por meio de cartas geotécnicas. Feltrin e Raia Junior (2013) entendem que com o mapeamento destas áreas e com a lei de zoneamento, é possível fazer com que as pessoas morem em lugares mais apropriados para habitação.

Ademais, a Lei Federal 12.608 estabelece também algumas diretrizes e objetivos para as ações de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação voltadas à Defesa Civil.

Em seu parágrafo único do Art. 3º, da Lei nº 12.608, institui que:

“A PNPDEC deve integrar-se às políticas de ordenamento territorial, desenvolvimento urbano, saúde, meio ambiente, mudanças climáticas, gestão de recursos hídricos, geologia, infraestrutura, educação, ciência e tecnologia e às demais políticas setoriais, tendo em vista a promoção do desenvolvimento sustentável.”

A Lei 12.608 indica que cabe à União, aos Estados e aos Municípios, adotarem as medidas necessárias para elaborar o planejamento com base em pesquisas e estudos sobre as áreas de risco, e também realizar planejamentos e estudos para a preparação da cidade em ações de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação, com o objetivo de reduzir os efeitos causados pelos desastres, bem como incentivar a elaboração de Planos de Contingências (Brasil, 2012).

De acordo com a Lei Federal 12.608, os municípios têm a função de conscientizar a população acerca das áreas de risco, combatendo, dessa forma, a ocupação de áreas vulneráveis, estimular o ordenamento da ocupação do solo urbano (Brasil, 2012).

De acordo com as disposições da referida Lei, os municípios com áreas suscetíveis a desastres naturais, tais como deslizamentos e inundações, devem realizar o mapeamento contendo as áreas suscetíveis a desastres e adequar seus Planos Diretores. Devem, também, elaborar planejamento de ações de intervenção preventiva e realocação de população de áreas de risco de desastres. Devem conter, adicionalmente,

os instrumentos de planejamento territorial, tais como os parâmetros de uso e ocupação do solo, zoneamento, e diretrizes para previsão de áreas para habitação de interesse social, onde o uso habitacional for permitido (Brasil, 2012).

Por fim, entende-se que antes da utilização dos mecanismos de regulação de uso e ocupação do solo que foram citadas neste capítulo é necessário que sejam feitos estudos detalhados sobre as características urbanas e as necessidades de cada local para o ordenamento do território. Além disso, a implementação destes instrumentos deve ocorrer de forma articulada, considerando a complementaridade que apresentam entre si.

5. Análise de Risco de Cheias Urbanas

Schanze (2006) afirma que a proteção absoluta contra as cheias não pode ser alcançada. Assim, uma vez que o risco não pode ser completamente eliminado, a opção restante é gerenciá-lo (Ologunorisa e Abawua, 2005).

De acordo com Balica (2007), o processo de gestão das cheias corresponde a uma série de atividades, que tem como principal objetivo reduzir e mitigar os impactos das inundações sobre as pessoas, ambiente e economia de uma determinada área.

Samuels e Gouldby (2009) destacam que não há necessariamente uma única e melhor estratégia de gerenciamento de risco de cheias. Os autores afirmam que a percepção dos problemas varia espacialmente de acordo com mudanças temporais e também devido ao contexto social, administrativo e político nos quais o gerenciamento do risco de cheias se enquadra.

Em geral, a gestão das cheias engloba as seguintes atividades (Balica, 2007):

- Diminuição da exposição dos cidadãos, propriedades e meio ambiente;
- Diminuição do nível de danos causados pelas cheias; e
- Aumento da resiliência dos sistemas.

Para atingir estes objetivos, os passos básicos de uma gestão integrada do risco de cheias engloba as fases de análise do risco, de planejamento e implementação das medidas para redução do risco, bem como a avaliação destas e a reanálise de sua eficiência, conforme mostra a Figura 5.1.

Assim, a gestão do risco engloba não apenas as questões relativas à análise do risco inicial como também a análise do risco nas soluções propostas.

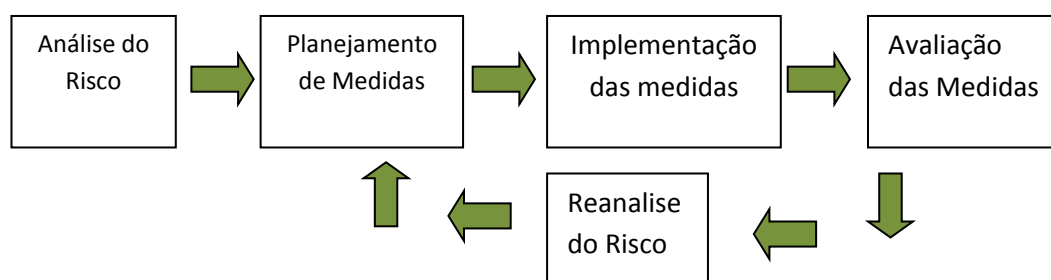


Figura 5.1: Etapas do processo de gerenciamento de risco.
Fonte: WMO (2008).

Neste contexto, alguns autores como Plate (1995) indicam que o gerenciamento do risco deve ser iniciado pela etapa de análise do risco. Tal análise, para que seja realizada e de fato efetiva, requer um conhecimento detalhado sobre o risco e seus componentes.

5.1. Componentes do Risco

Para que haja um nível real de risco de cheias, é necessário que exista certo perigo e juntamente a ele algum nível de vulnerabilidade e exposição no mesmo local. Apenas a existência do perigo não é um fator determinante para que exista o risco. Risco ocorre apenas quando a manifestação do perigo ameaça a normalidade de uma determinada coletividade.

Assim, dentre os principais componentes do risco de cheias, destacam-se o perigo, a vulnerabilidade e a exposição às inundações, conforme mostrado na Figura 5.2.

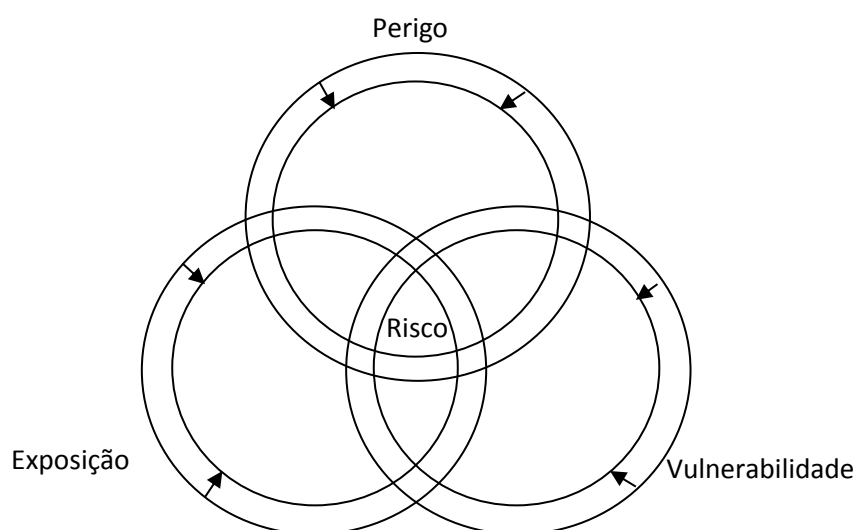


Figura 5.2: Construção do risco de cheias e sua redução.

Fonte: WMO (2008).

- Perigo

A comissão de nações unidas para assentamentos Humanos (UNCHS – HABITAT, 1981) definiu perigo como sendo a probabilidade de que em um determinado período e área, um evento de chuva potencialmente danoso ocorra e possa vir a afetar esta área. A magnitude deste fenômeno, a probabilidade de sua ocorrência e a extensão de seu impacto podem variar e, em alguns casos, ser determinadas.

O grau de perigo de cheia numa área é frequentemente medido pela probabilidade anual da cheia ou pelo período de retorno (frequência) de uma cheia que causaria inundação.

- Vulnerabilidade

A UNCHS – HABITAT (1981) afirma que a Vulnerabilidade de qualquer elemento, seja física, estrutural ou socioeconômica a um perigo natural é a sua probabilidade de ser impactado, destruído ou perdido. A vulnerabilidade não é um processo estático e deve ser considerada como um processo dinâmico, que integra mudanças e desenvolvimentos que alteram e afetam a probabilidade de danos e perdas dos elementos expostos. (UNCHS – HABITAT, 1981).

De acordo com Balica (2007), os sistemas de recursos hídricos são vulneráveis às cheias devido a três principais fatores: exposição, susceptibilidade e resiliência.

A exposição refere-se, no contexto de cheias, apenas à consideração de pessoas e assentamentos presentes fisicamente no caminho das inundações ou não (WMO, 2008). Exposição é a extensão na qual pessoas e propriedades estão posicionadas em áreas de inundação. Este fator pode ser determinado pela localização de assentamentos, uso do solo e proximidade da população aos rios e áreas inundáveis.

Já susceptibilidade ou sensibilidade, como é chamada por alguns autores, está relacionada às características do sistema. Particularmente, dentre as características do sistema, pode-se citar o preparo, e a conscientização da população afetada no que tange a questão do risco de cheias, as instituições que estão envolvidas em mitigar e reduzir os efeitos das cheias e a existência de possíveis medidas, como rotas de evacuação para serem usadas durante as cheias (Balica, 2007).

Sayers *et al* (2013) de forma mais sucinta descrevem suscetibilidade como sendo a propensão de um determinado receptor experimentar danos durante um evento de cheia.

Quanto ao termo resiliência, este pode ser definido como a capacidade do sistema em suportar uma dada perturbação, assim como as cheias, mantendo níveis significantes de eficiência em seus componentes sociais, econômicos, ambientais e físicos (Balica, 2007). Resiliência às cheias pode ser expressa como a habilidade de um sistema ou comunidade de resistir ou modificar-se a fim de minimizar ou mitigar os danos devido

às cheias. Assim, na compreensão das prováveis consequências de uma inundação, portanto, é importante compreender a natureza do receptor e como uma inundação vai impactá-lo.

Deve-se atentar para o fato de que os termos resiliência e vulnerabilidade, de acordo com WMO (2008), são conceitos opostos, sendo a resiliência contrapartida de vulnerabilidade. Assim, quanto menor a capacidade de um sistema em resistir e se adaptar ao evento catastrófico, maior é a sua vulnerabilidade e os danos sofridos pelo sistema.

Neste contexto, Riba (2009) ao discorrer sobre vulnerabilidade indica que certos edifícios, como é o caso de hospitais, delegacias e quartel de bombeiros, assim como outros serviços emergenciais, podem ser considerados mais vulneráveis devido à sua importância na recuperação e auxílio ao desastre. Assim, dependendo de suas condições durante as cheias, podem impactar nos danos causados pelas cheias de modo a aumentar a vulnerabilidade dos receptores.

De acordo com Paiva e Silva (2001), a análise da vulnerabilidade, por referência a um determinado território e a um dado perigo, faz-se tomando em consideração não apenas dimensões físicas, mas também dimensões de ordem social, incluindo não somente parâmetros associados às características do parque edificado como também da população em risco.

A vulnerabilidade é um componente crucial do risco, que determina se a exposição ao risco pode ou não resultar efetivamente em um desastre. Se a exposição potencial às cheias se tornar realidade, quando a inundação atingir fisicamente as pessoas e propriedades, a vulnerabilidade será decisiva para o grau de danos e prejuízos.

O risco implica em uma condição futura potencial, uma função da magnitude de um determinado evento e a vulnerabilidade de todos os elementos expostos em um determinado momento. Em suma, o risco relacionado às cheias urbanas pode ser entendido como função e produto do perigo existente e da vulnerabilidade.

Na prática, entretanto, a exposição e a vulnerabilidade são constantemente capturados na avaliação das consequências (Samuels e Gouldby, 2009).

Assim, o risco de cheias envolve tanto a probabilidade estatística da ocorrência de um evento e a escala de suas consequências potenciais (Smith, 1996).

$$\text{Risco} = \text{Probabilidade} \times \text{Consequências} (P \times C)$$

Para compreender a relação entre risco e perigo é útil considerar o esquema apresentado por Sayers *et al* (2013) conforme a Figura 5.3 mostrada abaixo:

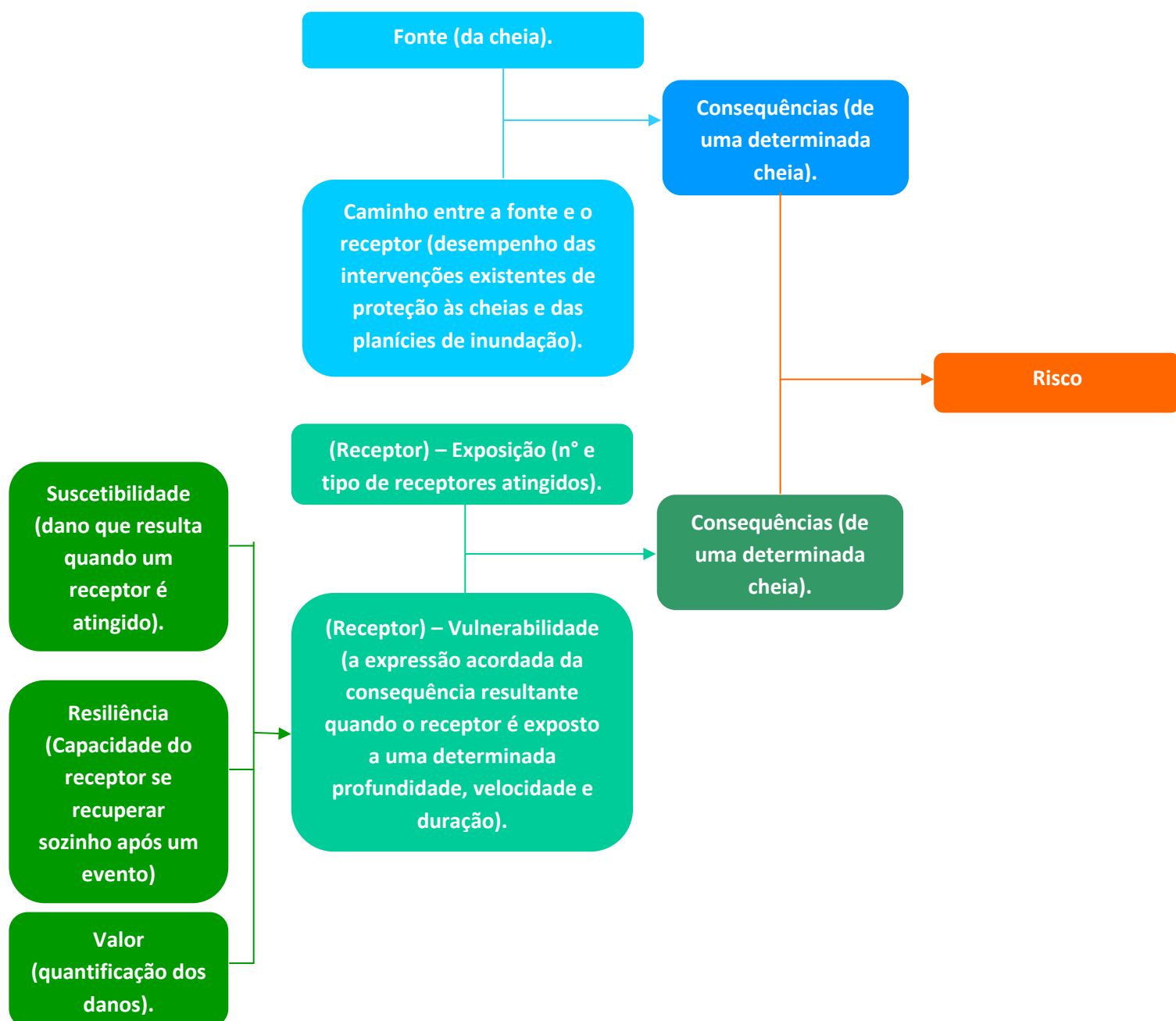


Figura 5.3: Componentes do Risco.
Fonte: Sayers *et al* (2013).

5.2. Consequências das Cheias

Os impactos das cheias urbanas podem ser compreendidos no âmbito físico, econômico e ambiental. A magnitude da destruição depende da natureza da cheia, especialmente em termos de profundidade, velocidade da água, qualidade da água, duração e carga de sedimentos. Por outro lado, como abordado anteriormente, as sociedades podem, pela sua ação no território, interferir na magnitude do risco, uma vez que criam novos padrões de vulnerabilidade e de impactos associados.

As perdas decorrentes das cheias podem ser caracterizadas em diretas e indiretas:

- Perdas diretas: são as resultantes de contato direto de prédios e infraestrutura com a inundação; e
- Perdas indiretas: acontecem como consequências do evento, no entanto não do seu impacto direto, como por exemplo, interrupção do transporte, comércio, dentre outros.

Nas duas categorias citadas, ainda pode-se subcategorizar em perdas tangíveis e intangíveis.

As perdas tangíveis são as que podem ser quantificadas monetariamente, enquanto as intangíveis são as que possuem dificuldade na atribuição de um valor, como exemplo, vidas humanas, patrimônios culturais, efeitos psicológicos e memórias.

5.3. Análise do Risco de Cheias

A análise do risco de cheias consiste na aplicação de ferramentas e técnicas para determinar objetivamente o risco por meio da análise e combinação de probabilidades e consequências. Ela envolve o uso de informações disponíveis para estimar o risco de cheia aos indivíduos ou populações, bens ou ao ambiente (Sayers *et al*, 2013).

Samuels e Gouldby (2009) indicam que, para avaliar o risco, os seguintes componentes necessitam ser considerados:

- A natureza e a probabilidade do perigo (P);
- O grau de exposição dos receptores (número de pessoas e propriedade) ao perigo;

- A susceptibilidade dos receptores ao perigo; e
- O valor dos receptores.

De acordo com Plate (2002) e Schanze (2006), a análise de risco é compreendida por três diferentes etapas, sendo elas:

- a) Determinação do perigo - Identificar o perigo, os eventos que podem causar um desastre natural;
- b) Análise de vulnerabilidade identificando o receptor; e
- c) Determinação do risco - Avaliação das consequências sociais derivadas deste risco.

Neste contexto, é importante destacar que a análise do risco deve ser abordada de uma maneira integrada.

O principal produto deste processo são mapas de risco de cheias, que são capazes de indicar claramente a sociedade e aos gestores os locais mais críticos de risco e que podem vir a apresentar consequências mais críticas. Além disso, identificam quais são os componentes do risco que necessitam ser mitigados e possibilitam comparar quantitativamente os componentes envolvidos.

O mapa de risco é uma importante ferramenta utilizada para auxiliar o processo de tomada de decisão em projetos que objetivem a redução dos danos de inundação. São importantes para o planejamento de atividades de desenvolvimento em uma área e pode ser usado como ferramenta complementar de tomada de decisão. Mapas de risco devem ser simples, podendo ser lidos e compreendidos por indivíduos técnicos e não técnicos (Jha *et al*, 2011).

Esta ferramenta corresponde à combinação dos mapas de perigo e vulnerabilidade. Os mapas de perigo, por sua vez, correspondem às zonas inundáveis e são caracterizados pelo tipo de inundação, profundidade, velocidade e permanência. Já os mapas de vulnerabilidade podem ser medidos em diferentes escalas de acordo com as escolhas dos tomadores de decisão. Inúmeras variáveis fortemente correlacionadas têm sido utilizadas para medir a vulnerabilidade, como a condição física, social, econômica e política da área estudada.

De acordo com Sayers *et al* (2013), os mapas de vulnerabilidade podem ajudar os gestores a identificar as áreas de maior suscetibilidade, a fim de reduzi-la através da concentração de esforços nesses locais.

No entanto, apenas o mapa de risco não é um fator suficiente para decidir quais medidas devem ser implementadas. Como já mencionado, o mapa de risco é apenas uma ferramenta complementar no processo de tomada de decisão que deve ser baseado em diferentes critérios que avaliem as situações de risco e definam também o risco tolerável em cada uma.

Neste sentido, um quadro geral do critério de aceitabilidade é mostrado pelo Floodsite (2009), o qual envolve a definição dos seguintes elementos:

- i. Um limite superior dos níveis de risco individual ou social, através do qual os riscos são considerados inaceitáveis;
- ii. Um limite inferior dos níveis individual ou social, abaixo dos quais os riscos não são considerados para justificar preocupação; e
- iii. Uma região intermediária entre (i) e (ii), onde uma redução adicional do risco individual e social é requerida para atingir um nível considerado “tão baixo como o racionalmente praticável” (o então chamado princípio de ALARP, conforme a Figura 5.4.

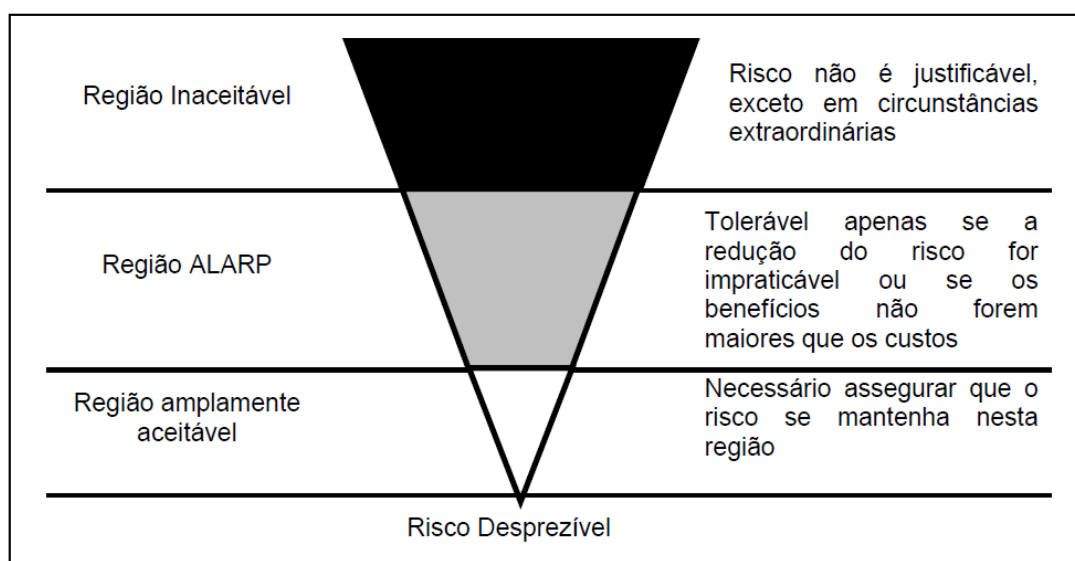


Figura 5.4: Estrutura de zonas de aceitabilidade do risco.
Fonte: Samuels e Gouldby (2009).

Embora este quadro geral forneça uma primeira impressão de como a aceitação do risco pode ser abordada, é necessário destacar que, sob o ponto de vista das ciências sociais, as esferas de aceitação e de não-aceitação podem diferir significativamente entre pessoas e que um consenso público da aceitação do risco pode não existir. Além disso, esse quadro não responde à questão de como a aceitação pode ser medida (Samuels e Gouldby, 2009).

Para isso, em relação à análise e à avaliação de situações de riscos nas ciências sociais as seguintes abordagens que visam a quantificar o risco podem ser mencionadas:

- **Análise de custo-benefício**

O objetivo desta análise é o de avaliar, ao longo do seu ciclo de vida, o valor monetário de todos os custos envolvidos no desenvolvimento, construção e manutenção, e o valor monetário de todos os benefícios a serem obtidos a partir de uma solução de risco de inundação (necessária para atingir determinado nível de segurança), a fim de determinar se os benefícios superam os custos.

- **Análise multicritério**

Esta análise permite combinar, em uma mesma avaliação, situações de natureza diferentes, considerando sua importância relativa e sem a necessidade de conversão monetária dos resultados envolvidos na análise (Zonensein, 2007).

Assim como a análise custo-benefício, esta técnica também exige uma visão holística do problema, mas permite medir as consequências de uma ação em diferentes unidades, tanto quantitativas, quanto qualitativas, e atribuir a elas diferentes pesos, de acordo com o julgamento do decisor ou parte interessada (Jha *et al*, 2011).

A análise do risco, portanto, procede como um processo cíclico de refinamento até que um determinado planejamento que se pretende para a mitigação do risco de cheias seja considerado adequado para o objetivo, no contexto da decisão a ser feita.

Esta análise deve ser um ponto obrigatório na adoção de planos de mitigação e também para a validação de sua eficiência. Ela não apenas ajuda a entender a redução do risco que se pretende alcançar com o planejamento das medidas (sejam elas estruturais ou não estruturais), como também auxilia após a sua implantação,

verificando ou não a necessidade de novos planos. Além disso, pode ajudar no aperfeiçoamento da estrutura utilizada para a gestão de risco de cheias.

Conclui-se que o processo de análise não deve terminar com a implementação das medidas contidas no plano de mitigação e sim deve ser repetido para cada medida implementada na bacia bem como nas mudanças que ocorrerem no sistema socioeconômico.

Neste contexto, o risco residual das estruturas adotadas também deve ser analisado. Por risco residual entende-se o risco proveniente da falha destas estruturas ou da extrapolação de sua capacidade de resistência, por eventos extremos, para os quais não foram dimensionadas.

6. O Planejamento Urbano Integrado às Medidas Estruturais de Controle de Cheias

A estratégia tradicional de controle de cheias, como descrito no Capítulo 3, é materializada pela adoção de medidas estruturais tais como: a construção de barragens, diques e estruturas de contenção de cheias, a modificação de leitos fluviais como, por exemplo, a retificação e desvio de rios, dentre outras. Sua aplicação consiste na modificação das cheias, alterando o volume, o seu nível máximo, o pico do hidrograma, sua duração total, a extensão da zona inundada, a velocidade e a profundidade da inundação.

As medidas estruturais foram consideradas, desde tempos remotos, como as principais medidas utilizadas para a resolução dos problemas relacionados às cheias. No entanto, foi comprovado por diversos pesquisadores que a utilização isolada deste tipo de medida não é suficiente para lidar efetivamente com tais problemas, tendo em vista que as populações crescem, planícies de inundação são ocupadas, e, conseqüentemente, danos causados por enchentes continuam a aumentar, tornando evidente a necessidade de agir de forma diferente.

A solução tradicional, quando utilizada como via única de mitigação de risco, apresenta limitações e favorece situações de confusão, uma vez que não elimina o risco de cheia, mas cria essa ilusão.

Paiva e Silva (2001) afirmam que aspectos como o desvanecimento na memória social dos fenômenos de cheia, a crença na infalibilidade do sistema hidráulico e o costume de atenuação social do risco são fatores que influenciam na criação desta ilusão. Os últimos aspectos referem-se à desvalorização, ou até mesmo a negação da possibilidade de ocorrência de uma cheia que extravase a capacidade do sistema montado para este fim.

Esta falsa sensação de segurança pode ter dois tipos de conseqüências, por um lado o crescimento urbano excessivo e desregulado das áreas adjacentes ao rio (principalmente planícies fluviais) e, por outro, o déficit de investimento na preparação para a emergência. Ambas as conseqüências favorecem um cenário paradoxal que consiste na diminuição da probabilidade de ocorrência de uma cheia, decorrente da

regularização hidráulica, e no aumento da vulnerabilidade das áreas a jusante (Paiva e Silva, 2001).

Além disso, as medidas estruturais podem transferir o risco de inundação, reduzindo o risco de enchente em um local, para aumentá-lo em outro, o que, dependendo das variáveis envolvidas, pode, em determinados casos, ser aceitável ou, como de costume, ser tão impactante ou pior do que nos casos que geraram inicialmente a necessidade de intervenção no sistema hidráulico.

Assim, em todos os casos, diversos fatores devem ser considerados na adoção de planos de mitigação de cheias, a fim de evitar maiores transtornos decorrentes de inundações, dentre as quais se encontra o risco residual da enchente.

De acordo com Riba (2009), riscos residuais são os riscos remanescentes após terem sido tomadas as medidas necessárias de prevenção e mitigação de riscos. Exemplos de risco residual de inundação incluem:

- A falha de infraestrutura de controle de inundações, como o rompimento de uma defesa contra inundações, o bloqueio de um canal de superfície ou sistema de drenagem, o galgamento de uma área de armazenamento à montante ou o fracasso de um sistema de bombeamento; e
- Um evento extremo de inundação, que excede a capacidade para a qual uma defesa estrutural foi projetada, como por exemplo, uma barragem ou dique.

Neste contexto, percebe-se que nenhuma solução técnica de combate às inundações é absolutamente segura. Mesmo que o sistema seja projetado adequadamente, há sempre um risco residual, devido à falha técnica, ou devido a uma inundação rara que excede a capacidade do sistema.

Plate (1995) entende que engenheiros assim como tomadores de decisões esclarecidos sabem que toda medida de proteção tem seus efeitos colaterais (secundários), e que a decisão de adotar um esquema de redução de cheias pode futuramente ser condenada devido a estes efeitos que originalmente foram negligenciados, ou considerados sem importância, ou de fácil gerenciamento, caracterizando o caso de risco residual.

Normalmente, uma das principais causas de intensificação destes efeitos colaterais é a ocorrência de novos desenvolvimentos nas áreas a jusante da implantação de uma medida estrutural, que conseqüentemente levam a novas exigências de defesa, requerendo, em longo prazo, novas medidas de controle de cheias.

Sayers *et al* (2013) destacam que as escolhas de infraestrutura feitas hoje vão persistir por várias décadas, se não séculos, e que adotar uma visão estratégica de longo prazo no planejamento de investimento em infraestrutura é fundamental para fazer a escolha certa.

Defender-se contra futuras inundações, portanto, exige abordagens mais completas para o combate às cheias, que objetivem lidar com a incerteza do risco residual ou ser adaptável, incorporando, assim, uma maior flexibilidade na concepção de medidas de engenharia.

A partir destas considerações, surge a necessidade de incorporar as medidas não estruturais nas estratégias de mitigação das cheias. De acordo com Riba (2009) é na gestão do risco residual que o desenho urbano e da inovação no uso de materiais tem o maior impacto.

Tingsanchali (2012) afirma que a complementação de medidas de controle de cheias com medidas de planejamento urbano são cada vez mais reconhecidas como um importante meio para prevenir inundações urbanas, pois em comparação com a utilização de meios tradicionais de forma isolada, podem levar a soluções mais eficazes e economicamente mais eficientes em um cenário de longo prazo.

O planejamento urbano visa reduzir o impacto causado pelas cheias através da redução da exposição das pessoas, da economia e dos ecossistemas às inundações, modificando assim a vulnerabilidade, a fim de alcançar um cenário melhor, considerando as circunstâncias existentes e perspectivas futuras.

A melhor estratégia para modificar a vulnerabilidade, a partir do planejamento urbano, é a de evitar as utilizações perigosas, não econômicas e indesejáveis das zonas inundáveis. Como já citado no Capítulo 5, estas zonas são mapeadas a partir da análise inicial do risco das cheias, ao identificar os perigos existentes na área que se pretende estudar. Assim, esses mapas assumem a função de indicar as principais áreas onde as inundações existentes precisam ser consideradas nas decisões de planejamento urbano.

Riba (2009) destaca que estas zonas de inundação devem ser definidas ignorando a presença de estruturas de proteção contra inundações porque as áreas defendidas ainda carregam um risco residual de alagamento, de galgamento ou rompimento de defesas e não há garantia de que as defesas serão mantidas em perpetuidade.

Em sequência, a incorporação do planejamento do uso e ocupação do solo que considere as zonas de inundação permite a utilização de estruturas que especifiquem o uso apropriado do solo e padrões de desenvolvimento nesta área, bem como definem a vulnerabilidade aceitável às inundações. Além disso, fornece orientação e clareza para indivíduos, organizações e empresas sobre o tipo de desenvolvimento que pode ocorrer e onde.

Informações tais como a quantidade de pessoas que pode ser lesada, quais estruturas públicas e privadas podem ser danificadas e como provavelmente esses impactos ocorrem devem estar também disponíveis aos tomadores de decisão. Estas informações ajudam na percepção de como as mudanças no uso do solo podem agravar ou atenuar os riscos naturais, ressaltando desta forma a importância em se considerar as zonas inundáveis no planejamento urbano

Contudo, essa orientação é de pouca utilidade na ausência de uma regulamentação apropriada para controlar legalmente ou restringir o desenvolvimento urbano nestas áreas.

De acordo com Jha *et al* (2011), a regulamentação de uso e ocupação do solo pode abranger:

- Os adequados usos do solo permitidos em zonas designadas;
- A exigência de avaliação de risco de inundação para todos os novos desenvolvimentos;
- Padrões mínimos de concepção (como materiais, nível mínimo de edifícios em relação ao solo) para o desenvolvimento permitido dentro de uma determinada zona;
- A obrigatoriedade de planos de drenagem urbana;
- Predefinição contra a reconstrução das habitações danificadas dentro das zonas de risco; e

- Adaptação obrigatória de medidas de proteção contra as cheias.

Além disso, conforme visto no Capítulo 2, uma grande variedade de ferramentas está disponível para gerenciar o desenvolvimento urbano. Exemplos incluem: leis de zoneamento, que limitam a intensidade de desenvolvimento em áreas de risco, e regulamentos que exigem drenagem pluvial adequada no novo desenvolvimento urbano; os códigos de construção; aquisição de áreas de risco; realocação de moradias existentes e que estão em áreas de risco; e os programas de informação pública para aumentar a conscientização em relação aos perigos.

Assim, através da adoção do planejamento do uso e ocupação do solo, os governos locais podem melhorar substancialmente as perspectivas para um futuro em relação às cheias, uma vez que os cidadãos e as autoridades podem fazer escolhas informadas sobre a utilização de áreas expostas a riscos naturais, entendendo melhor como funcionam os sistemas hidráulicos, de modo que não coloquem em risco a viabilidade em longo prazo da comunidade.

Burby *et al* (2000) afirmam que pesquisas realizadas nas últimas duas décadas sugerem que, se os governos locais realizarem as escolhas certas na elaboração de programas de uso e ordenamento do solo, as comunidades serão menos propensas a sofrer severas perdas de vidas e propriedades em desastres naturais.

Entretanto, é importante estar ciente que a combinação de diferentes medidas nunca é um processo simples. Há muitas interações entre diferentes atividades e diferentes setores da sociedade, e a solução para alguns deles é inconveniente para outros.

A própria prática de planejamento urbano requer a consideração de numerosos e muitas vezes conflitantes objetivos. A necessidade de acomodar as populações que crescem rapidamente e fornecer infraestrutura adequada, terras apropriadas para o desenvolvimento comercial e industrial, espaço aberto, e uma proteção adequada ao ambiente - tudo em um constante estado de mudança - é um grande desafio (Jha *et al*, 2011).

O sucesso destas políticas de adequação do uso dos solos depende integralmente da adesão dos atores com interesses no território. Por um lado, encontram-se as instâncias de governação local que têm responsabilidades no planejamento do território e na

aplicação das regras e, por outro lado, os setores privados e populações nas áreas ribeirinhas (Paiva e Silva, 2001).

A adesão de todos os envolvidos nem sempre é fácil. O desafio principal reside na necessidade de envolver a participação e concordância das partes interessadas e as suas instituições. Uma das principais dificuldades, como citado anteriormente, consiste na existência da crença na infalibilidade do sistema hidráulico instalado, pelos moradores da região. Esta resistência é ainda maior em localidades onde o trecho fluvial, com o qual convivem, usufrui de regularização hidráulica (com barragens).

A vivência de situações de desastre pode alterar este padrão de atitudes e de percepção de risco. Contudo, o caráter irregular destes acontecimentos e o seu elevado tempo de retorno fazem com que esta resistência retorne com o tempo. Sendo assim, é imprescindível a manutenção da sensibilização e da preparação ao longo de décadas sem uma inundação, levando em conta que a memória do desastre tende a enfraquecer ao longo do tempo.

Assim, ao planejar medidas estruturais de combate às cheias, reconhecer as incertezas e adotar o planejamento urbano como medida complementar tornam-se essenciais para manter a eficiência de medidas estruturais em longo prazo e vital para áreas com potencial de serem ocupadas futuramente. Este reconhecimento não impede que as decisões sejam feitas, e sim é um requisito fundamental para projetar adequadamente a capacidade de gerenciar o risco de cheias.

Conclui-se, enfim, que a redução do risco de cheias pode ser realizada diminuindo tanto a magnitude dos eventos, quanto a vulnerabilidade de uma área afetada, e que a adoção de medidas estruturas e não estruturais, de forma conjunta, corresponde a uma solução mais eficiente em longo prazo.

Nesse sentido, a solução para os problemas de inundação não deve ser considerada apenas como uma cadeia lógica que engloba estudos de inundação por métodos hidrológicos, a análise de valores extremos, a seleção de uma vazão de projeto, e a decisão sobre um sistema estrutural e sua implementação, ou seja, como uma tarefa de engenharia clássica. Na realidade, tal solução deve resultar de um processo mais abrangente que considere as incertezas futuras, incluindo o risco residual das medidas estruturais propostas e a previsão de cenários futuros de ocupação da região, propondo

assim, quando necessário, medidas de planejamento que objetivem a longevidade e eficiência do sistema de proteção proposto e, conseqüentemente, a redução da vulnerabilidade das pessoas às inundações.

Além disso, a conscientização das pessoas, a partir da regulação do uso do solo, de que um sistema hidráulico jamais será completamente seguro, deve ser incorporada no plano de mitigação de cheias a fim de evitar confusões por parte dos envolvidos e conseqüentemente maiores danos decorrentes de eventos extremos de cheia.

Todas estas considerações são fundamentais para se chegar a uma situação de comunidades mais seguras e mais sustentáveis. O crescimento urbano não necessariamente resulta na intensificação dos riscos, se as considerações anteriormente realizadas forem incorporadas na adoção das medidas de controle às cheias.

7. Estudo de Caso

7.1. Proposta de Trabalho e Hipótese a ser Verificada

As cidades são sistemas complexos e interdependentes nas quais componentes sociais, ambientais e tecnológicos interagem. No caso das cheias urbanas, o padrão de ocupação das cidades e o modo como seus usuários se comportam são fatores muitas vezes determinantes para indicar um alto grau de risco de inundações.

Os projetos tradicionais para mitigação das cheias não costumam abranger o aspecto social da bacia, não considerando fatores como o nível de conscientização da população quanto ao problema de cheias bem como suas experiências anteriores e sua preparação para lidar com elas.

Assim, esses projetos, que se resumem, normalmente, à aplicação de medidas estruturais para contornar problemas de inundação, perdem sua eficiência ou se tornam obsoletos e falhos em longo prazo. Além da falta de uma visão sistêmica e integrada da bacia, isto é caracterizado, principalmente, pela inexistência ou má aplicação de políticas públicas que objetivem o controle do uso e ocupação do solo.

Na busca pelo aperfeiçoamento destes projetos, a integração de medidas não estruturais às medidas clássicas existentes tem sido um processo cada vez mais adotado e estudado pelos gestores a fim de obter melhores resultados no combate às cheias.

Nesse sentido, o gerenciamento do risco de cheias, ao propor medidas de mitigação, deve abarcar projetos integrados e que considerem mudanças na bacia bem como o risco residual das medidas estruturais propostas.

O desafio consiste, portanto, em analisar a eficiência destas medidas em longo prazo, considerando a previsão de cenários futuros de ocupação da bacia e a possibilidade de ocorrência de falha funcional das estruturas propostas. Isto deve ser realizado a fim de verificar a necessidade de medidas não estruturais complementares, visando, portanto, à composição de projetos que mantenham sua eficiência e que busquem cidades mais resilientes.

Como medida não estrutural, ao tratar de eficiência dos projetos em cenários futuros, o planejamento do uso e ocupação do solo aparece como uma medida primordial a ser considerada. Isso ocorre, tendo em vista que a não adoção de tais

medidas, após a implementação de uma medida estrutural, pode acarretar na ocupação de áreas anteriormente desocupadas devido à inundação natural da planície.

Com a implantação da medida estrutural, estas inundações passam a não existir com a mesma frequência devido à alteração do padrão de escoamento. Assim, caso ocorra uma falha funcional da medida implantada, ou seja, a ocorrência de uma chuva maior do que a capacidade para a qual a estrutura foi dimensionada, um número maior de pessoas e propriedades estará exposto, implicando assim em uma maior vulnerabilidade e, conseqüentemente, em um risco elevado de cheias com maiores danos e prejuízos.

A hipótese a ser verificada consiste em analisar os resultados, em longo prazo, da adoção de medidas estruturais, quando estas são implantadas sem o adequado controle da ocupação e uso do solo, tendo em vista que as populações crescem, planícies de inundação são ocupadas, e, conseqüentemente danos causados por enchentes continuam a aumentar, requerendo assim novas formas de defesa.

A Bacia do Rio Pavuna é uma localidade que enfrenta os problemas decorrentes da falta de planejamento urbano, da ineficiência dos sistemas de drenagem, da degradação dos rios e de alterações de uso e cobertura do solo. Além disso, recebeu, ao longo dos anos, intervenções estruturais visando a reduzir os problemas de cheias na região. Dentre estas, a principal medida é a Barragem de Gericinó no Rio Pavuna, implantada em 1993, com o objetivo de reduzir os riscos das cheias.

Portanto, a área escolhida para o desenvolvimento desse trabalho apresenta os desafios característicos das áreas urbanas. Além disso, é uma região em crescimento populacional, o que poderá contribuir para o agravamento do risco ao longo do tempo, relacionado às inundações.

Dessa forma, com o uso de modelagem matemática, o presente trabalho pretende avaliar a situação atual do sistema drenagem, bem como o cenário de ocupação da bacia anterior e imediatamente após a instalação da barragem, para diferentes cenários hidrológicos associados também aos efeitos de maré. A partir disso, pretende-se estimar o número de propriedades atingidas em cada cenário a fim de realizar uma análise do risco de cheias.

7.2. Levantamento de Dados

Os dados necessários para o conhecimento da área de estudo e consequente modelagem hidrodinâmica são basicamente dados topográficos, hidrológicos e de uso e ocupação da bacia. As principais fontes de informação para o levantamento desses dados foram:

- Levantamento topográfico realizado pela fundação CIDE, no ano de 1996 na escala 1:10000 e 1:2000.
- Levantamento topográfico realizado pela FUNDREM, no ano de 1975 na escala 1/10000.
- Mapa de uso do solo e da cobertura vegetal do projeto GEROE, na escala de 1:50.000, realizado pela Fundação CIDE.
- Imagens de satélite do software Google Earth.
- Dados do Censo demográfico do IBGE dos anos de 1991, 2000 e 2010.
- Malhas digitais do Censo Demográfico do IBGE dos anos de 2010 e 2000.
- Imagens de satélite do Sistema de Informação Geográfica (SIG) disponibilizadas pela empresa ESRI do ano de 1990.
- Levantamento de acervo fotográfico da Bacia do Rio Pavuna-Meriti.
- Entrevistas semiestruturadas com moradores da Bacia.
- Relatório 0308-RE-0410-HS-0003/0, elaborado pela HIDRONCONSULT em março de 1991.
- LABHID (1995) – “Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Iguaçu/Sarapuá”. Laboratório de Hidrologia e Estudos do Meio Ambiente, COPPE/UFRJ.
- COPPETEC (2007) - Relatório de Estudos Integrados para Avaliação de Projeto de Intervenção na Calha do Rio Acari.

7.3. Caracterização da Área de Estudo

7.3.1. Localização e Abrangência

A Bacia do Rio Pavuna-Meriti localiza-se no Estado do Rio de Janeiro na região da Baixada Fluminense e abrange os municípios do Rio de Janeiro, Nilópolis, São João de Meriti e Duque de Caxias (Figura 7.1 e Figura 7.2). O Rio Pavuna-Meriti apresenta-se como limite entre o município do Rio de Janeiro e os outros municípios citados.

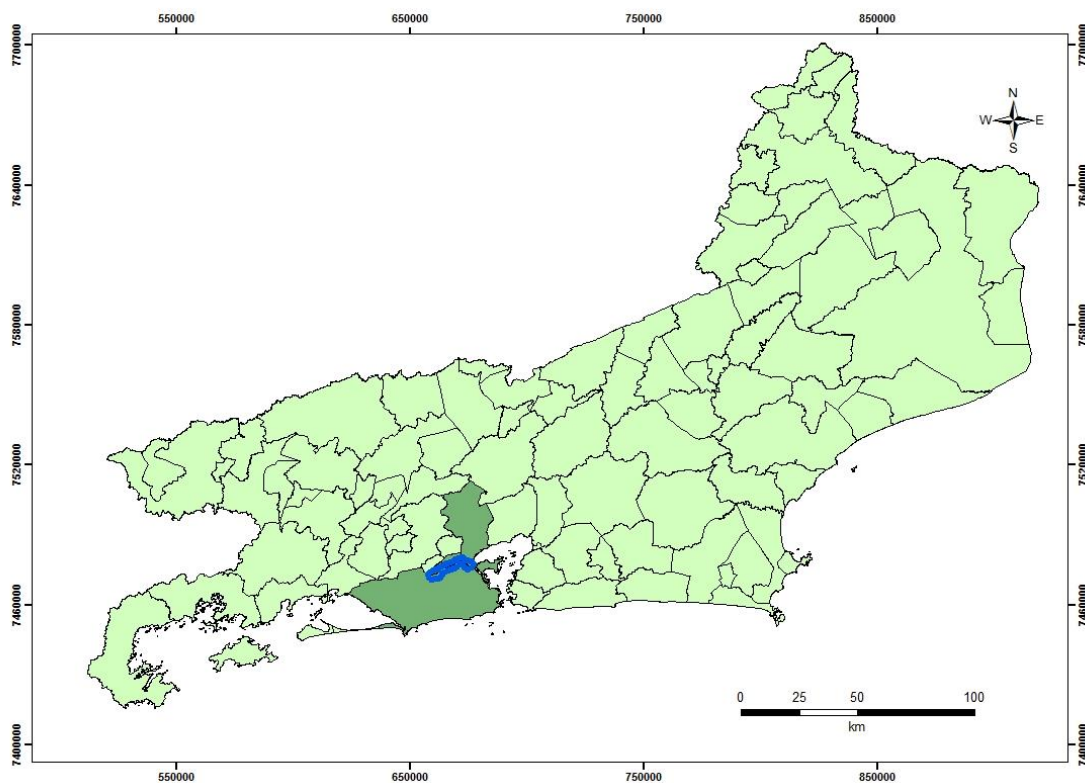


Figura 7.1: Localização no Estado do Rio de Janeiro dos Municípios que abrangem a Bacia do Rio Pavuna. Fonte: Adaptado do IBGE (2010).

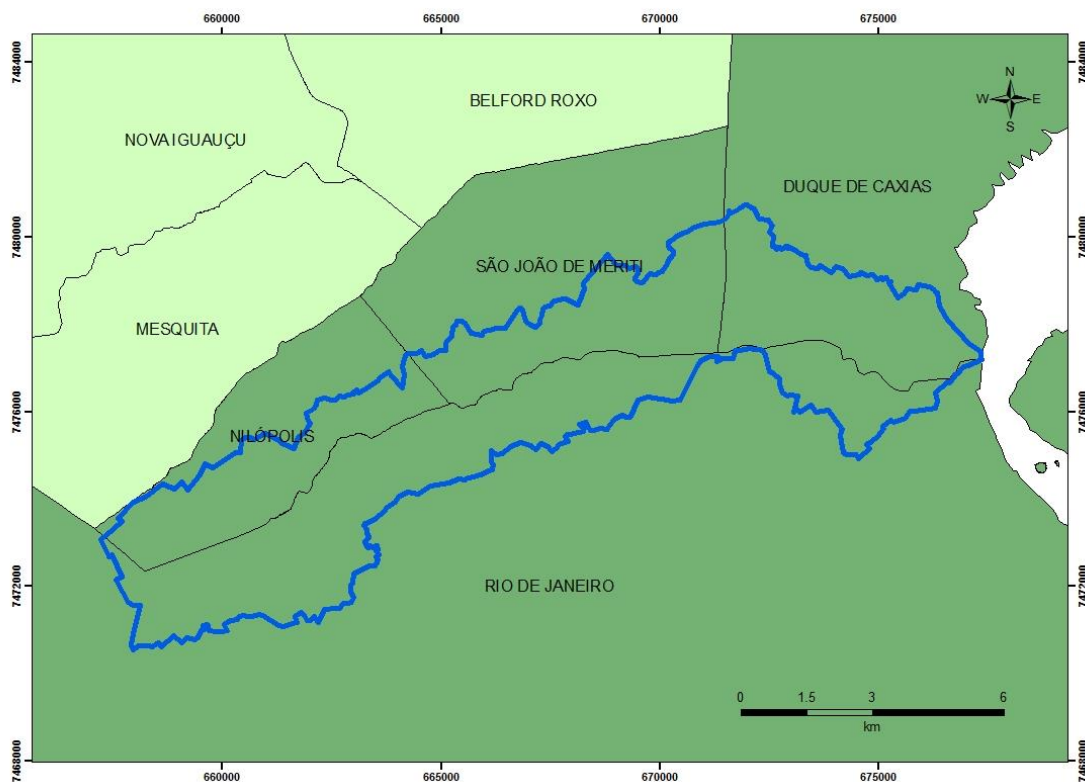


Figura 7.2: Municípios que abrangem a Bacia do Rio Pavuna.

Fonte: Adaptado do IBGE (2010).

Esta Bacia pertence à macro bacia da Baía de Guanabara e possui uma área de drenagem de cerca de 63 km², sendo composta por bairros densamente povoados do Município do Rio de Janeiro, como Pavuna, Parque Anchieta, -Parque Columbia, entre outros.

Os principais afluentes do Rio Pavuna-Meriti são, pela margem esquerda, o Canal dos Caboclos e, pela margem direita, o Rio Acari. O Rio Pavuna, juntamente com o Rio Acari, é formador do rio São João de Meriti, que deságua na Baía de Guanabara. Este rio possui aproximadamente vinte quilômetros de curso e nasce no pântano do Sítio do Retiro, na serra de Bangu, no maciço de Gericinó-Mendanha, localizado na parte sul da Região da Baixada Fluminense.

A Figura 7.3 mostra a localização da Bacia do Rio Pavuna e outras bacias que deságuam na Baía de Guanabara.

A Figura 7.4 e a Figura 7.5 mostram o trecho da bacia compreendido entre o Campo de Gericinó e a sua foz.

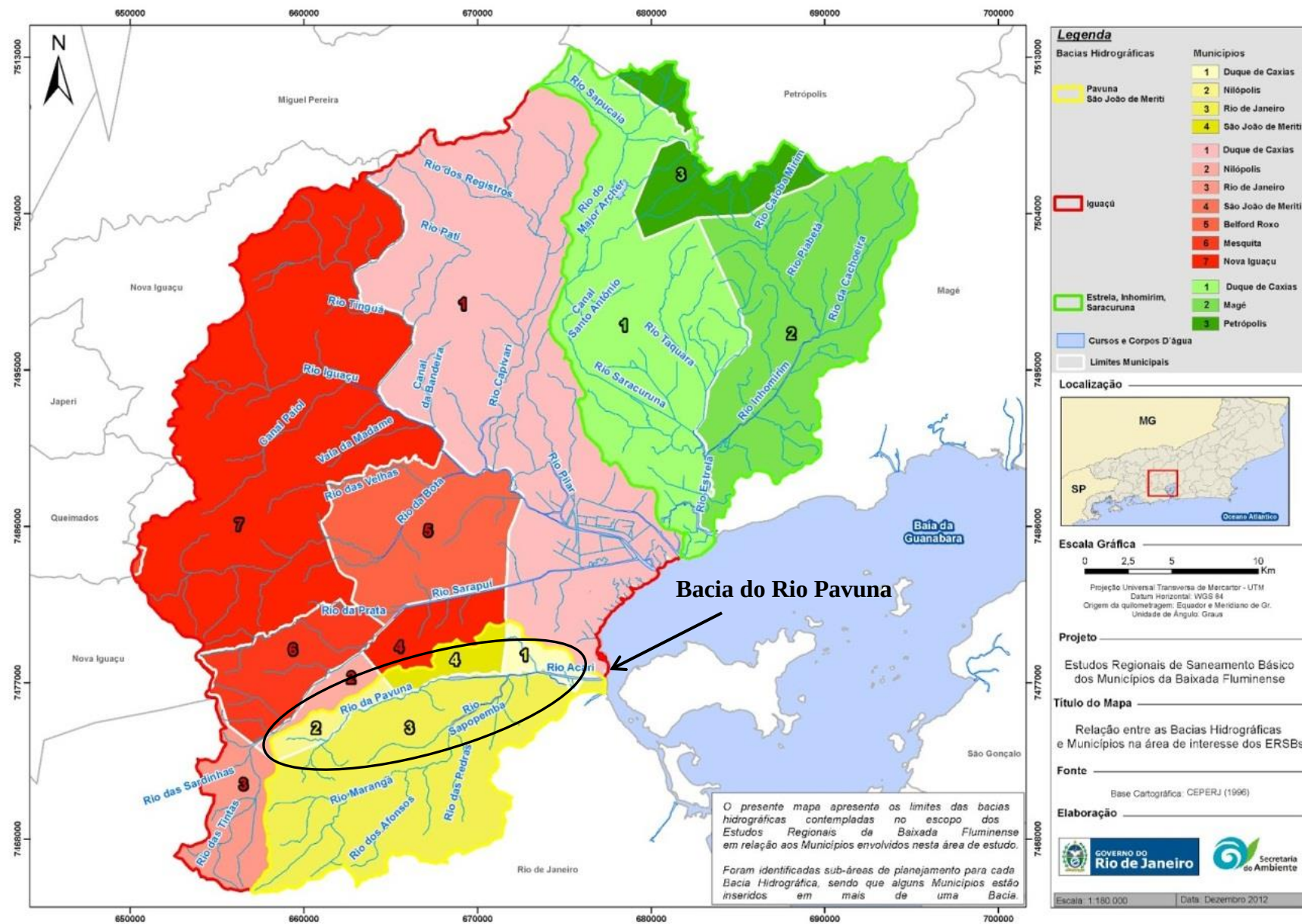


Figura 7.3 Bacias na Baixada Fluminense.

Fonte: Adaptado do INEA (2013).



Figura 7.4: Localização do Rio Pavuna e da Barragem do Rio Pavuna.

Fonte: Adaptado do Google Earth (2015).

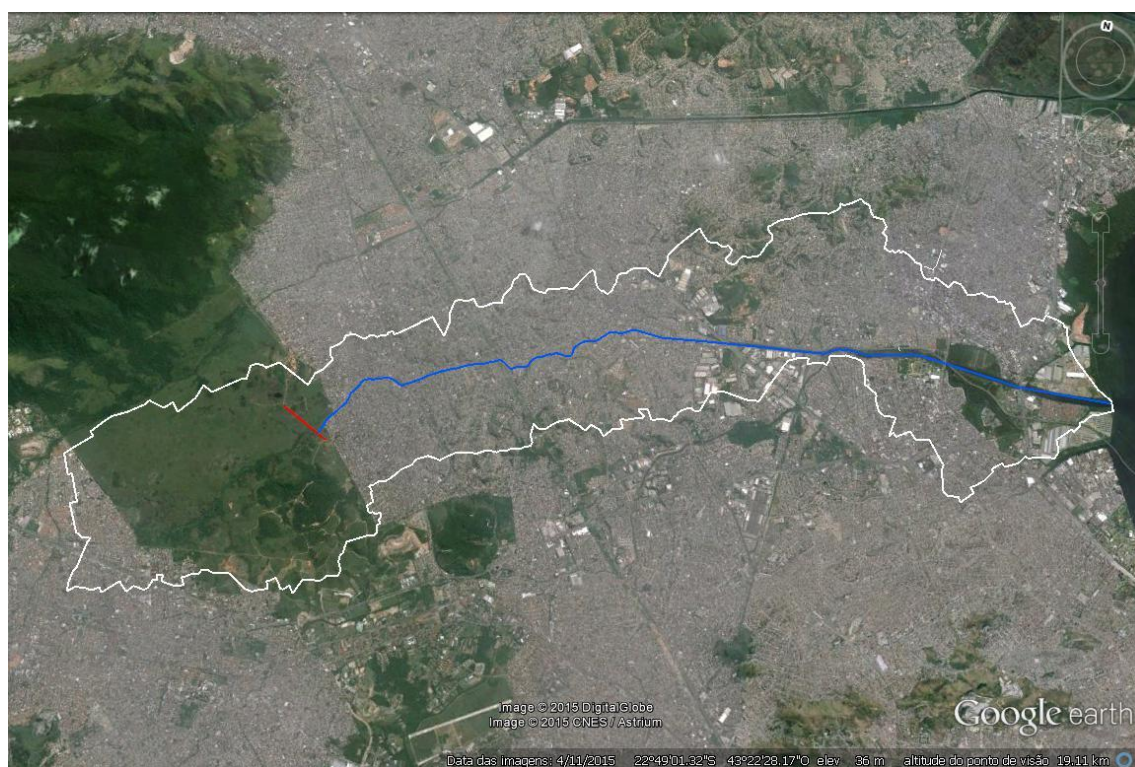


Figura 7.5: Bacia do Rio Pavuna.

Fonte: Adaptado do Google Earth (2015).

7.3.2. Histórico de Cheias da Região

A situação de cheias do Rio Pavuna-Meriti é bastante crítica. O processo de degradação deste rio não é recente e está intimamente relacionado com o processo de urbanização, principalmente do município de São João de Meriti, cuja área abrangia, até a década de 1940, desde o atual município de Nilópolis até a foz do Rio Meriti em Duque de Caxias (Gregório e Brandão, 2007).

Até o século XVII a área se caracteriza apenas por um período de ocupação, em que a vegetação mantinha suas características originais. No século XVIII teve início a primeira etapa de transformações no espaço com o desenvolvimento da agricultura. Com o crescimento dos engenhos e fazendas estendendo-se desde a foz do rio Meriti até o campo de Gericinó, em 1828, foi aberto o canal da Pavuna, medindo 3 quilômetros, que era uma extensão do Rio Meriti (Peres, 1993).

Em meados do século XIX, atingiu o seu mais alto ponto de desenvolvimento, mas, a partir desse período, a região vivenciou o declínio social e econômico (Bairro Grande Rio, 2015). O desenvolvimento da agricultura levou a uma drástica alteração do ambiente com a derrubada da mata nativa para dar lugar ao plantio e ao pasto para o gado e para extração de lenha (Gregório e Brandão, 2007). A devastação das matas e consequente obstrução dos cursos fluviais e seu extravasamento favorecem a formação de alagados, a propagação da malária e o abandono das terras assoladas. A Figura 7.6 mostra escravos limpando o rio Meriti – Pavuna.



Figura 7.6: Escravos limpando o rio Meriti – Pavuna (data indisponível).

Fonte: Bairro Grande Rio (2015).

Com a inauguração, em 1886, do trecho da linha férrea que ligou a Cidade do Rio de Janeiro à Estação de Meriti (atual sede municipal de Duque de Caxias), situada em terras que pertenciam à então freguesia de São João de Meriti, a população foi aos poucos abandonando a terra e fixando-se em torno da estação, em busca da facilidade de transporte pela estrada de ferro (Bairro Grande Rio, 2015).

O reerguimento da região ocorreu por volta de 1898, ao ser cortada pelos trilhos da Linha Auxiliar, que trouxeram consigo novas possibilidades de progresso. Outros fatores de desenvolvimento para a localidade, anos mais tarde, resultaram do saneamento da Baixada Fluminense e da construção da rodovia Rio-Petrópolis (Bairro Grande Rio, 2015).

Entretanto, foi no século XX, principalmente a partir dos anos 30 e 40, que São João de Meriti passou pelas maiores transformações em seu espaço geográfico desde a sua fundação no século XVI. Estas transformações se deram com a urbanização decorrente do processo de expansão urbano-industrial do antigo Distrito Federal, atual município do Rio de Janeiro (Gregório e Brandão, 2007).

As duas primeiras décadas do século XX correspondem às reformas urbanísticas na área central do Rio de Janeiro, empreendidas pelo Prefeito Pereira Passos. Essas reformas resultaram na demolição dos cortiços existentes na área central e na expulsão

da população dessa área, o que forçou a população a migrar para novas áreas do distrito de mais baixo custo, dando início, assim, ao processo de integração física da Baixada Fluminense ao espaço carioca (Abreu, 1987).

No caso de São João de Meriti, o que foi determinante para atração populacional foi a proximidade com o Distrito Federal, em relação a outras partes da Baixada Fluminense, com a chegada das linhas Férreas Rio d'Ouro e Linha auxiliar (Figura 7.7 e Figura 7.8), o que facilitava o deslocamento em menos tempo, e, por fim o baixo preço dos lotes, resultantes da divisão das terras dos antigos engenhos vendidos sem qualquer infraestrutura (Gregório e Brandão, 2007).

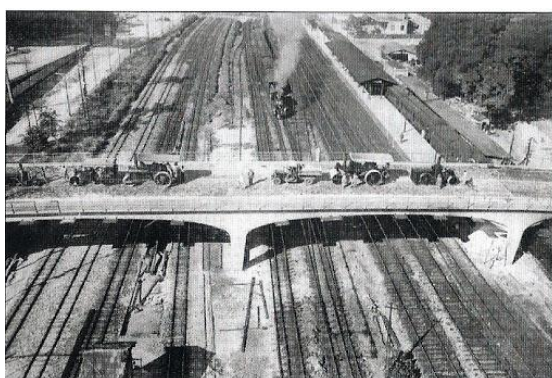


Figura 7.7: Estação Ferroviária - RFFSA.
Fonte: Bairro Grande Rio (2015).



Figura 7.8: Estação de Coelho da Rocha na década de 50
Fonte: Bairro Grande Rio (1950).

Estes fatores não só atraíram a população mais pobre do distrito como os migrantes vindos do Nordeste; os subúrbios mais afastados do centro e principalmente os municípios da Baixada Fluminense que abrigaram a maior parte dos migrantes recém-chegados ao Rio de Janeiro neste período (Abreu, 1987).

No entanto, o processo de crescimento não foi acompanhado por uma política de infraestrutura de serviços básicos, como água e esgoto, serviços estes que passaram a condições críticas atualmente (Góes, 1930).

A partir da década de 30, foi implantado pelo Governo Vargas um novo programa de saneamento na Baixada, em que foram realizadas obras de dragagem e desobstrução dos rios, diques para conter as enchentes, dentre outras ações.

Essas grandes obras de saneamento tiveram como objetivo principal acabar com as enchentes, para disponibilizar áreas para a ocupação da crescente demanda que chegava ao Rio de Janeiro. Assim, o que parecia um grande benefício acabou se tornando um grande problema, pois não havendo manutenção das obras realizadas, a crescente

urbanização agravou os problemas que aparentemente tinham sido solucionados (Gregório e Brandão, 2007).

A partir destas obras, o Rio Pavuna-Meriti, que era do tipo meandrante, foi completamente retificado (Figura 7.9).



Figura 7.9: Trecho retificado do Rio Pavuna
Fonte: Google Earth (2015)

No período entre 1950 e 1970, a Baixada Fluminense ficou sem receber investimentos significativos na área de saneamento, o que teve como consequência o retorno das graves enchentes entre os anos 60 e 80 (Porto, 2001).

Com as enchentes ocorridas no ano de 1988, em decorrência de chuvas intensas, em especial na Baixada Fluminense, onde houve um grande número de desabrigados e mortos, foi criado o programa Reconstrução Rio. O plano era de caráter emergencial e constava basicamente da construção da Barragem de Gericinó, dragagem dos rios e córregos da Região.

Segundo Carneiro (2008), este programa consistiu, principalmente, das seguintes ações:

- aperfeiçoamento da capacidade de escoamento dos rios e canais;

- construção de duas barragens de contenção de cheias, localizadas no campo de provas do Exército em Gericinó;
- remoção de obstáculos ao escoamento, principalmente de pontes que funcionavam nas enchentes como verdadeiras barragens ao escoamento;
- substituição de tubos de drenagem com dimensões insuficientes, instalados pelas prefeituras municipais, com base em questionáveis critérios de dimensionamento ou, no caso mais frequente, total ausência de critérios técnicos;
- remanejamento de adutoras ou gasodutos que cruzavam transversalmente os cursos d'água, em cotas inadequadas, funcionando como verdadeiros "retentores de lixo".

Aproximadamente 1/3 dos gastos com macrodrenagem realizados pelo Programa Reconstrução-Rio foram empregados refazendo obras de engenharia projetadas no passado, sem a devida atenção para os efeitos dessas obras sobre a drenagem (Carneiro, 2008). Assim, apesar da execução destas obras, os problemas relacionados ao saneamento da região não tiveram uma efetiva melhoria.

Recentemente, já no início do século XXI, nenhum programa de saneamento abrangente e de pesado investimento foi implantado na região e as obras realizadas outrora não receberam a manutenção devida. Observa-se que a preocupação com o saneamento, principalmente no que tange à manutenção dos rios e córregos, é bastante antiga, porém, até hoje, problemas como enchentes, poluição dos rios, disposição inadequada do lixo e abastecimento precário de água persistem no município e na região (Gregório e Brandão, 2007).

Hoje, pode-se verificar que a situação não mudou muito. Percebe-se que as inundações na bacia decorrem basicamente do processo de ocupação e uso do solo inadequado.

Neste processo, são agravantes, principalmente, a falta de infraestrutura urbana, a deficiência dos serviços de esgotamento sanitário e de coleta de resíduos sólidos, a ocupação desordenada e ilegal de margens dos rios, a obstrução ou estrangulamento do escoamento em decorrência de estruturas de travessias implantadas (pontes, tanto

rodoviárias quanto ferroviárias, e tubulações de água), bem como de muros e edificações que obstruem as calhas dos rios.

De acordo com Carneiro (2008), na origem destes problemas sempre se encontra ou uma legislação inadequada de uso do solo, ou, na grande maioria dos casos, o não cumprimento da legislação existente.

Isto pode ser verificado no Rio Pavuna, com a ocupação das margens, que está em total desacordo com a legislação federal, que determina a extensão das áreas *non aedificandi* em relação ao curso d'água, tornando ainda mais complexo e custoso o controle das inundações. Esta ocupação irregular das margens pode ser observada na Figura 7.10.



Figura 7.10: Ocupação irregular nas margens do Rio Pavuna.
Fonte: Google Earth (2011).

Por fim, pode-se dizer que a bacia apresenta graves problemas de infraestrutura de água, esgoto e lixo, um grande déficit habitacional e ocupações irregulares. Além disso, o Rio Pavuna está completamente poluído e assoreado o que traz transtornos como enchentes e sérios riscos de doenças de veiculação hídrica. É importante destacar que pouco depois de sua nascente, esse rio já passa a receber esgoto in natura, lixo e despejos de resíduos industriais. Exemplos deste cenário de degradação e problemas

sofridos com as enchentes na região podem ser observados nas Figura 7.11, Figura 7.12, Figura 7.13, Figura 7.14, Figura 7.15 e Figura 7.16.



Figura 7.11: Lixo e degradação no Rio Pavuna.
Fonte: Google Earth (2011).



Figura 7.12: Lixo entulhado nas margens do Rio Meriti, após as fortes chuvas que atingiram o Estado em dezembro de 2013.

Fonte: BOL, 11/12/2013, Fotogaleria “Chuvas provocam destruição no Rio de Janeiro”.



Figura 7.13: Cenário de degradação do Rio Meriti - criança brinca nas margens do rio, após as fortes chuvas que atingiram a região em 2013.

Fonte: BOL, 11/12/2013, Fotogaleria “Chuvas provocam destruição no Rio de Janeiro”.



Figura 7.14: Alagamento na margem do Rio Pavuna.

Fonte: Google Earth (2013).



Figura 7.15: Pessoas se locomovem de barco em Rua no bairro Pavuna após forte chuva que atingiu a região em dezembro de 2013.

Fonte: BOL, 11/12/2013, Fotogaleria “Chuvas provocam destruição no Rio de Janeiro”.



Figura 7.16: Enchente no Parque Columbia, na Pavuna em dezembro de 2013.

Fonte: BOL, 11/12/2013, Fotogaleria “Chuvas provocam destruição no Rio de Janeiro”.

7.3.3. Crescimento Populacional

Conforme retratado, diversos fatores foram determinantes para a expansão urbana na Bacia do Rio Pavuna-Meriti. A Tabela 7.1 e a Figura 7.17 e Figura 7.18 mostram o crescimento populacional urbano dos municípios contidos na área da Bacia do Rio Pavuna em termos numéricos segundo o Censo 2010 do IBGE. Pode-se perceber que a população desses municípios totalizou 7.333.378 habitantes em 2010.

Tabela 7.1: População total dos municípios inseridos na Bacia do Rio Pavuna.

Municípios	População Municipal		
	Urbana	Rural	Total
Rio de Janeiro	6 320 446	-	6 320 446
São João de Meriti	458 673	-	458 673
Nilópolis	157 425	-	157 425
Duque de Caxias	852 138	2 910	855 048
Total:	7 788 682	2 910	7 791 592

Fonte: IBGE (2010)

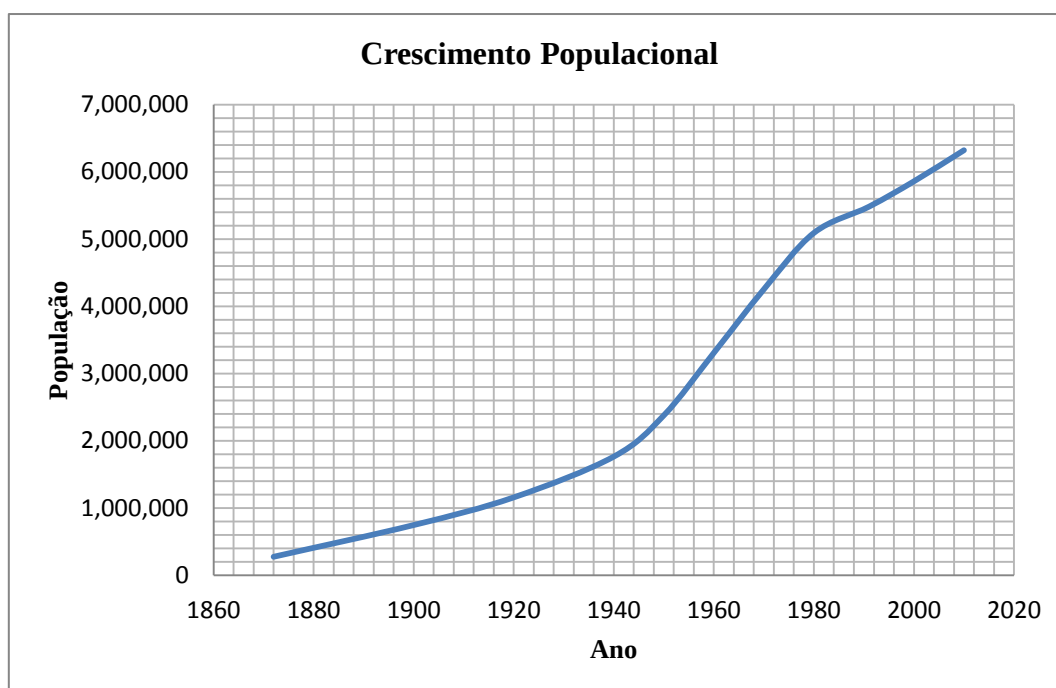


Figura 7.17: Evolução da população do município do Rio de Janeiro no tempo.

Fonte: IBGE (2010).

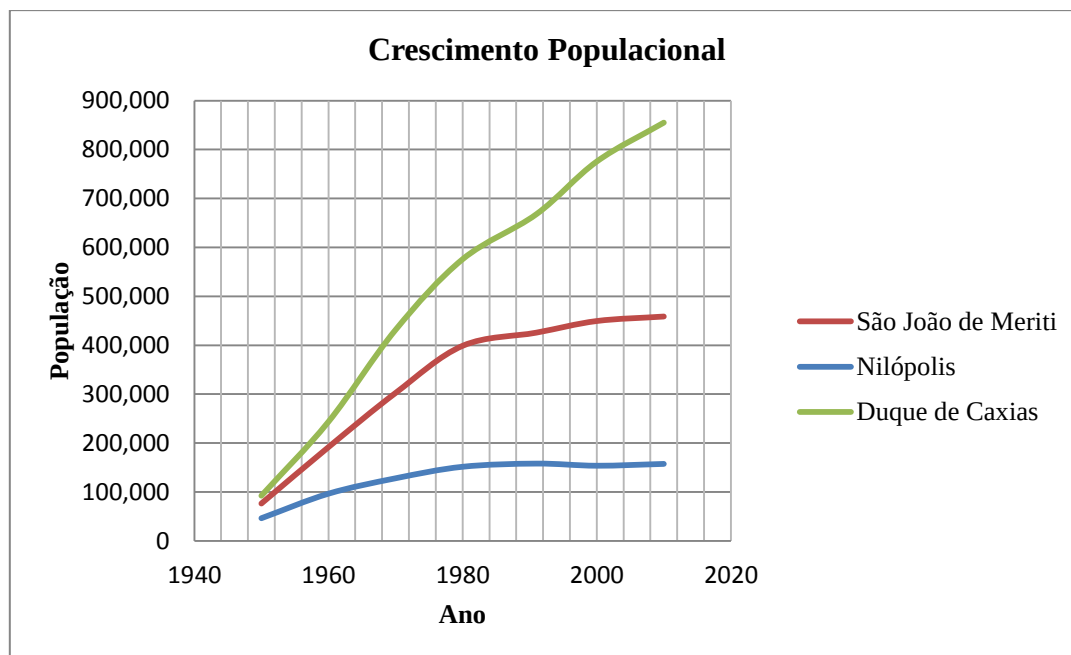


Figura 7.18: Evolução da população no tempo.
Fonte: IBGE (2010).

A partir dos gráficos apresentados, pode-se verificar que o crescimento populacional da região de Nilópolis e São João de Meriti se estabilizou. Este fato provavelmente ocorreu devido à saturação urbana na região. Ao que se pode verificar, a população rural atual é inexpressiva e situa-se unicamente no município de Duque de Caxias, correspondendo a menos de 1% do total.

É importante destacar que este crescimento ocorreu em detrimento da qualidade do ambiente, pois, nos anos 90, conforme mostra a Figura 7.19, praticamente já não existiam áreas florestadas nos municípios, que correspondem às áreas verdes mostradas no mapa.

7.3.4. Barragens do Rio Pavuna e Sarapuí (Gericinó)

As barragens no Rio Sarapuí e do Rio Pavuna foram construídas no Programa de Defesa contra inundações do Governo do Estado do Rio de Janeiro. A motivação para a criação deste programa foi a ocorrência de uma cheia excepcional em fevereiro de 1988 que deixou um rastro de destruição, mortes e doenças na região.

A Figura 7.20 indica a localização da Barragem de Gericinó e a Figura 7.21 e a Figura 7.22 mostram a barragem durante sua construção.



Figura 7.20: Barragem de Gericinó.
Fonte: Adaptado do Google Earth (2015).



Figura 7.21: Construção da Barragem do Rio Pavuna – 1990 – 1993.
Fonte: SONDOTÉCNICA 1990-1993 “Barragem do Rio Pavuna – Serla”.



Figura 7.22: Construção da Barragem do Rio Pavuna – 1990 – 1993.
Fonte: SONDOTÉCNICA 1990-1993 “Barragem do Rio Pavuna – Serla”.

Inicialmente, a partir de um convênio entre a SERLA (Superintendência Estadual de Rios e Lagoas) e o Exército, ficou permitida a construção de uma barragem de contenção de cheias, transversal ao Rio Sarapuí no campo de Gericinó (área de propriedade do Exército, utilizada para exercícios militares). Posteriormente, o convênio foi ampliado para permitir a construção de uma segunda barragem, transversal ao Rio Pavuna, que também corta o campo de Gericinó, com alinhamento paralelo ao Sarapuí.

De acordo com Kelman et al (1995), ambas as barragens possuem cristas interligadas na cota 23 m por uma pista com comprimento total de cerca de 3600 m e se localizam perto da extremidade de jusante do campo de Gericinó, nas proximidades do município de Nilópolis (Sarapuí e Pavuna) e do Rio de Janeiro (Pavuna). A área de drenagem conjunta das duas bacias nas barragens é de 68 km².

As barragens podem ser visualizadas como uma extensa parede, com altura máxima de cerca de 10 m, perpendicular ao curso dos dois rios, com dois orifícios, um localizado no curso do Rio Sarapuí e o outro no curso do Rio Pavuna.

Para uma chuva com tempo de recorrência de 20 anos, estima-se que o pico das vazões afluentes a Gericinó será de 171 m³/s na Barragem do Sarapuí, e de 51 m³/s na Barragem do Pavuna. Já as vazões efluentes, isto é, as que passam pelos orifícios, serão respectivamente de 32 m³/s e 12 m³/s, ou seja, os picos tiveram uma redução de 81% e 76%, após a construção da barragem (Kelman, 1995).

No reservatório temporário, o nível d'água ficaria, para a situação de projeto, abaixo da cota de 19 m, que é o nível da água a partir do qual ocorre a vazão pelo vertedor em adição à vazão pelo orifício.

A construção das barragens tornou dispensável a canalização do Rio Sarapuí a jusante da barragem. Já para o Rio Pavuna, não foi possível evitar a canalização do trecho de cerca de 6,5 km na região a jusante (Figura 7.9). A barragem tornou possível a canalização, por diminuir as dimensões da seção transversal, o que resultou em substantiva diminuição da quantidade de reassentamentos.

Tabela 7.2: Características das Barragens.

Barragem do Rio Pavuna	Barragem do Sarapuí
• Descarregador de fundo : 1,3 x 1,3 m, laje inferior na cota 12,50 m; • Vertedor de superfície com soleira na cota 19,00 m constituído por 1 parte de 5 m.	• Descarregador de fundo : 2,25 x 2,25 m, laje inferior na cota 12,50 m; • Vertedor de superfície com soleira na cota 19,00 m constituído por 2 partes iguais de 5 m cada.

(Dados obtidos pelo relatório 0308-RE-0410-HS-0003/0, elaborado pela Hidroconsult em março de 1991)

7.4. Metodologia

A abordagem proposta nesta dissertação pretende conjugar e, quando necessário, adaptar ferramentas metodológicas de forma a avaliar a hipótese de trabalho postulada.

Assim, pretende-se iniciar o estudo modelando matematicamente a situação atual e calibrando este modelo. Com este resultado, tem-se um diagnóstico da situação presente da Bacia do Rio Pavuna, em termos de alagamentos. Para avaliar como os efeitos da barragem ainda se manifestam no controle de alagamentos, é necessário retroceder no tempo e modelar a bacia na década de 1990, antes e depois da implantação da barragem. Assim, a partir de pesquisas de mapas antigos, fotos aéreas, imagens, busca-se identificar o estágio de ocupação da bacia nesta época. Uma pesquisa de informações do censo do IBGE, especialmente no que se refere à densidade de domicílios e densidade urbana completa o quadro.

Na sequência, com os diferentes cenários de alagamento, pretende-se avaliar a ação da barragem, nos diferentes momentos; mapear o crescimento e adensamento urbano, reconhecendo os seus padrões; cruzar estas informações e inferir relações de causa e consequência; avaliar a importância do correto controle de uso do solo na sustentabilidade das soluções de drenagem no longo prazo. Para auxiliar nas análises, um índice simplificado de mapeamento de risco será proposto.

7.4.1. Ferramentas Metodológicas

7.4.1.1. Modelação Matemática

Para a modelagem hidrodinâmica da Bacia do Rio Pavuna-Meriti, utilizou-se o Modelo de Células de Escoamento para Bacias Urbanas – MODCEL, desenvolvido por Miguez (2001).

O objetivo de um modelo de drenagem urbana é a representação do escoamento da precipitação pela superfície do terreno, a interceptação, a infiltração, a evapotranspiração e a interação destes processos com a rede de drenagem de águas pluviais (Cabral *et al*, 2009).

O MODCEL é um modelo de células de escoamento, com vocação para representação da paisagem urbana, que integra os processos hidrológicos com um

modelo hidrodinâmico, em uma representação espacial que liga o escoamento de superfície, de canais e a de tubulações.

Com o uso do MODCEL é possível realizar simulação de diferentes cenários hidrológicos e hidráulicos em uma bacia hidrográfica, permitindo a análise quantitativa das inundações urbanas tratadas nesta dissertação. A modelagem de inundações urbanas, segundo Miguez (2009), deve considerar a bacia como um sistema, a fim de abranger a variabilidade temporal e espacial do fenômeno. Esse tipo de abordagem permite a simulação de ações integradas sobre a bacia, juntando intervenções tradicionais de canalização com medidas distribuídas, que visam a infiltração e a retenção dos escoamentos pluviais.

Nesse sentido, a avaliação espacial do comportamento hidrológico e hidrodinâmico da bacia, os efeitos das mudanças nos padrões de uso e ocupação do solo serão avaliados com o uso do modelo.

Com os resultados obtidos na modelagem será possível realizar o mapeamento das manchas de inundação (mapas de perigo) provenientes da resposta do sistema de macrodrenagem a um evento hidrológico pré-estabelecido.

A escolha do Modelo de Células como estrutura básica para o desenvolvimento da ferramenta proposta deve-se principalmente aos seguintes fatores:

- Modelo hidrodinâmico já implementado e testado no desenvolvimento de diversos projetos, teses e outras aplicações, o que aumenta sua confiabilidade, conforme, por exemplo, Mascarenhas e Miguez (1999), Rezende (2010) e Veról (2013); e
- Facilidade de utilização de relações hidráulicas já disponíveis no modelo para a representação de elementos dos sistemas hídricos.

7.4.1.1.1. Modelo de Células de Escoamento- MODCEL

O MODCEL é um modelo matemático hidráulico-hidrológico capaz de representar as inundações em grandes planícies, a partir da integração entre os escoamentos superficiais e a rede de drenagem. A descrição detalhada do modelo é realizada em Miguez (2001).

O MODCEL é aplicado para modelagem hidrodinâmica de bacias sujeitas a enchentes. Esse modelo parte do princípio que a bacia pode ser representada por compartimentos interligados, formando uma rede bidimensional.

A aplicação do MODCEL permite representar a natureza através de um conjunto de células, de forma isolada ou formando estruturas complexas capazes de simular os possíveis percursos das águas em uma inundação.

Em Miguez (2001) são apresentadas as hipóteses da aplicação do MODCEL para estudos de cheias urbanas. São elas:

- A cidade e sua rede de drenagem podem ser divididas em compartimentos homogêneos e interligados, chamados células de escoamento. As células formam uma rede de escoamento bidimensional, que pode ocorrer em várias direções, através de relações unidimensionais.
- Os princípios de conservação de massa e de quantidade de movimento são capazes de representar os fenômenos físicos que envolvem o escoamento de cheias urbanas.
- O escoamento entre as células pode ser calculado pelas leis hidráulicas conhecidas, como a equação simplificada de Saint-Venant sendo desprezados os efeitos de inércia.
- O escoamento pode ocorrer simultaneamente em dois níveis, superficial e subterrâneo, contanto que haja uma ligação entre eles.

Para a realização da modelagem hidráulica-hidrológica de uma determinada bacia, seja ela urbana ou rural, são definidos uma série de tipos de células e de tipos de ligações entre elas. A seguir, são descritos os tipos de célula pré-definidos utilizados no modelo:

- **de rio, ou canal,** por onde se desenvolve o escoamento principal da drenagem à céu aberto;
- **de galeria, subterrânea,** complementando a rede de drenagem;
- **de superfície,** para a representação de escoamentos a superfície livre através das ruas que compõem a paisagem urbana, bem como para a representação de áreas de armazenamento – neste tipo de célula o padrão de urbanização encontra-se representado;

- **de reservatório**, simulando o armazenamento d'água em um reservatório temporário de armazenamento;
- **de encosta**, são áreas elevadas, em termos de cotas topográficas, que têm a finalidade de conduzir água das chuvas para dentro do modelo. Ao se definir o uso destas células, em função da própria cota da encosta, usualmente o escoamento ocorre em um único sentido, ou seja, afluindo ao modelo. Este tipo de célula é normalmente definido nas bordas da bacia em estudo e não considera a existência do padrão de urbanização.

A Figura 7.23 apresenta uma região dividida em células, mostrando o escoamento superficial das encostas para as planícies alagáveis e as interações entre as células de planície, os vertedouros e os rios.

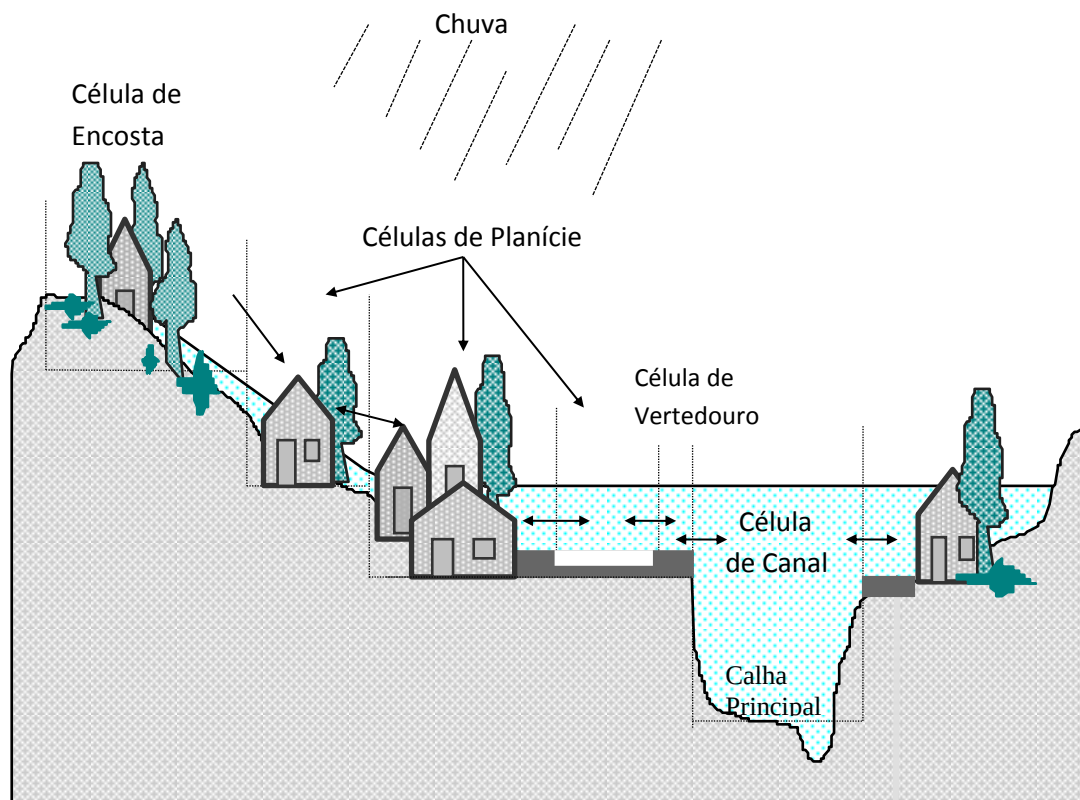


Figura 7.23: Representação esquemática de uma região dividida em células, mostrando interfaces dos escoamentos superficiais.

Fonte: Miguez (2001)

Após a representação da bacia, a partir da definição dos tipos de células, é necessário considerar as interações entre elas, representadas pelas suas ligações. Os tipos de ligações que, por sua vez, definem as leis hidráulicas que descrevem a relação de troca entre células, são apresentados a seguir:

- Ligação Tipo Planície

- Ligação Tipo Bueiro com Microdrenagem,
- Ligação Tipo Canal;
- Ligação Tipo Comporta FLAP;
- Ligação Tipo Bombeamento;
- Ligação Tipo Confluência entre Galeria e Rio;
- Ligação Tipo Confluência entre Galerias;
- Ligação Tipo Descarga de uma Galeria em Confluência com um Canal Principal;
- Ligação Tipo Entrada de Galeria;
- Ligação Tipo Galeria;
- Ligação Tipo Saída de Galeria;
- Ligação Tipo Reservatório;
- Ligação Tipo Saída de Reservatório;
- Ligação Tipo Orifício;
- Ligação Tipo Vertedor; e
- Ligação Tipo Vertedor de Soleira Espessa.

De forma geral, a marcação das células deve resultar em uma rede de escoamento articulada, que permita a reprodução dos padrões gerais de escoamento. O processo de modelagem por células de escoamento inicia-se pela análise da região através de levantamentos e plantas topográficos, aerofotogrametrias, imagens de satélite e visitas de campo, entre outras fontes de informações disponíveis. Com isso, faz-se a divisão da bacia em células de acordo com o padrão urbano e topográfico da área. Após essa divisão é necessário construir um esquema topológico que integra a rede de células, mostrando as suas interações com as células vizinhas e com as condições de contorno, localizadas nas fronteiras da área modelada. A montagem desse esquema faz parte da entrada de dados para permitir a solução numérica do modelo.

Na Figura 7.24 são apresentadas as etapas da modelagem hipotética de uma área, desde a topografia até a divisão por grupos.

A esta etapa segue-se a confecção dos arquivos de entrada necessários, que compreendem os dados e parâmetros de cada célula da divisão, suas ligações e as condições de contorno necessárias para a modelagem, assim como a chuva de projeto ou um evento medido.

Nesse contexto, para construir um modelo capaz de representar uma determinada região, é necessário identificar as áreas alagáveis e as direções principais dos escoamentos, definindo o mapa geral do padrão do escoamento. É necessário também conhecer as características hidráulicas e geométricas das seções de escoamento dos rios, bem como definir as áreas homogêneas de planície e encosta, e definir as interações entre elas.

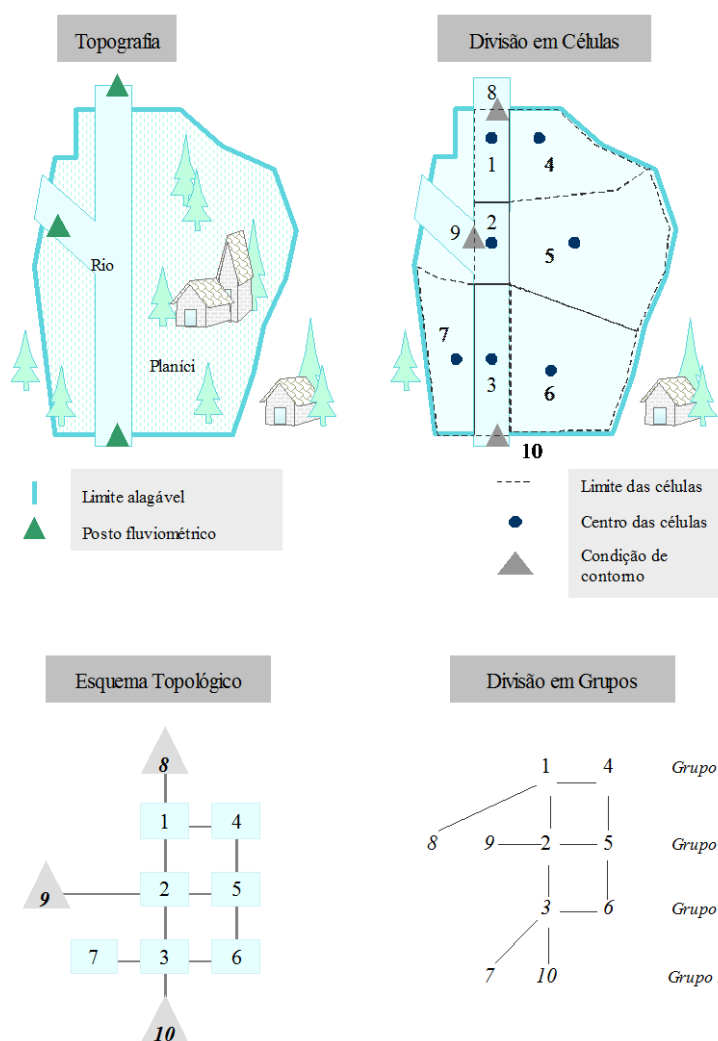


Figura 7.24: Etapas da modelagem hipotética de uma área.
Fonte: Miguez (2001)

7.4.2. Ferramenta para a Análise de Risco

Tradicionalmente, a identificação do risco de cheias ocorre com a simples identificação de zonas críticas de alagamento, não sendo possível compará-las, sem computar diversos outros aspectos que afetam a criticidade do problema de inundação. Assim sendo, esta avaliação acontece de acordo com o julgamento particular dos tomadores de decisão e com base em suas experiências e conhecimento, o que dificulta a repetição e justificativa da análise. De fato, a análise do risco deve associar o mapeamento de alagamentos com o sistema socioeconômico que sofre esses alagamentos.

Neste sentido, a fim de simplificar o processo de análise do risco neste trabalho, e considerar a combinação de aspectos sociais com o objetivo de expandir a discussão sobre a criticidade de alagamentos, bem como evitar julgamentos divergentes na identificação de zonas críticas, optou-se por criar uma metodologia simples para avaliar o risco de cheias.

Conforme mencionado anteriormente, a análise do risco de cheias consiste na aplicação de ferramentas e técnicas para determinar objetivamente o risco por meio da análise e combinação de probabilidades e consequências.

Assim, a metodologia proposta consiste no produto entre a probabilidade e as consequências, o que implica em definir um valor adimensional que quantifique o risco de cheias e permita sua padronização, sendo que este deve interrelacionar estas componentes de modo a representar uma determinada condição.

Para a componente relativa à probabilidade foi considerada apenas a lâmina de alagamento (LA), uma vez que representa as características da inundação provocada pela chuva de um dado tempo de recorrência, em geral relacionadas às causas dos danos mencionados e à sua probabilidade de ocorrência. É a altura da 1 inundação que determina se a água encherá as ruas, chegará às calçadas ou se invadirá o interior das residências.

Por sua vez, para representar a consequência das cheias considerou-se somente a densidade de domicílios atingidos pelas cheias na região, que se refere ao grau de exposição dos receptores (número de pessoas e propriedade) ao perigo.

Para o cálculo da densidade de domicílios, foram utilizados dados relativos ao número total de domicílios e a área dos setores censitários (em km²) dos censos do IBGE utilizados. Essa relação (densidade de domicílios ou, simplesmente, DD), em domicílios por km², é apresentada na Equação 7.1.

$$DD = \frac{N^{\circ} \text{ domicílios}}{\text{Área}} \quad \text{Equação 7.1}$$

O uso da densidade, em oposição ao uso do valor absoluto de domicílios, viabiliza a comparação entre regiões de áreas muito distintas.

Em sequência, como cada componente considerado possui naturezas e unidades distintas, é necessário que eles sejam convertidos a uma escala comum, para que possam ser operados, segundo a seguinte formulação (Equação 7.2):

$$R = LA \times DD \quad \text{Equação 7.2}$$

Assim sendo, foram definidos valores de referência (para densidade e alagamento), a saber:

- Para a lâmina de alagamento, foi considerado como valor de referência a lâmina crítica de alagamento igual a 1 (metro) de altura – com esse valor se considera que ocorreu dano máximo (100%).
- Para a densidade, considerou-se que quanto maior a densidade de domicílios maior o potencial de danos e prejuízos e que esta relação varia linearmente. Nesse sentido, considerou-se que o valor de referência correspondente ao potencial máximo de danos está associado à densidade de domicílios correspondente a 75% da distribuição desta variável na Bacia do Rio Pavuna-Meriti, igual a 4.968 domicílios/km². Essa consideração impede que valores extremos e destacados distorçam a escala.

A formulação final do Risco para este trabalho, conforme componentes escolhidos, tem a estrutura apresentada na Equação 7.3 e 7.4.

$$R = \frac{LA}{1} \times \frac{DD}{4968} \quad \text{Equação 7.3}$$

$$R \leq 1 \quad \text{Equação 7.4}$$

(ou seja, se $LA > 1 \rightarrow LA = 1$ e se $DD > 4968 \rightarrow DD = 4968$)

Para melhor compreensão, na elaboração de mapas de risco, segundo o julgamento considerado, os resultados obtidos são divididos em apenas quatro classes, podendo corresponder a Risco Alto (75-100%), Médio Alto (50-75%), Médio Baixo (25-50%) e Baixo (0-25%).

Salienta-se que a avaliação do risco a partir da ferramenta proposta ainda consiste em uma estimativa preliminar, tendo em vista que não considera outros fatores também relevantes na componente da consequência como é o caso da suscetibilidade dos receptores, resiliência e valor dos danos sofridos, bem como na componente relacionada à probabilidade, como é o caso do tempo de permanência da área alagada, dentre outros.

7.5. Estudos Hidrológicos

Os estudos hidrológicos foram realizados com o intuito de se construir chuvas de projeto para os diversos cenários definidos neste trabalho. Para isso, foram utilizados, como referência, os seguintes estudos pregressos realizados para essa região:

- LABHID (1995) – “Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Iguaçu/Sarapuá”. Laboratório de Hidrologia e Estudos do Meio Ambiente, COPPE/UFRJ.
- COPPETEC (2007) - Relatório de Estudos Integrados para Avaliação de Projeto de Intervenção na Calha do Rio Acari.

Os estudos hidrológicos apresentados neste capítulo abordam os seguintes assuntos: cálculo do tempo de concentração; determinação da chuva de projeto; cálculo dos hidrogramas referentes às áreas que serão representadas através de condições de contorno; e determinação dos parâmetros de separação de chuva efetiva para as células que compõem a área modelada.

7.5.1. Cálculo do Tempo de Concentração:

Tomando a fórmula de George Ribeiro como base para o cálculo do tempo de concentração da região de cabeceira da bacia, tem-se que:

$$t_{c_{cab}} = \frac{16L_0}{(1,05 - 0,2p_0)(100S_0)^{0,04}} \quad \text{Equação 7.5}$$

onde:

t_{cab} – tempo de concentração da cabeceira (min);

p_0 – fração da área de cabeceira da bacia com cobertura vegetal (0 a 1);

L_0 – comprimento percorrido no talvegue (km); e

S_0 - declividade do trecho de cabeceira (m/m).

Para a aplicação desta fórmula, o comprimento do talvegue foi medido em planta, chegando a aproximadamente 20 km de extensão.

A declividade representativa da bacia calculada foi de 0.028325 m/m. Esta declividade utilizada nos cálculos com a fórmula de George Ribeiro foi calculada a partir da integração do perfil longitudinal traçado a partir das plantas planialtimétricas (Equação 7.6). O perfil do Rio Pavuna está apresentado na Figura 7.25.

$$S_i = \frac{\Delta Z_i}{L_i} \quad \text{Equação 7.6}$$

onde:

S_i - declividade de fundo representativa do trecho (m/m);

ΔZ_i – desnível geométrico da cota de fundo do canal ao longo do trecho (m); e

L_i – comprimento do trecho em planta (m).

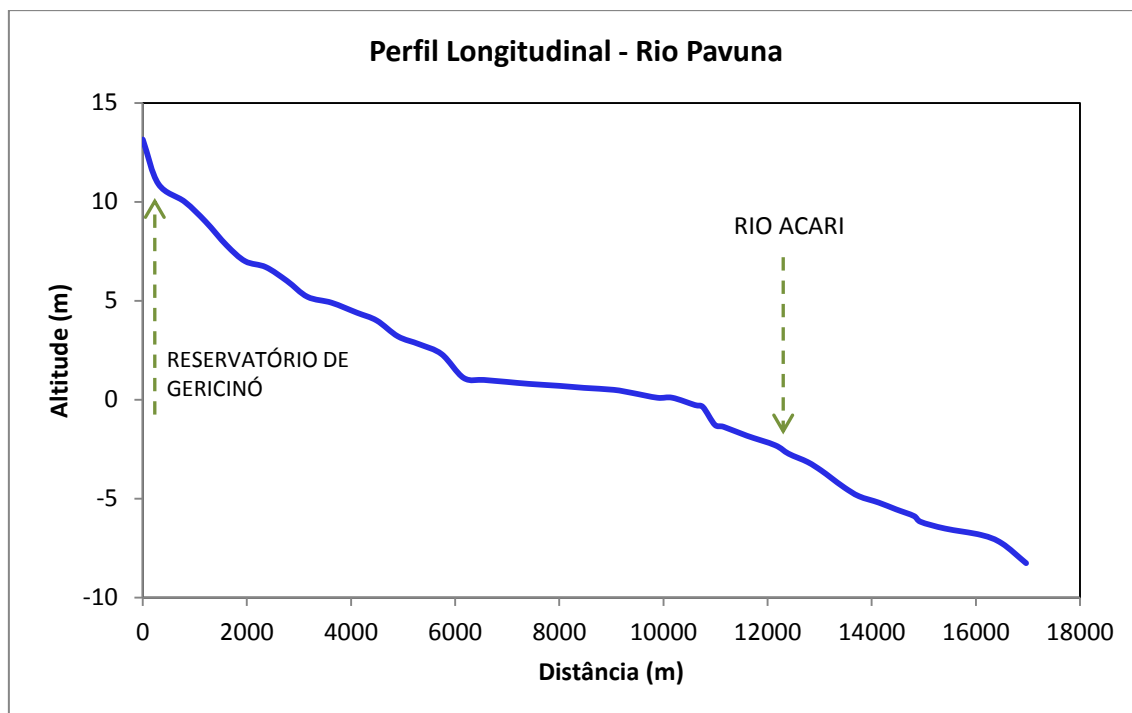


Figura 7.25: Perfil Longitudinal do Rio Pavuna.

Uma estimativa inicial para o valor do percentual da área com cobertura vegetal foi obtida a partir da análise da planta planialtimétrica e das imagens do Google Earth, e o valor encontrado foi de 10%.

O tempo de concentração total da Bacia do Rio Pavuna-Meriti foi estimado em 5,3 horas (318 minutos), conforme mostrado na Tabela 7.3.

Tabela 7.3: Tempo de concentração da Bacia do Rio Pavuna.

Tempo de Concentração (h)	Tempo de Concentração (min)
5,30	318,00

7.5.2. Cálculo da Chuva de Projeto:

As chuvas de projeto foram determinadas considerando as seguintes hipóteses:

- tempos de recorrência de 25, 50 e 100 anos para, a chuva aplicada sobre as células e condições de contorno da Bacia do Rio Pavuna;
- duração da chuva igual a 5,3 horas (equivalente ao tempo de concentração da Bacia do Rio Pavuna-Meriti);

- intensidade da chuva na Bacia do Rio Pavuna calculada a partir das curvas IDF dos postos pluviométricos de Irajá, Realengo, Núcleo de São Bento e Bangu;
- distribuição espacial da chuva sobre a Bacia do Rio Pavuna-Meriti para a região a jusante da barragem foi definida através da aplicação do método de Thiessen, considerando os postos pluviométricos de Irajá, Realengo, Núcleo de São Bento e Bangu;
- distribuição temporal da chuva foi considerada constante no tempo e uniforme no espaço para toda a bacia; e
- para região a montante da barragem a fim de reproduzir a chuva de projeto para a qual foi dimensionada, optou-se por considerar apenas o posto pluviométrico de Bangu.

A fim de obter as equações IDF foram feitas adaptações dos estudos existentes, que mostram cálculos da precipitação para diferentes tempos de recorrência. Para os postos pluviométricos de Irajá e Realengo foram adotadas informações existente no Relatório de Estudos Integrados para Avaliação de Projeto de Intervenção na Calha do Rio Acari (COPPETEC, 2007) e para os postos de São Bento e Bangu as informações foram provenientes do Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Iguaçu-Sarapuí (COPPETEC, 2009).

Com base nessas informações, e devido à ausência de novos dados, foi feita uma regressão logarítmica para os postos de Bangu e São Bento, que melhor se ajustou aos pontos, a fim de se obter a estimativa da precipitação para o tempo de retorno de 25, 50 e 100 anos (Figura 7.27 e Figura 7.28). No caso do posto de Realengo e Irajá foram utilizadas as curvas IDF disponíveis (Equação 7.7, Equação 7.8 e Equação 7.9). Especificamente para o caso do Posto de Irajá, foi realizada uma regressão linear entre as curvas IDF conhecidas – de 10 e 20 anos –, de modo a encontrar uma equação representativa da precipitação para os tempos de recorrência de 25, 50 e 100 anos (Figura 7.26).

- Posto Realengo

$$i = \frac{1164,04 \cdot T_r^{0,148}}{(t + 6,96)^{0,769}} \quad \text{Equação 7.7}$$

onde:

i – intensidade de chuva (mm/h);

Tr – tempo de recorrência (anos);

t – duração da chuva (minutos).

Tabela 7.4: Chuva de Projeto e Intensidade para Diferentes Tempos de Recorrência.

TR	I (mm/h)	h (mm)
5	17.29	91.64
10	19.16	101.54
20	21.23	112.51
50	24.31	128.85
100	26.94	142.77
25	21.94	116.29

- Posto Irajá

$$i = \frac{2055}{(t+15,5)^{0,8}} \quad p/Tr10 \quad \text{Equação 7.8}$$

$$i = \frac{2290}{(t+15,5)^{0,8}} \quad p/Tr20 \quad \text{Equação 7.9}$$

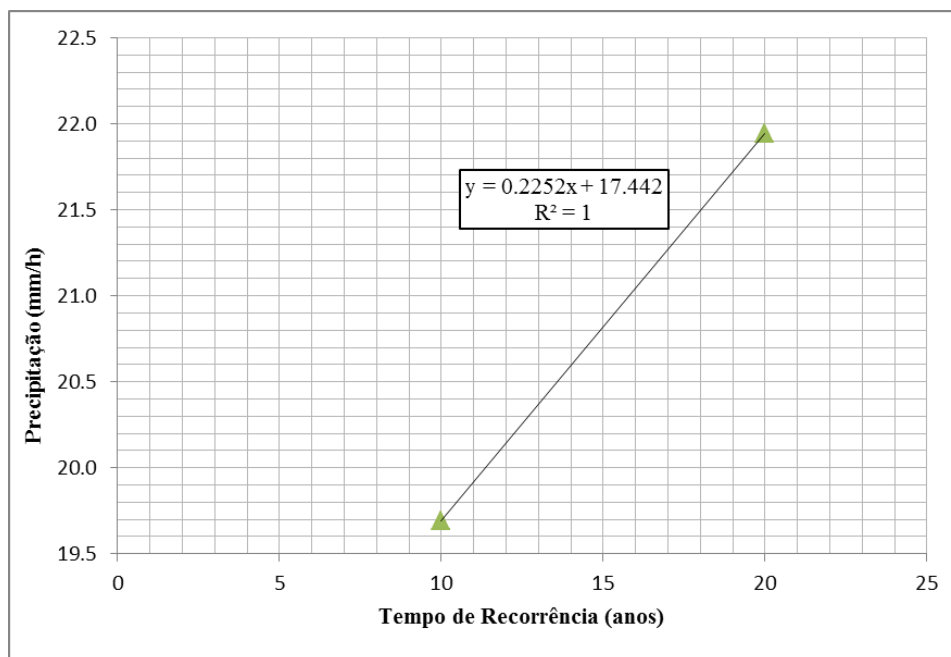


Figura 7.26: Interpolação das curvas para o Posto de Irajá.

Tabela 7.5: Chuva de Projeto e Intensidade para Diferentes Tempos de Recorrência.

TR	I (mm/h)	h (mm)
5	18.57	98.41
10	19.69	104.38
20	21.95	116.31
50	28.7	152.12
100	39.96	211.8
25	23.07	122.28

- Posto São Bento

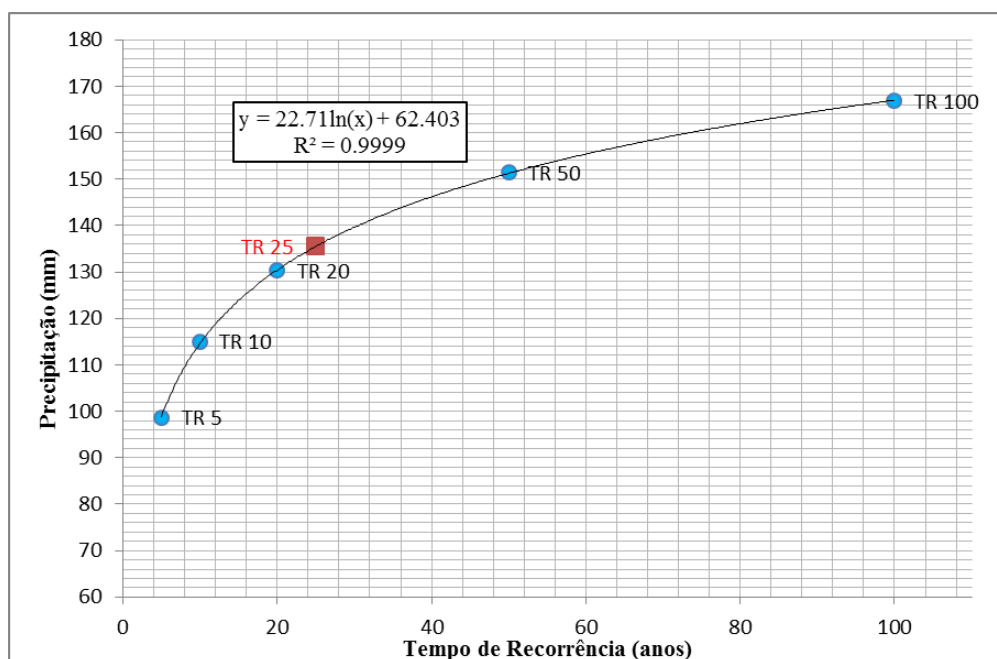


Figura 7.27: Interpolação dos Dados dos Estudos Hidrológicos do Rio Iguaçu.

Tabela 7.6: Chuva de Projeto e Intensidade para Diferentes Tempos de Recorrência.

TR	h (mm)
5	98.70
10	115.05
20	130.28
50	151.50
100	166.78
25	135.50

- Posto Bangu

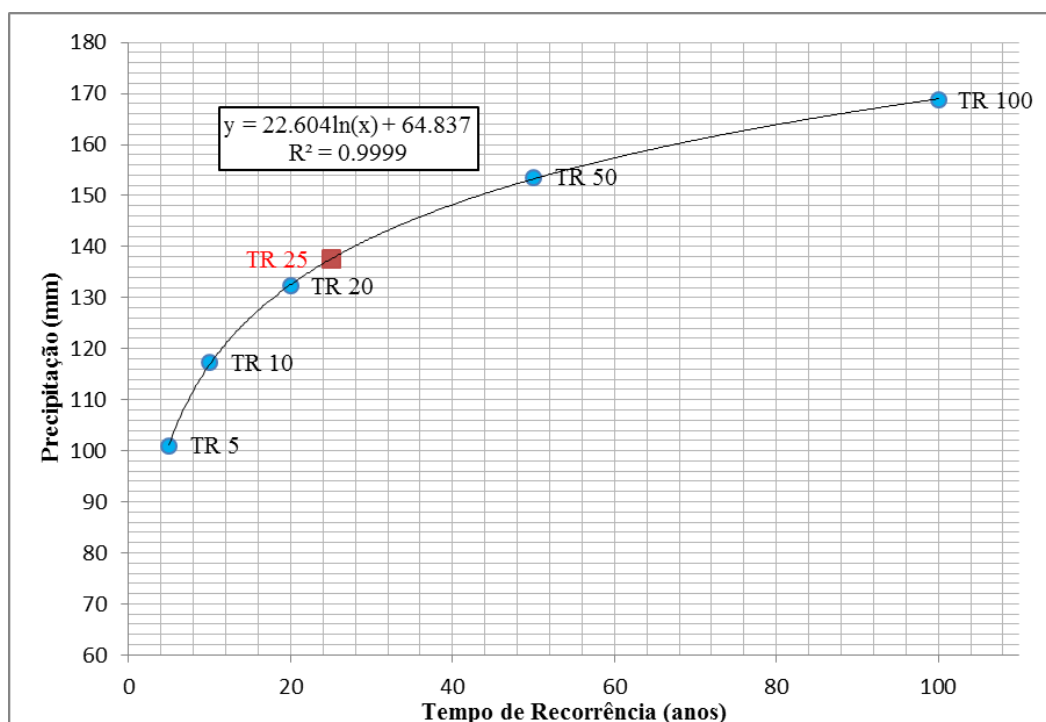


Figura 7.28: Interpolação dos Dados dos Estudos Hidrológicos do Rio Iguaçu.

Tabela 7.7: Chuva de Projeto e Intensidade para Diferentes Tempos de Recorrência.

TR	h (mm)
5	100.98
10	117.23
20	132.36
50	153.58
100	168.7
25	137.60

A definição das áreas de influência desses postos pluviométricos, para a área a jusante da barragem, foi feita a partir da aplicação do método de Thiessen, conforme ilustra a Figura 7.29. Esta informação foi utilizada para o cálculo da chuva associada a cada uma das células que compõem a área modelada e às condições de contorno. A Tabela 7.8 indica qual a área de influência de cada posto pluviométrico na Bacia do Rio Pavuna-Meriti.

Para a área a montante da barragem optou-se por considerar apenas o posto pluviométrico de Bangu, a fim de reproduzir a cheia para a qual a barragem foi dimensionada, conforme os dados obtidos pelo relatório 0308-RE-0410-HS-0003/0, elaborado pela Hidroconsult em março de 1991.

Tabela 7.8: Postos Pluviométricos e suas áreas de contribuição.

Posto	Área de Influência (km ²)
São Bento	4,17
Irajá	34,42
Realengo	10,50
Bangu	97,89
Total:	146,98

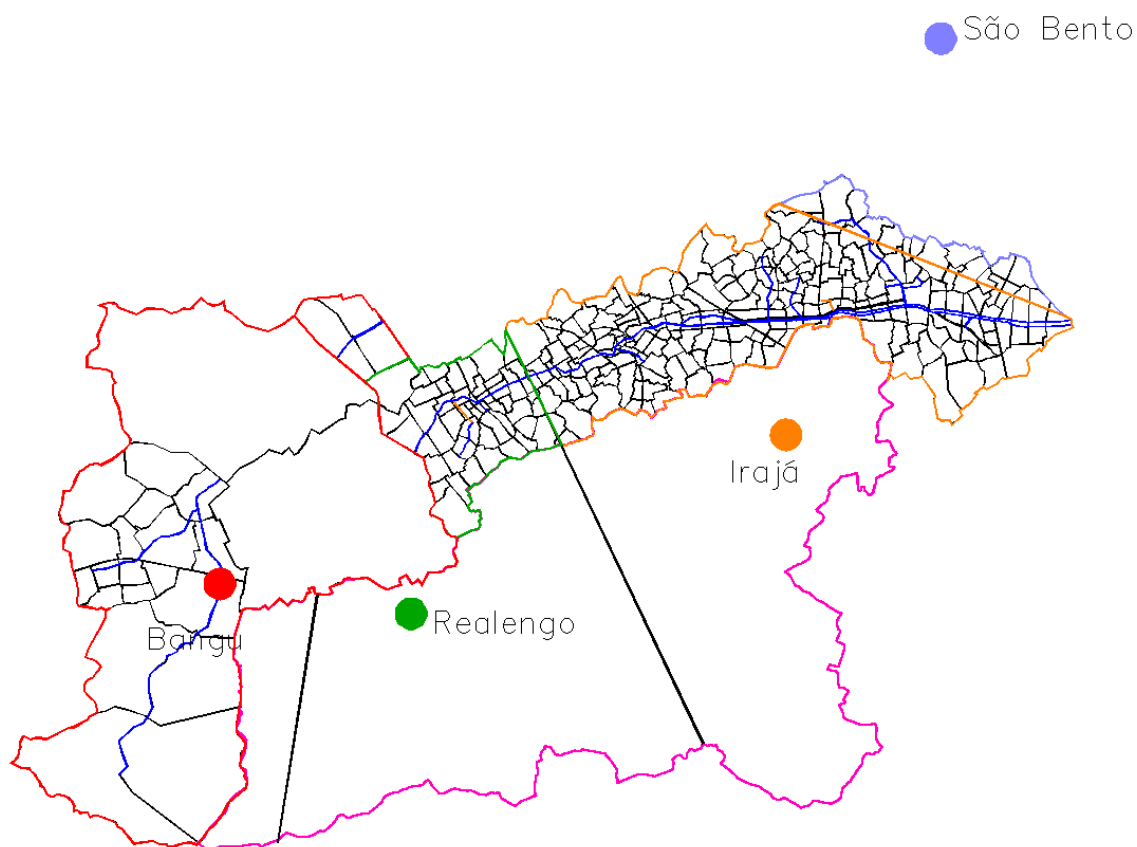


Figura 7.29: Método de Thiessen adaptado aplicado à área de modelagem.

7.5.3. Condições de Contorno:

- Condição de Contorno de Maré

A curva de maré, apresentada na Figura 7.30, foi construída com base no estudo realizado pela COPPETEC para a modelagem hidrodinâmica do Rio Acari. (COPPETEC, 2007).

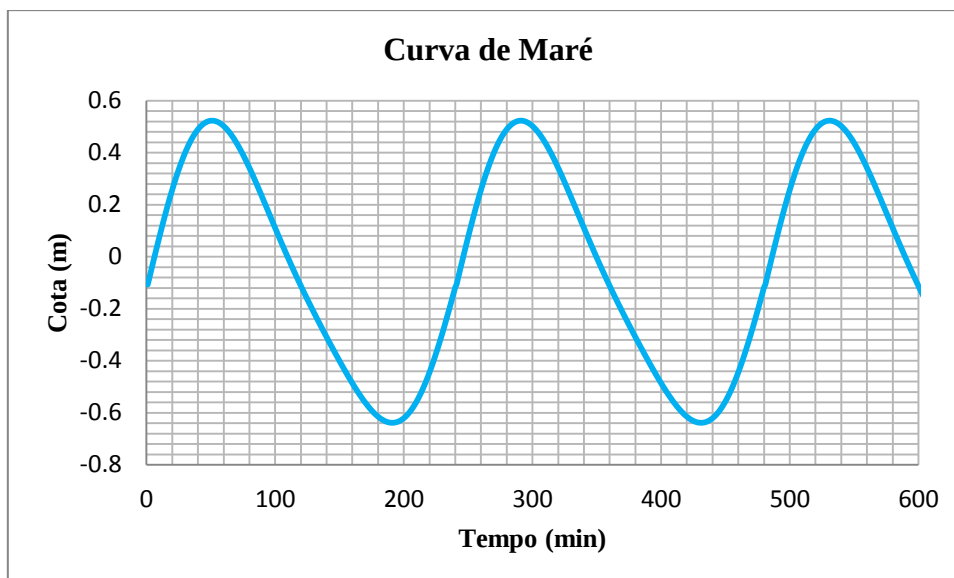


Figura 7.30: Variação do nível d'água na Baía de Guanabara devido à maré.

- Condição de Contorno - Rio Acari

A Bacia do Rio Acari não foi modelada através de células. No entanto, esta área também contribui para a região modelada, uma vez que as chuvas intensas precipitam sobre ela e transforma-se em escoamento superficial sendo conduzidas para as regiões mais baixas modeladas. Assim, essa área foi representada como condição de contorno do tipo vazão.

O cálculo deste hidrograma foi feito através do Sistema HIDRO-FLU. Os resultados obtidos através do HIDRO-FLU consideraram as chuvas apresentadas no item anterior. O tempo de concentração foi de 293,9 minutos (COPPETEC, 2007).

A Figura 7.31 mostra uma representação em planta do local onde foram aplicadas as condições de contorno.

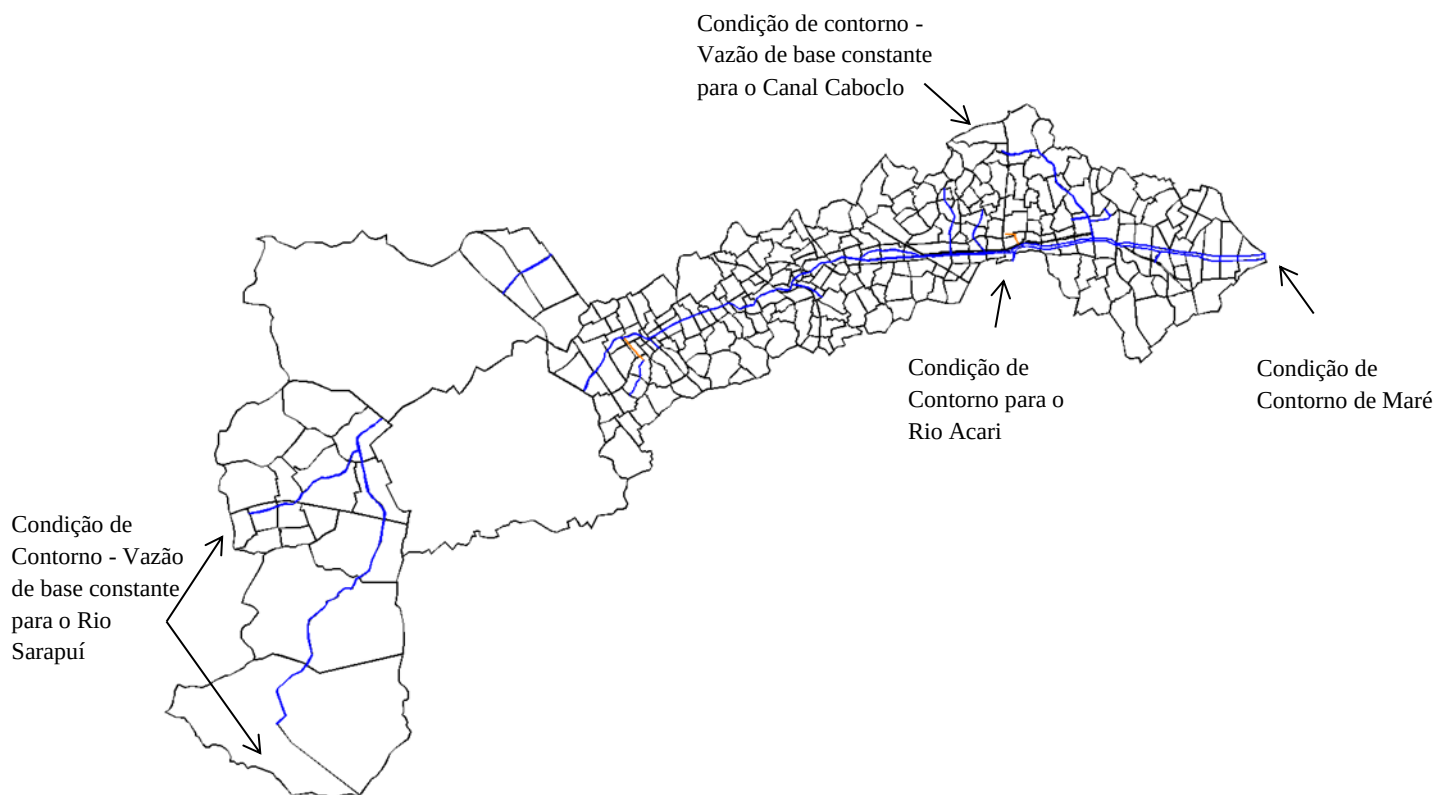


Figura 7.31: Representação dos locais de aplicação das condições de contorno.

Para o cálculo da chuva efetiva nas condições de contorno foi utilizado o método SCS (*Soil Conservation Service*). O CN deste método foi construído com base no estudo realizado pela COPPETEC para a modelagem hidrodinâmica do Rio Acari (COPPETEC, 2007).

Ele foi inicialmente calculado a partir da média ponderada dos CNs das condições de contorno da modelagem do Rio Acari juntamente com média ponderada dos valores do runoff de escoamento superficial, cujo valor foi transformado em CN a partir do método do U.S. Soil Conservation Service que utiliza as Equações 7.10 e 7.11 com o auxílio de um gráfico com as CNs definidas em função de Q e P. O valor encontrado para CN foi de aproximadamente 82.

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad \text{Equação 7.10}$$

$$S = P - Q \quad \text{Equação 7.11}$$

Onde:

Q – Escoamento Superficial (mm);

P – Precipitação (mm);

O tempo de duração adotado foi igual à duração da chuva do Rio Pavuna, de 318 min. É fundamental ressaltar que esta vazão não é a mais crítica para a área do Rio Acari. Isto se deve ao fato que a estratégia de modelação adotada foi elaborada visando a representar uma situação de maior criticidade ao longo da calha principal do Rio Pavuna e não em seus afluentes.

As Figura 7.32, 7.33 e 7.34 mostram os hidrogramas gerados para os tempos de recorrência 25, 50 e 100 anos como condição de contorno do Rio Acari para a modelagem do Rio Pavuna – Meriti.

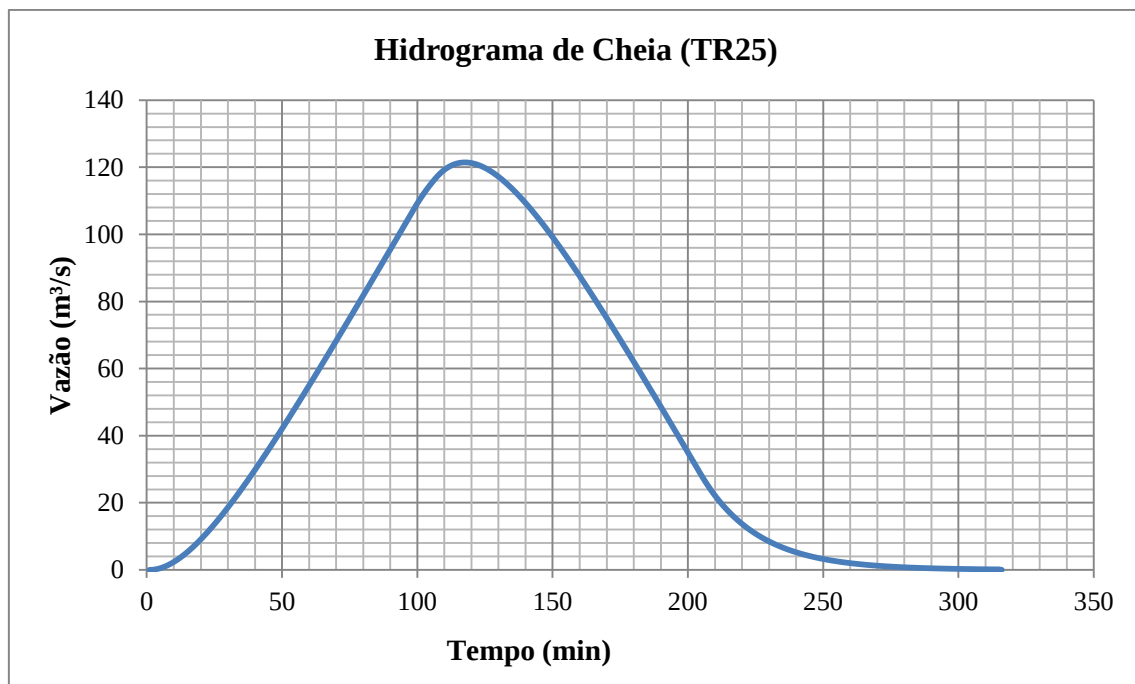


Figura 7.32: Hidrograma do Rio Acari para entrada no modelo hidrodinâmico –TR25.

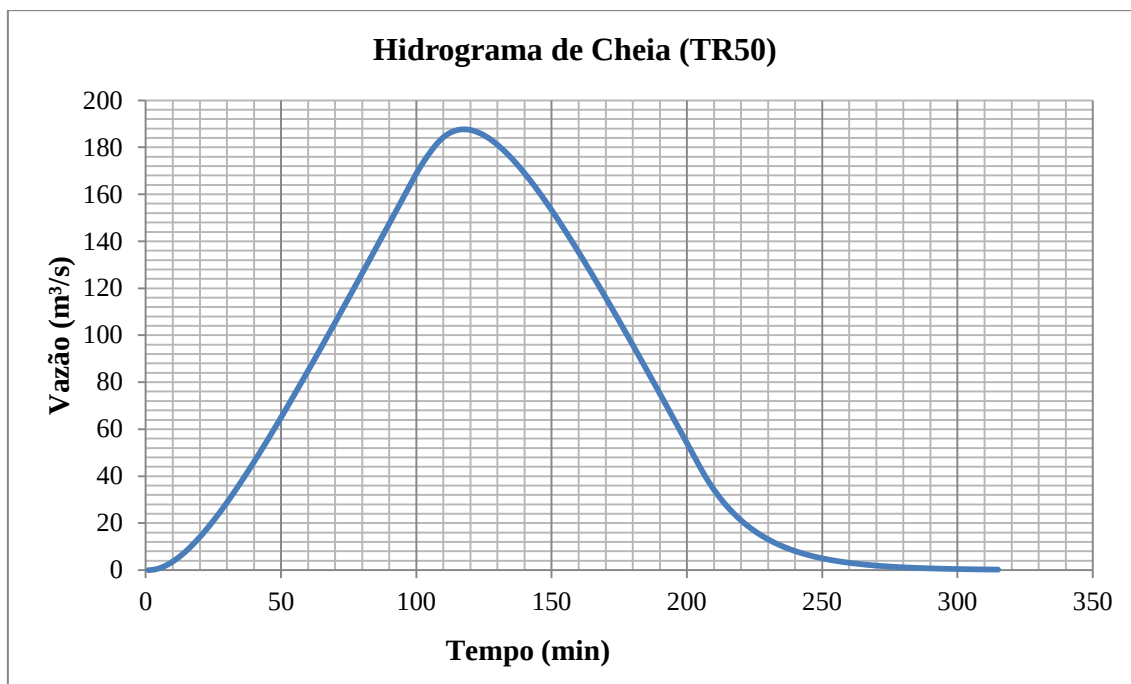


Figura 7.33: Hidrograma do Rio Acari para entrada no modelo hidrodinâmico –TR50.

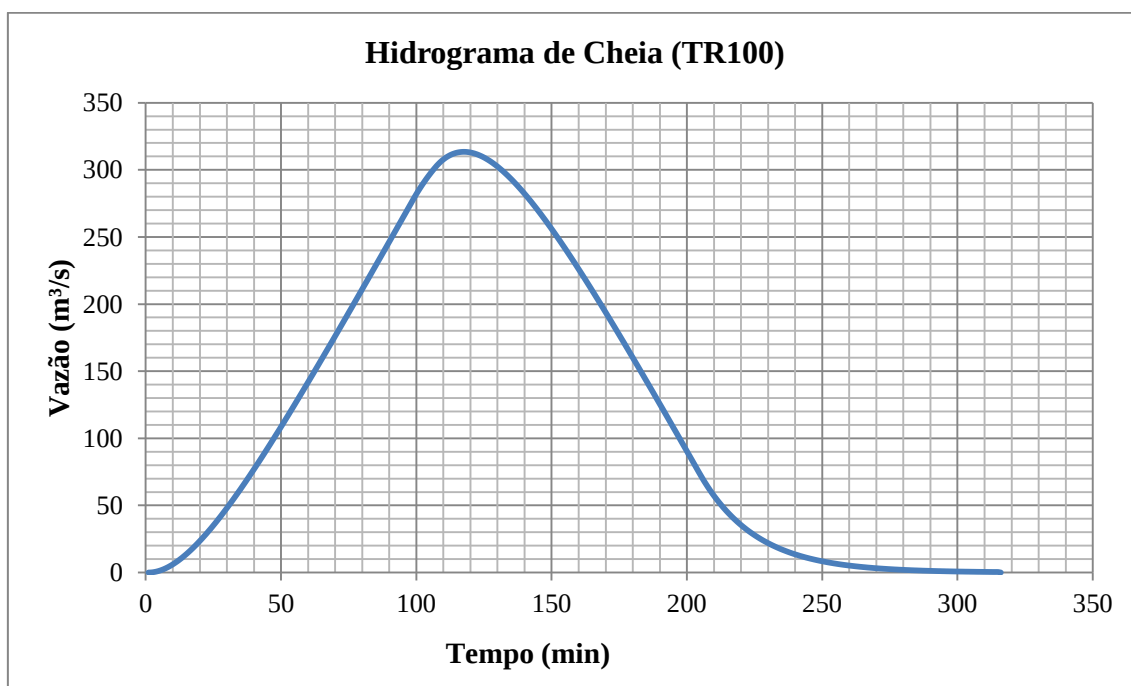


Figura 7.34: Hidrograma do Rio Acari para entrada no modelo hidrodinâmico –TR100.

7.5.4. Separação da Chuva Efetiva na Área Dividida em Células

O cálculo do escoamento superficial produzido na área modelada através das células de escoamento é feito pelo próprio MODCEL, utilizando o Método Racional para a separação da chuva efetiva. Assim, cada célula recebe um valor para o seu coeficiente de runoff. O cálculo do volume escoado em um passo de tempo é função,

portanto, da área total da célula, do tipo de célula, da chuva associada a ela e do próprio coeficiente de runoff.

A Tabela 7.9 resume os valores adotados para esse coeficiente em função do tipo de ocupação e uso do solo observado na célula.

Tabela 7.9: Parâmetros de separação da chuva efetiva na área modelada por células.

Tipo de Ocupação e Uso do Solo	Coeficiente de Runoff
urbanização muito leve/vegetação rasteira	0,25
urbanização moderada / área militar	0,55
urbanização densa	0,70
espelho d'água (nas células tipo rio)	1,00

7.6. Construção do Modelo

Neste estudo, são utilizadas células de escoamento para discretização espacial da bacia hidrográfica. A partir desta escolha, são seguidos três passos para montagem do modelo matemático: modelagem topográfica, hidráulica e topológica.

7.6.1. Divisão de células

Para a aplicação do modelo de células – MODCEL é necessário dividir a área de estudo em células de escoamento, discretizando espacialmente a bacia hidrográfica. Para esta etapa foram necessários levantamentos topográficos campo ou aerofotogrametrias. Com isso, foi montado o mapa topográfico da região, com curvas de nível e cotas em diversos pontos. Neste caso, foram utilizados levantamentos aerofotogramétricos na escala de 1:10000 e de 1:2000 realizados em 1996 pela Fundação CIDE e também levantamentos topográficos complementares realizados pela COPPE para o Projeto Acari.

Nessa primeira etapa da construção do modelo, foram consideradas características do terreno quanto às variações espaciais, verticais e horizontais, com base nos dados levantados. As curvas de nível, bem como as cotas levantadas em campo, forneceram informações que permitiram a divisão da área a ser estudada em células de escoamento, resultando numa rede de células ligadas entre si, capazes de representar os diversos caminhos do escoamento superficial. Para a modelagem hidráulica, estas células foram analisadas no intuito de se definirem leis hidráulicas representativas das comunicações

com suas células vizinhas, capazes de simular os padrões de escoamento que ocorrem entre células.

A Figura 7.35 apresenta a divisão em células das Bacias do Rio Pavuna-Meriti e parte da Bacia do Rio Sarapuí de interesse ao estudo. Desta etapa, resultaram 424 células de escoamento, sendo 78 células representando os rios, 326 células de superfície urbanizada, 15 de superfície natural e 5 de galerias.

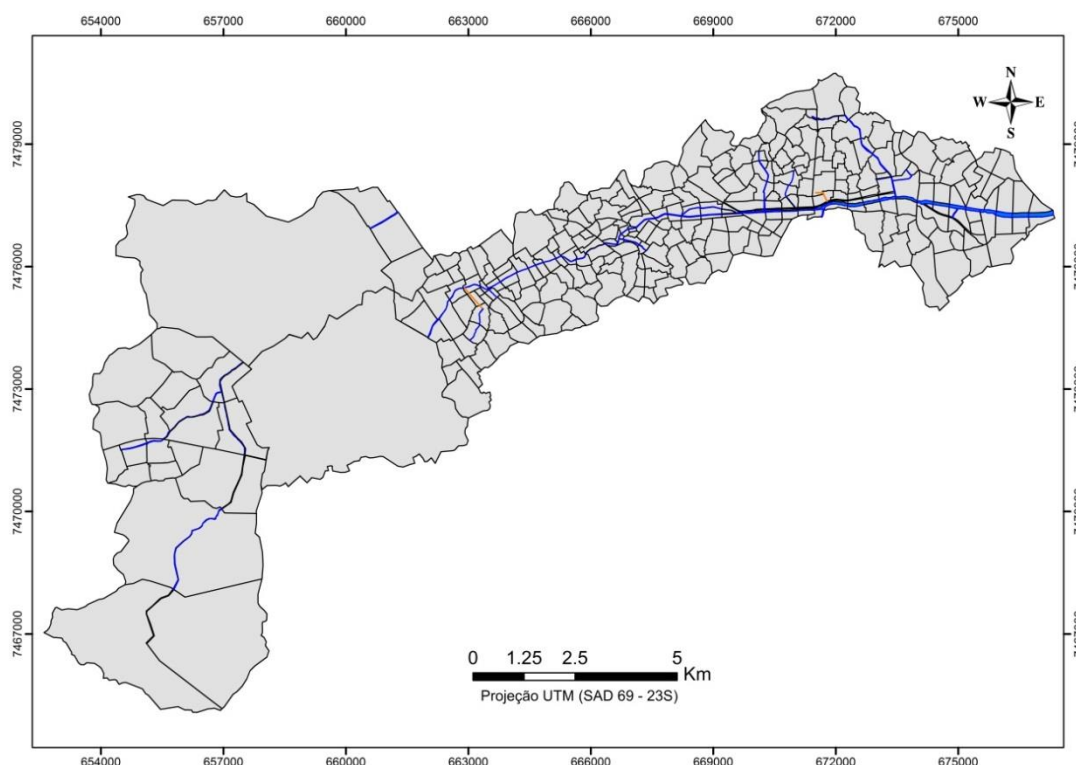


Figura 7.35: Divisão em células da Bacia do Rio Pavuna e parte da Bacia do Rio Sarapuí.

7.6.2. Topologia

Para aplicação do modelo matemático, é construído então, um esquema topológico, que integra a rede de células, a fim de configurar todas as interações entre as células e suas posições relativas, assim como as condições de contorno necessárias ao processo de modelagem. Essa etapa é definida como modelagem topológica.

Para a construção da topologia, as células são arrumadas em diversos grupos ou linhas, definidos pelo modelador, devendo respeitar apenas uma restrição: a comunicação entre as células de um determinado grupo só ocorre com as células do mesmo grupo, com as do grupo superior e com o grupo inferior. Dessa forma, a topologia da área de estudo está apresentada na Figura 7.36.

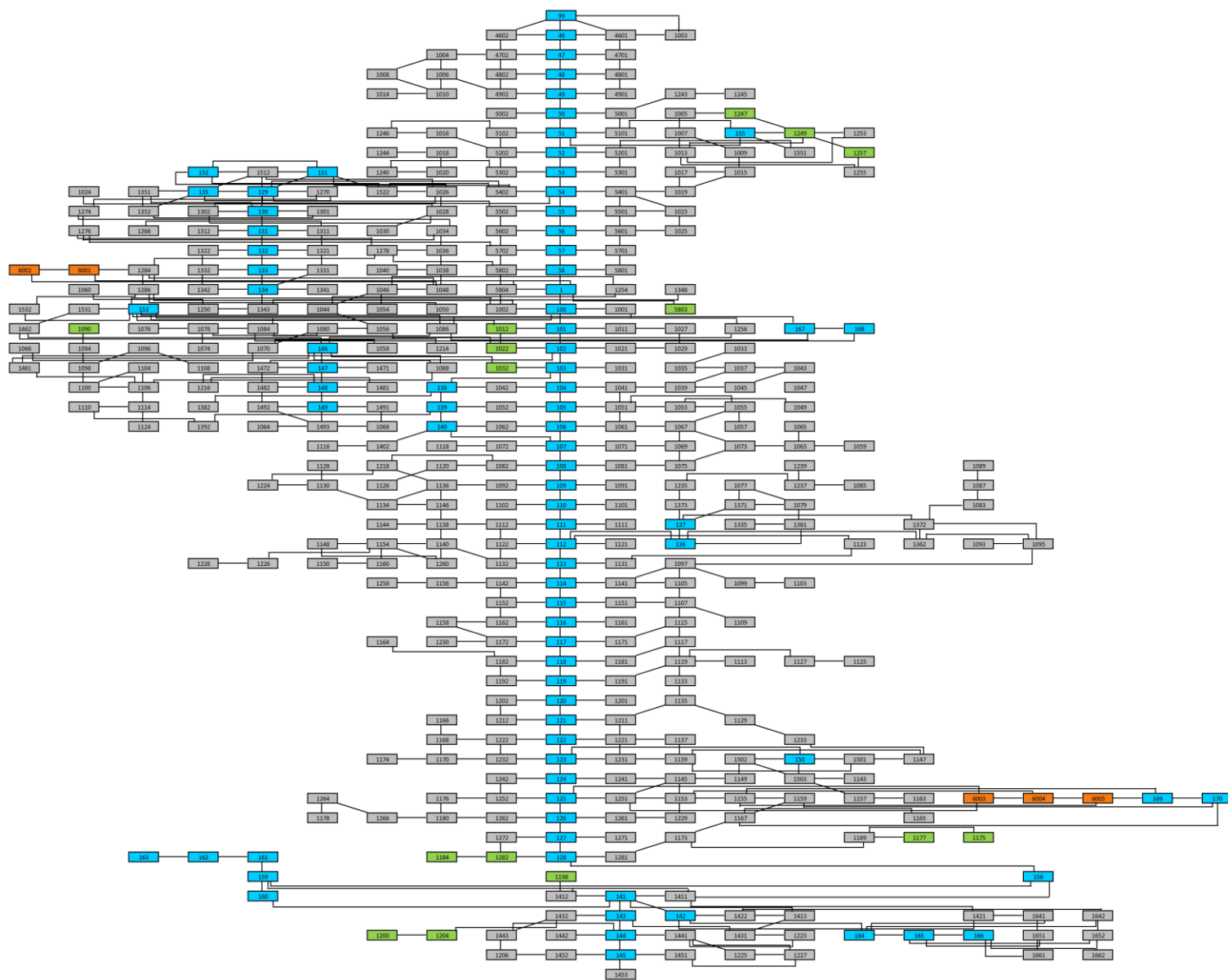


Figura 7.36: Esquema topológico de modelagem da Bacia do Rio Pavuna.

7.6.3. Cenários Modelados

Para a simulação dos cenários, foram consideradas duas épocas com diferentes densidades de ocupações na bacia: a primeira, representando a situação de ocupação atual da bacia e outra, representando a ocupação em 1990. A escolha do ano de 1990 para a modelagem foi feita tendo em vista que representa a situação imediatamente anterior à implantação da Barragem do Rio Pavuna.

Para cada condição foram simulados eventos hidrológicos com diferentes tempos de recorrência (TR25, TR50 e TR100), totalizando 4 cenários, como ilustrado pelo diagrama apresentado na Figura 7.37.

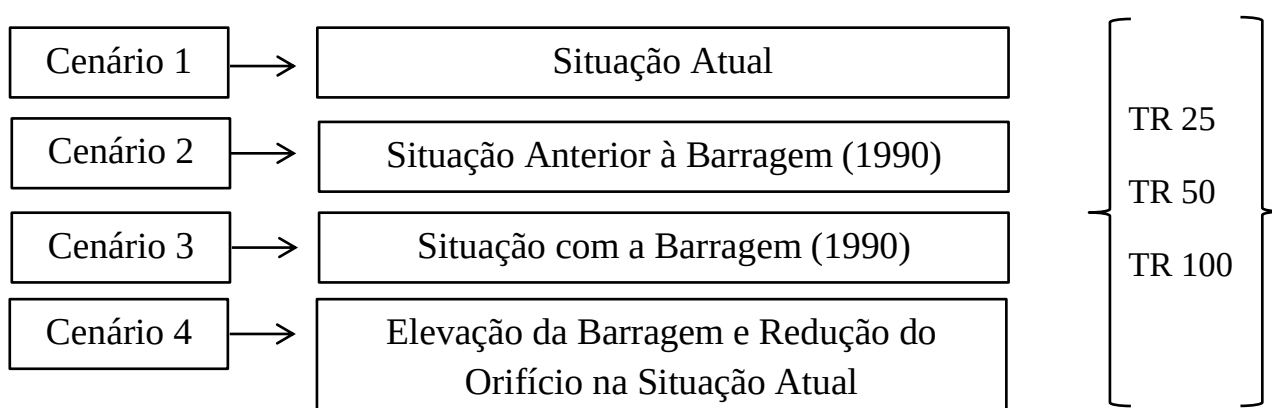


Figura 7.37: Cenários Simulados.

Neste capítulo serão apresentadas as duas condições de ocupação da bacia, escolhidas para comparação neste estudo, descrevendo a estratégia de modelação utilizada.

- **Cenário 1 – Situação Atual**

O primeiro cenário de simulação representa a atual configuração da área de estudo, modelada com base nos dados levantados. Este cenário tem como objetivo reproduzir as relações de escoamento do Rio Pavuna sob as condições físicas existentes, como a urbanização da bacia, as medidas estruturais localizadas em toda a extensão do trecho analisado e obstruções derivadas de estrangulamentos da calha.

Os coeficientes de Manning usados para as ligações de canal entre as células de rio na situação atual variam de 0,032 a 0,058 e foram obtidos utilizando o método de Ven Te Chow (1959). Para as ligações entre células de planícies foram utilizados

coeficientes de Manning iguais a 0,045; 0,06; 0,08 e 0,1, de acordo com o padrão de ocupação da bacia.

Para a construção desse cenário foi necessário determinar os coeficientes de escoamento – runoff, conforme apresentados anteriormente na Tabela 7.9, de acordo com as características de uso e cobertura das bacias em questão. Por meio desses coeficientes é possível representar o escoamento da superfície, definindo as relações hidrológicas que ocorrem na bacia hidrográfica.

- **Cenário 2 (Passado) – Situação em 1990 sem a Barragem**

A escolha deste cenário possui como principal objetivo avaliar a situação das cheias na região que motivou, em 1990, a implantação da Barragem de Gericinó, cuja função era minimizar estes problemas.

Para montar a base do modelo matemático para este Cenário, foi utilizado o cenário atual como ponto de partida e, nele, foram realizadas as devidas alterações para representar o passado. Inicialmente, foi realizada a comparação entre as imagens de satélites de 1990 e 2010, fornecidas pela empresa ESRI e pelo Google Earth, respectivamente. Nestas imagens foram identificadas as áreas que, em 1990, diferentemente do cenário atual (2010), apresentavam-se sem ocupação e quais células correspondem a estas áreas. Para essas células, modificou-se, no modelo, o tipo de célula definido no cenário atual, quando pertinente.

Entretanto, para tentar se aproximar da realidade em 1990, considerou-se, para cada célula, um coeficiente de escoamento superficial diferente, associado a uma urbanização menos densa. Para estimar o valor deste coeficiente em 1990, realizou-se uma ponderação com base na relação entre a quantidade de domicílios dos anos de 1990 e 2010, para cada célula.

A partir disso, é formulada a hipótese de que a impermeabilização do solo é proporcional à densidade de domicílios, de forma que essa relação foi utilizada na estimativa passada do coeficiente de escoamento superficial, no modelo matemático, para representar a situação da impermeabilização do solo em 1990.

Além disso, após a realização da ponderação, o coeficiente de escoamento superficial associado a cada célula, para o ano de 1990, foi devidamente ajustado a

partir da comparação com imagens satélites disponíveis para o ano de 1990, fornecidas pela empresa ESRI.

Para o cálculo da densidade de domicílios em 1990 foi considerado que entre 1990 e 2000 a proporção de crescimento de domicílios era a mesma que ocorreu entre 2000 e 2010. Para isso, foi preciso considerar os dados do Censo do IBGE (densidade de domicílio em 2010 e 2000) e usar essa relação de proporção para retroagir até 1990.

É importante destacar que os dados do Censo do IBGE para o ano de 1991 foram também analisados. No entanto, a inexistência de um mapa que indicasse a localização dos dados de cada setor censitário tornou inviável a sua utilização, uma vez que também existia a necessidade de compatibilização das células com as áreas de cada setor, bem como havia diferença na numeração dos setores para cada ano.

A Tabela 10.1 apresentada no Anexo 1 o cálculo da densidade de domicílios (domicílios/km²), associado a cada célula, para a Bacia do Rio Pavuna, nos anos 1990 e 2010, evidenciando o valor da proporção entre densidades de domicílio entre estes anos (1990/2010), que inicialmente foi utilizado para estimativa do coeficiente de escoamento, conforme explicado anteriormente.

- **Cenário 3 (Passado) – Situação em 1990 com a Barragem**

O terceiro cenário, que também remete ao ano de 1990, consiste na modelagem da Bacia do Rio Pavuna no momento imediatamente após a implantação da Barragem de Gericinó na bacia.

Conforme mencionado anteriormente, esta barragem foi proposta no Programa Reconstrução-Rio do Governo do Estado do Rio de Janeiro, após a ocorrência de um evento extremo de cheia em 1988 que devastou a região. Sendo a principal intervenção do Plano proposto, as medidas propostas eram de caráter emergencial e visavam ao combate das cheias.

A partir deste cenário é possível realizar a análise da melhoria efetiva alcançada na redução das enchentes com a construção da barragem em 1990, bem como verificar sua real eficiência na mitigação das cheias em longo prazo ao compará-lo com a situação atual.

Este cenário foi modelado a partir da modificação do cenário 2 (cenário Passado do ano de 1990), cuja mudança restringe-se à implantação da Barragem de Gericinó.

- **Cenário 4 - Solução para Controle de Cheias**

Conforme mencionado no Capítulo 6, fatores como a crença na infalibilidade do sistema hidráulico e a falta de planejamento da ocupação e uso do solo são as principais causas de intensificação dos efeitos colaterais decorrentes da implantação de uma medida estrutural de controle de cheias.

Desta forma, novos desenvolvimentos nas áreas a jusante da implantação de uma barragem levam a novas exigências de defesa, requerendo, em longo prazo, novas medidas de controle de cheias.

Assim, considerando o agravamento das inundações em decorrência da posterior intensificação da urbanização, que ocorreu sem o adequado planejamento urbano, foi proposto o cenário 4, que tem como principal objetivo reduzir o risco residual decorrente da implantação da medida estrutural.

A proposta deste cenário consiste na elevação em 30 cm da cota de vertimento da Barragem de Gericinó e a redução da área do orifício de descarga de 1,69 m² para 0,25 m², como forma de aumentar a capacidade de amortecimento da barragem e facilitar as trocas com o reservatório do Rio Sarapuí. Desta forma, o vertedor, que atualmente está na cota de 19 m, passaria a verter na cota de 19,30 m. Este cenário foi modelado utilizando como base o cenário da situação atual. A redução do orifício de descarga será ajustada ao longo das simulações.

Definidos os cenários para cada situação a ser analisada, as informações foram introduzidas no modelo matemático e as simulações foram realizadas, para diferentes eventos hidrológicos.

7.6.4. Etapa de Calibração

O processo de calibração do modelo matemático consiste no ajuste dos parâmetros hidrológicos e das condições de contorno, para que as descargas simuladas pelo modelo sejam semelhantes às observadas nos eventos reais.

A etapa de calibração usou como base a situação atual de alagamentos e ocupação da bacia, uma vez que os dados existentes são referentes a este cenário, que foi chamado

de cenário 1 e cujos resultados estão mais detalhados adiante. É importante destacar que esse cenário é a referência para as futuras comparações e é a partir dele que se garante a confiabilidade no processo de modelagem.

Para a calibração deste modelo, devido à falta de dados referentes aos alagamentos que ocorrem na região, foi necessário se basear na experiência de pessoas que já trabalharam em estudos nesta bacia e, principalmente, na experiência do orientador deste trabalho. Ademais, foi realizada uma pesquisa informal com moradores da região a fim de indicar os locais que teriam alagamentos mais críticos, bem como uma pesquisa detalhada na internet em busca de relatos e notícias de alagamentos na região.

Para a condição de contorno do Rio Acari, foi utilizado o Relatório de Estudos Integrados para Avaliação de Projeto de Intervenção na Calha do Rio Acari, realizado em 2007 pela fundação COPPETEC, em que foi realizada a simulação matemática para a Bacia do Rio Acari. Os dados de vazão no ponto exutório da Bacia Rio Acari, para aquela simulação, foram resgatados, de forma a auxiliar na calibração do modelo matemático desenvolvido neste estudo. A Tabela mostra a vazão máxima resultante da modelagem da Bacia do Rio Acari realizada pela Coppetec (vazão de referência) e a vazão máxima calculada com o auxílio do programa Hidro-Flu para entrada como condição de contorno do modelo da Bacia do Rio Pavuna, respectivamente.

Tabela 7.10: Vazões Máximas na foz do Rio Acari.

Vazão Referência (m³/s)	Vazão Calculada (m³/s)
129.78	121.42

A modelagem realizada pela COPPETEC utilizou a chuva com tempo de recorrência de 20 anos. No entanto, neste estudo a chuva calculada para a modelagem da Bacia do Rio Pavuna foi de 25 anos. Destaca-se que a chuva de 25 anos foi adotada como resultado das recomendações do Ministério das Cidades para projetos de drenagem. Como o procedimento de calibração aqui adotado é apenas aproximado, em virtude da ausência de dados medidos, e como a diferença da chuva de TR 20 anos para TR 25 anos é pequena, não se considerou necessário fazer a simulação rigorosa para o mesmo TR 20 anos utilizado anteriormente. Além disso, com a adoção de um tempo de duração um pouco maior que o tempo de concentração do Rio Acari (para ser coerente com o tempo de concentração do Rio Pavuna-Meriti), esperava-se que a vazão agora calculada para o Rio Acari fosse realmente um pouco menor.

Ademais, a partir de Kelman *et al* (1995) também foi possível ajustar as vazões efluentes dos orifícios dos reservatórios da Barragem de Gericinó, tanto para o Rio Sarapuí, quanto para o Rio Pavuna. A Tabela 7.11 mostra a vazões efluentes de projeto para o reservatório dos Rios Pavuna e Sarapuí e as vazões efluentes resultantes da modelagem, respectivamente.

Neste caso, para os orifícios da barragem também ocorreu a diferença entre os tempos de recorrência adotados para as chuvas, sendo o de projeto igual TR 20 anos e o da modelagem de 25 anos. Da mesma forma como com a condição de contorno do Rio Acari, não se considerou necessário fazer a simulação rigorosa para o mesmo TR 20 anos utilizado anteriormente.

Tabela 7.11: Vazões Máximas no orifício da Barragem de Gericinó.

	Vazão Orifício Sarapuí (m ³ /s)	Vazão Orifício Pavuna (m ³ /s)
Projeto	32	12
Calculado	29.76	11.9

Com base em informações levantadas em vídeos e fotos disponíveis na internet para eventos de cheias, foram selecionadas cinco regiões de alagamento na região central da bacia, para também auxiliar na calibração. Estas regiões são apresentadas na Figura 7.38 e detalhadas em sequência.

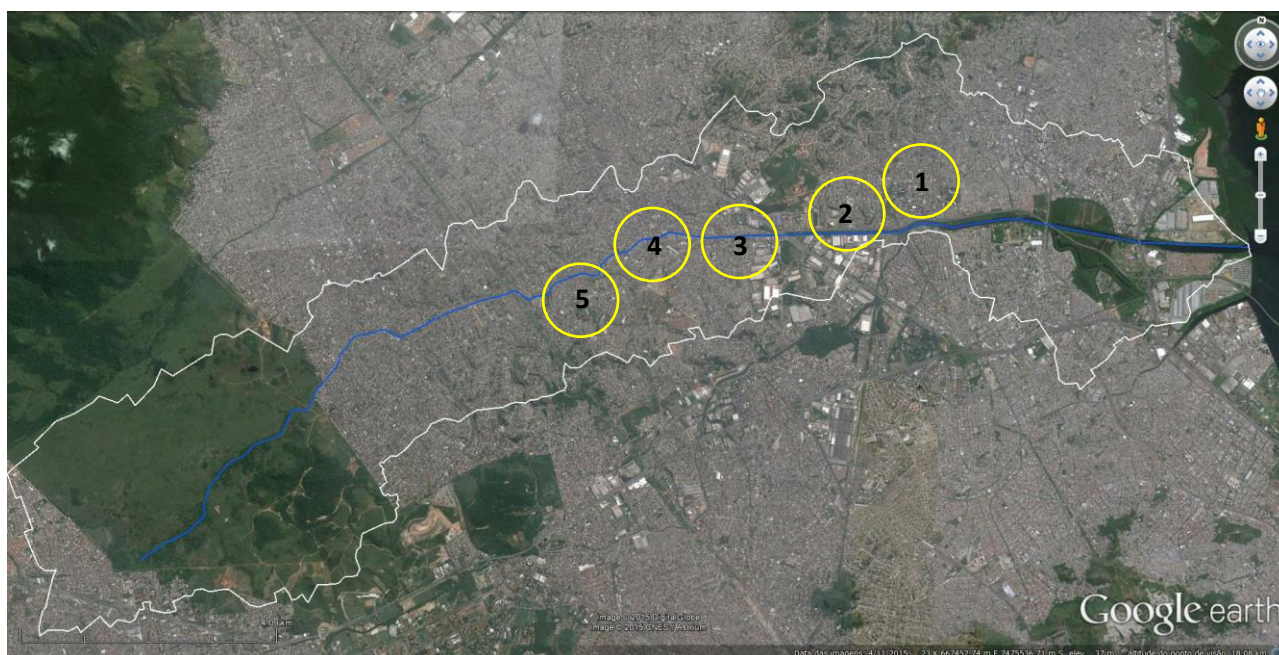


Figura 7.38: Regiões Críticas de Alagamento na Bacia do Rio Pavuna.
Fonte: Adaptado do Google Earth (2015).

1. Primeira Região

Localizada próximo ao Parque Lafaiete e à foz do Rio Acari. A Figura 7.39 e a Figura 7.40 apresentam imagens da Rua Bernardino Machado e da Rua Escritora Dinha Queiroz localizadas no Parque Lafaiete e no Bairro Lagunas e Dourados, respectivamente, em Duque de Caxias. Nas imagens, é possível ver o local em dia comum e, também, em dia chuvoso, quando a lâmina d'água se torna consideravelmente maior.

De acordo com a Prefeitura de Duque de Caxias, os moradores do Bairro Laguna e Dourados convivem há mais de duas décadas com ruas alagadas a cada chuva que cai na cidade. O problema é ainda maior para aqueles que residem no entorno das avenidas Dr. Manoel Reis e Dr. Manoel Telles.



Figura 7.39: Local próximo à Escola Venâncio na Rua Bernardino Machado.
Fonte: Google Earth (2015) e acervo de vídeos no youtube de Guil Leal(2013).

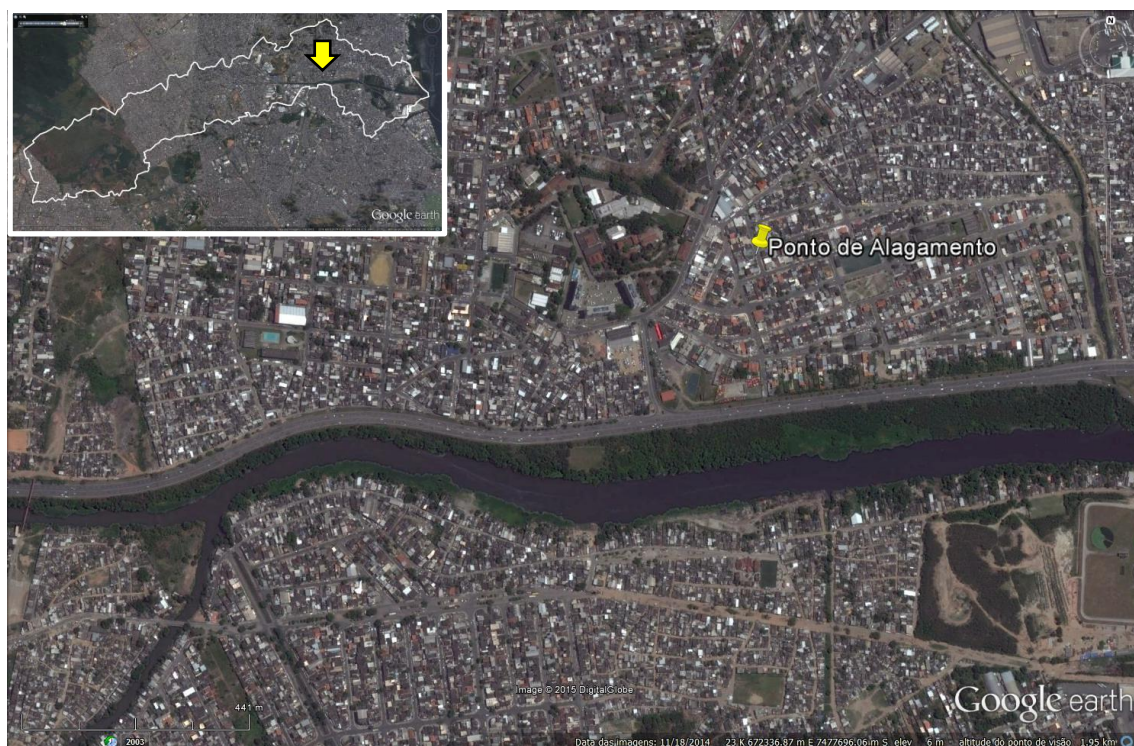


Figura 7.40: Bairro Laguna e Dourados na rua Escritora Dinha Queiroz.
 Fonte: Google Earth (2015) e <http://umpoucodejornal.blogspot.com.br> (2013)

2. Segunda Região

Localizada no Parque Araruama, e também próximo à foz do Rio Acari, a Figura 7.41 apresenta imagens da Estrada São João Caxias, localizada no Parque Analândia em São João de Meriti. Nas imagens, é possível ver o local em dia comum e, também, em dia chuvoso, quando a lâmina d'água se eleva consideravelmente e extravasa o canal, alagando a rua.

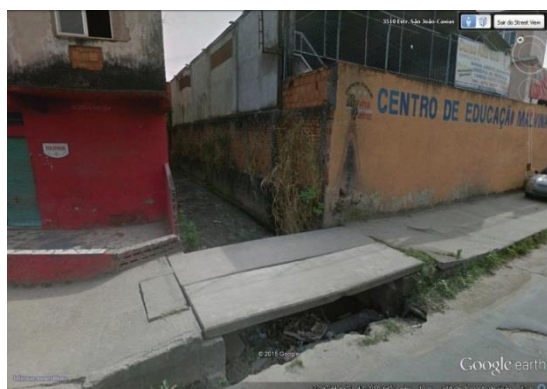
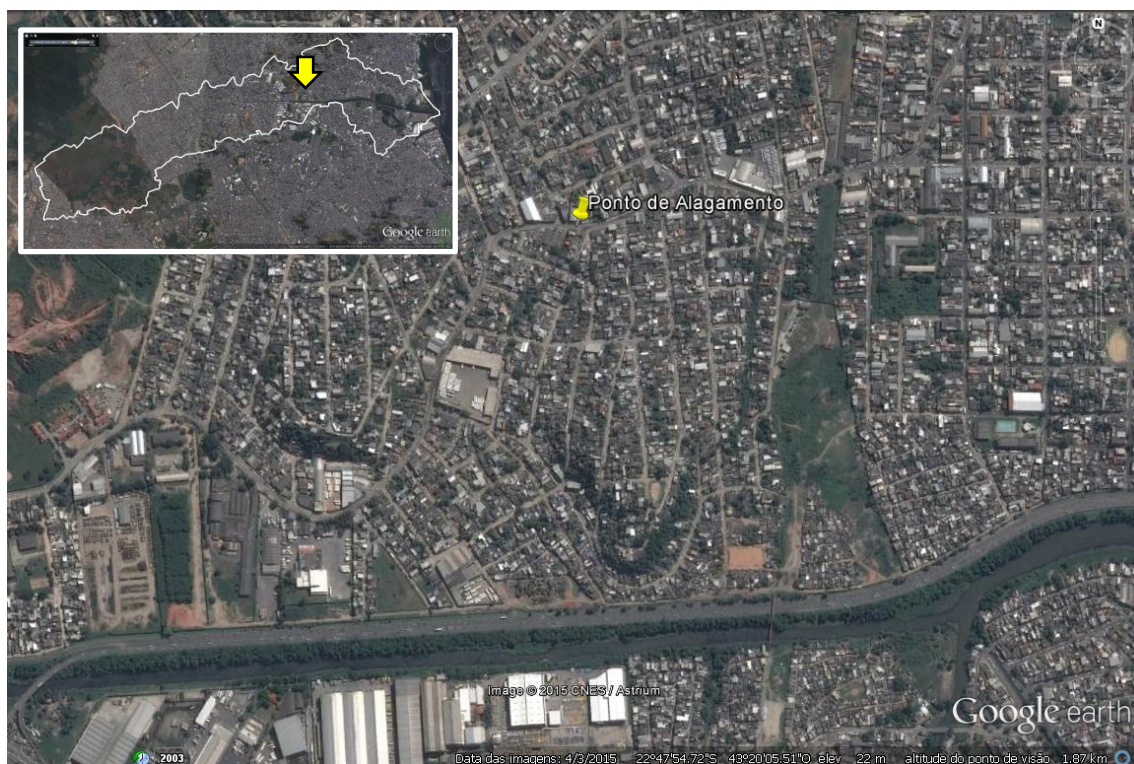


Figura 7.41: O canal do Parque Araruama transbordando na Estrada São João Caxias.
Fonte: Google Earth e <http://leandrogaseta.blogspot.com.br/>

3. Terceira Região

Localizada entre o Bairro Pavuna e o Município de São João de Meriti, a Figura 7.42 apresenta imagens da região próxima à Avenida Sargento de Milícia. Os alagamentos nessa região são constantes e, quando acontecem, atrapalham o trânsito da via, uma das principais de comunicação entre a Pavuna e municípios vizinhos, como São João de Meriti e Nilópolis. No conjunto de imagens apresentado, é possível ver o ponto em dias comuns e de chuva, quando ocorre o alagamento da região.

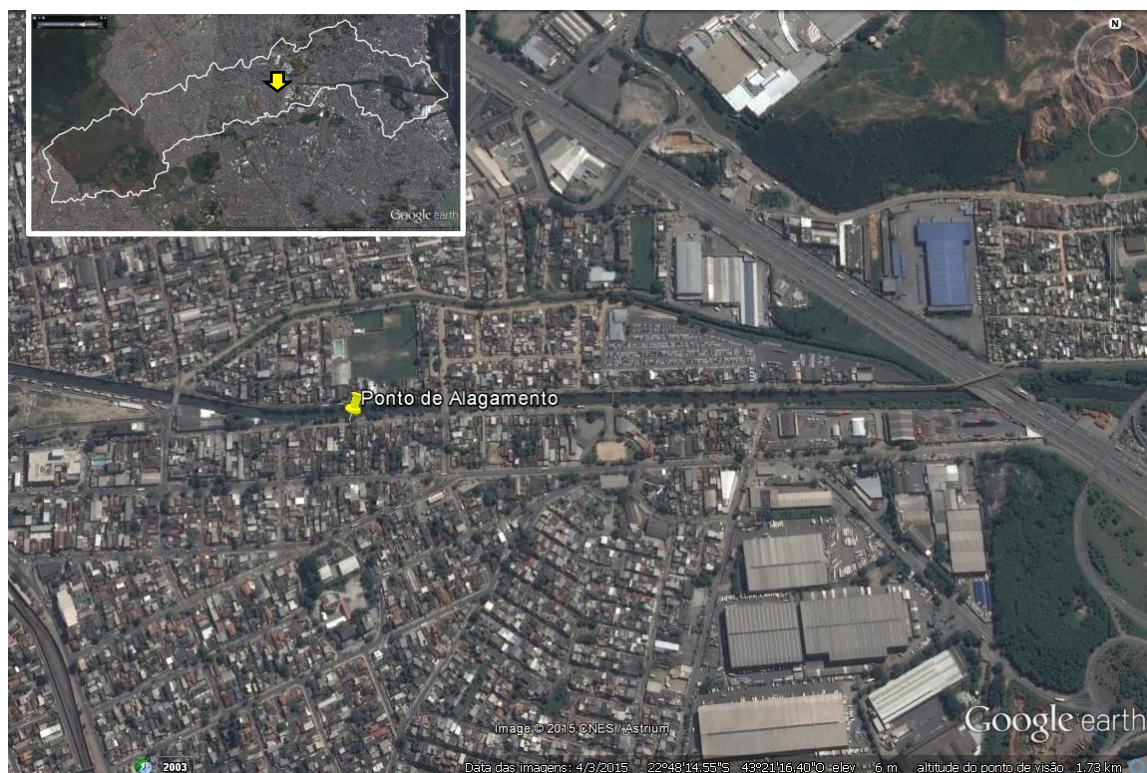


Figura 7.42: Av. Sargento de Milícia, próximo ao fórum e da Rua Mercúrio, rua beirando o Rio Pavuna.
Fonte: Google Earth (2015) e fotogaleria do Facebook na página Pavuna da Depressão (2015).

4. Quarta Região

Localizada próximo à Estação de metrô da Pavuna e à Estação de trem São João de Meriti – Pavuna, esta região é um dos principais pontos de alagamento da bacia e apresenta recorrentes problemas em dias de chuva. Os alagamentos nessa região são constantes e, quando acontecem, atrapalham o trânsito da via. Da Figura 7.43 à Figura 7.50 estão apresentadas imagens desta região. No conjunto de imagens apresentado, é possível ver o ponto em dias comuns e de chuva, quando ocorre o alagamento da região.

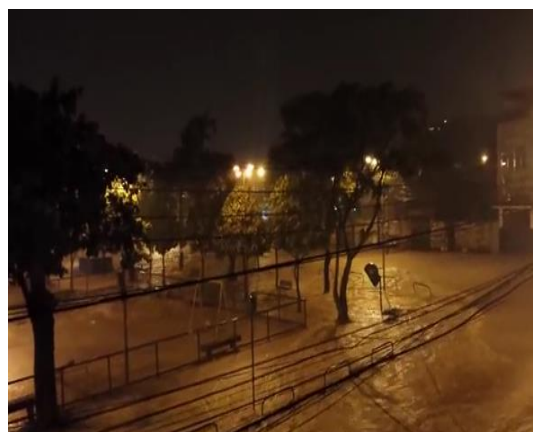
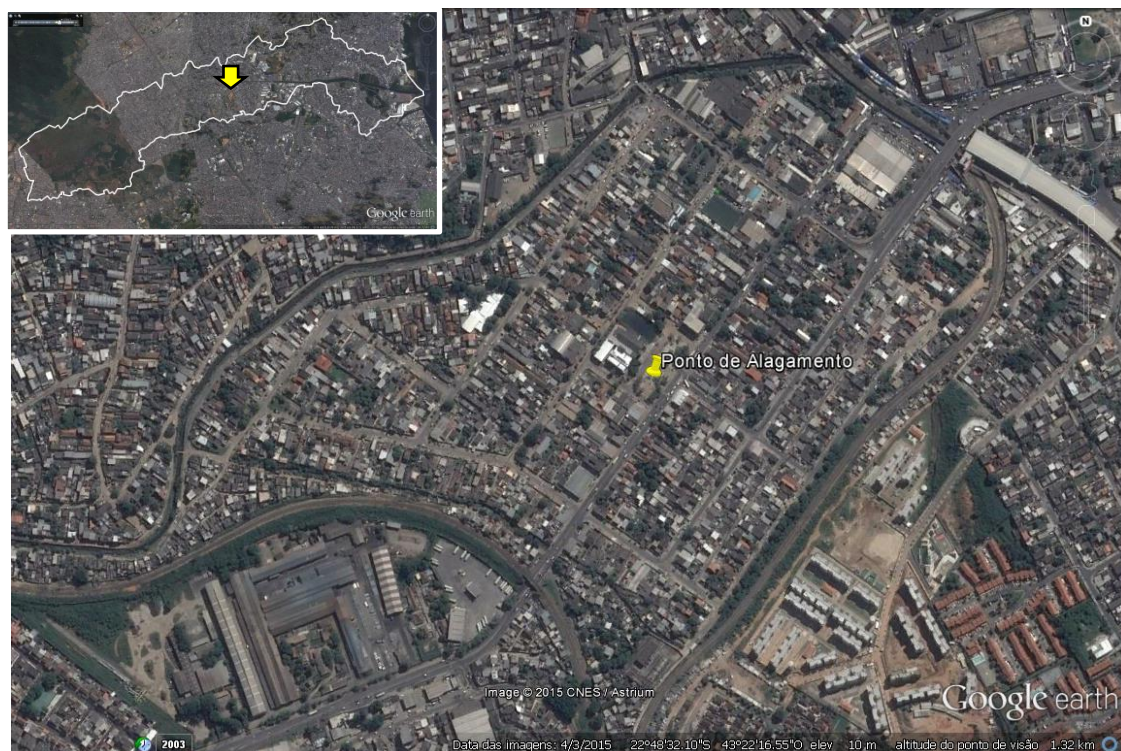


Figura 7.43: Praça Nossa Senhora das Dores no Bairro Pavuna.
 Fonte: Google Earth (2015) e acervo de vídeos no *youtube* de Anderson de França Martins(2013).

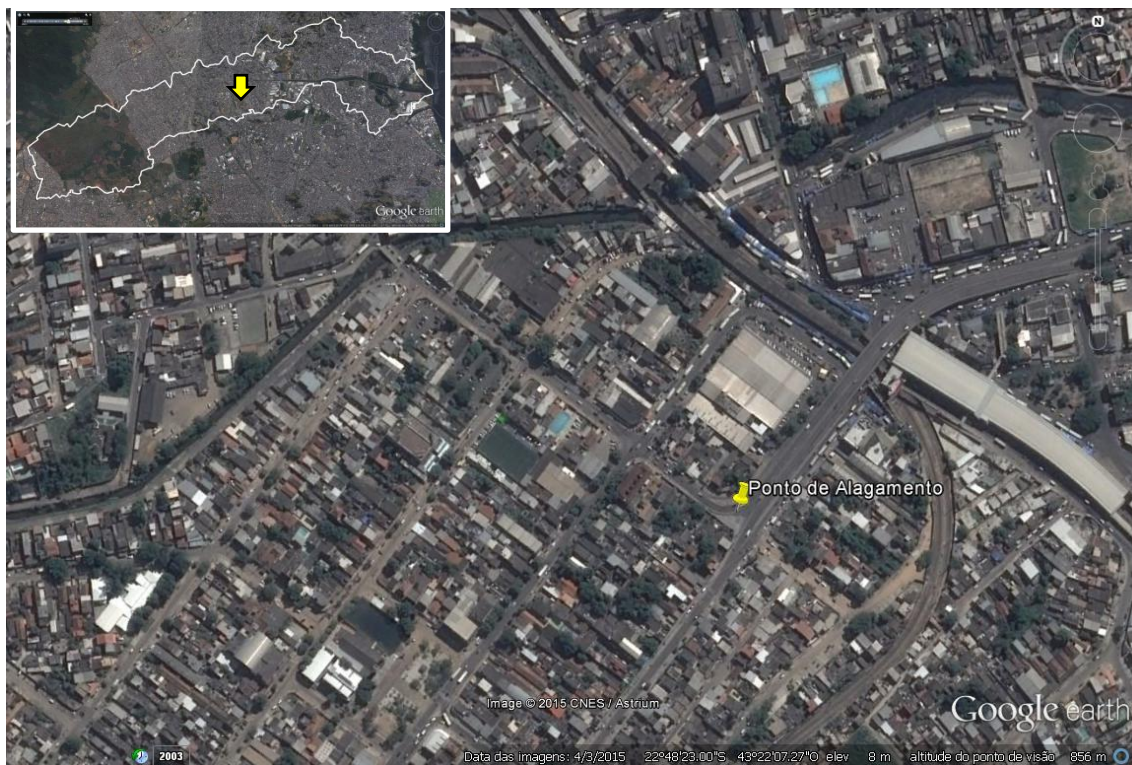


Figura 7.44: Rua Honório Hermeto com Amaral Ornelas próximo ao viaduto da Pavuna.
 Fonte: Google Earth (2015) e fotogaleria do Facebook na página Pavuna da Depressão (2015).

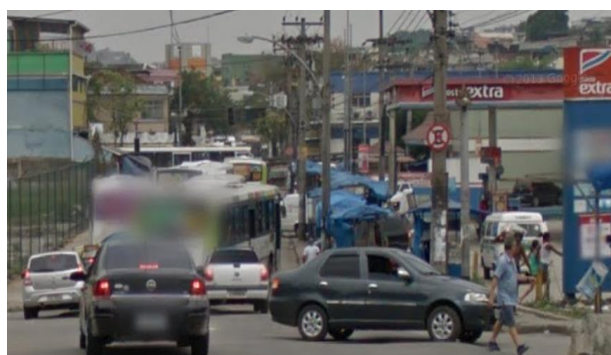
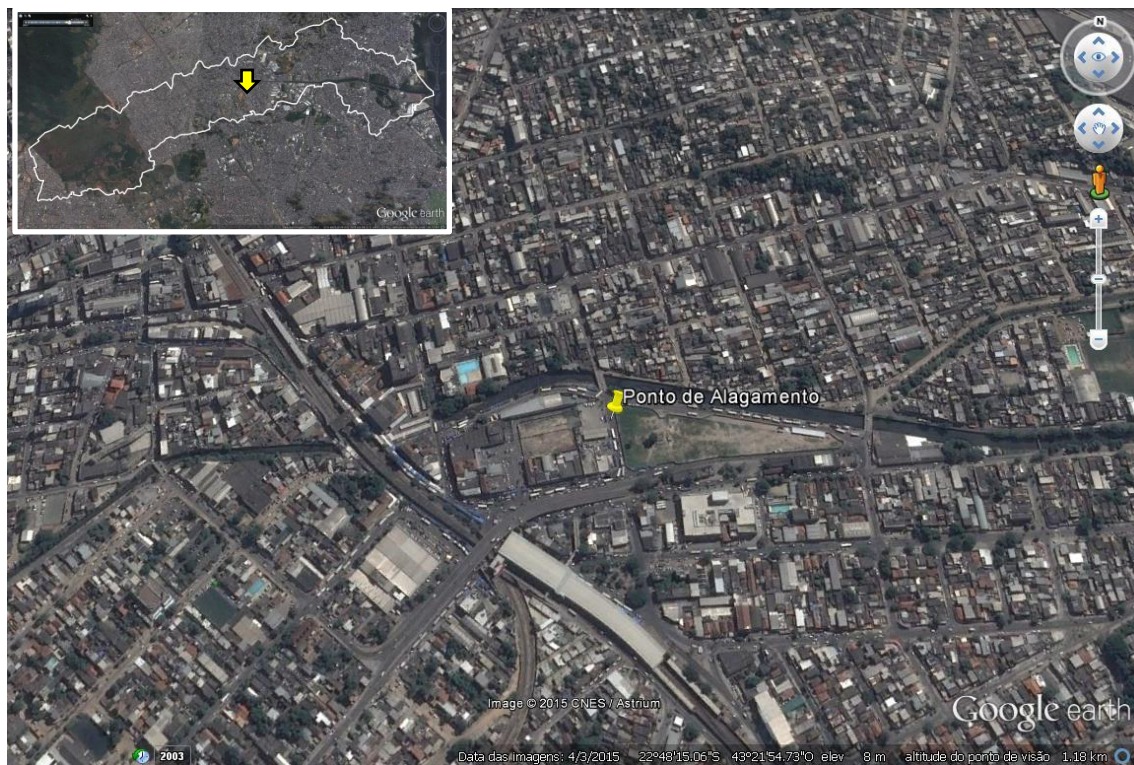


Figura 7.45: Rua Dr. Bernardo Pinto Monteiro próximo ao Posto Extra.
 Fonte: Google Earth (2015) e acervo de vídeos *youtube* de Marcelle Malta (2013).

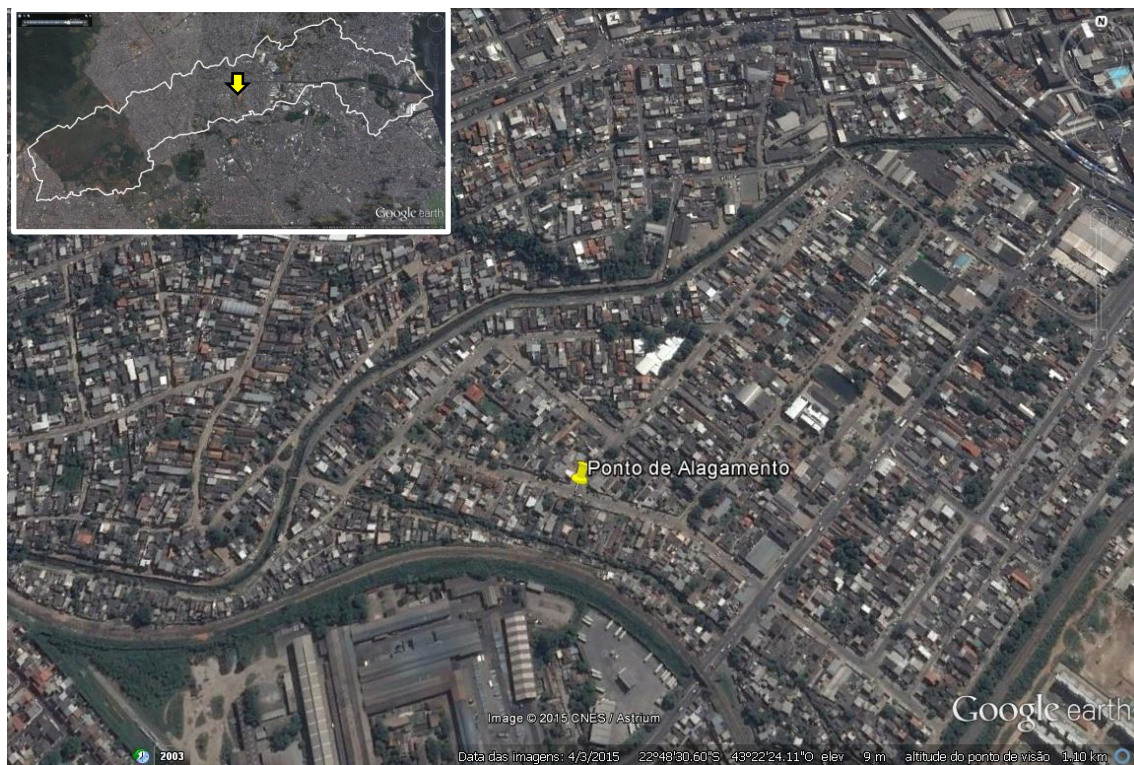


Figura 7.46: Rua Nina Ribeiro esquina com Rua Maria Joaquina.
 Fonte: Google Earth (2015) e fotogaleria do Facebook na página Pavuna da Depressão (2015).

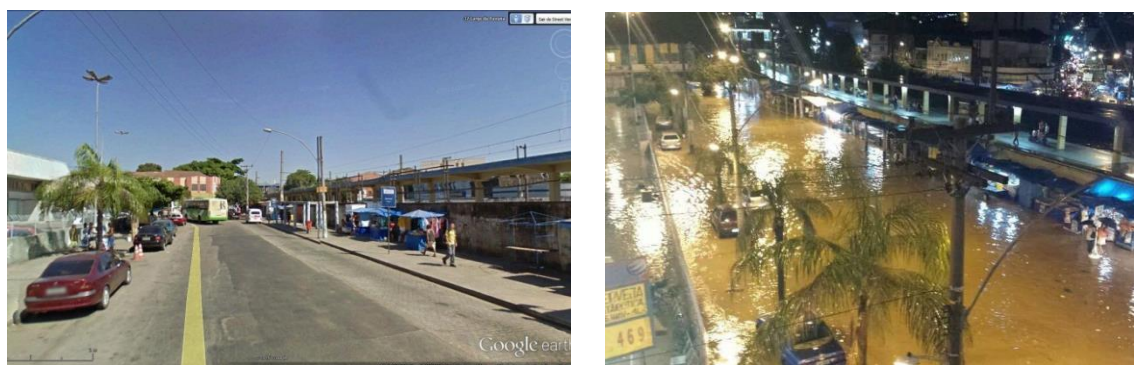
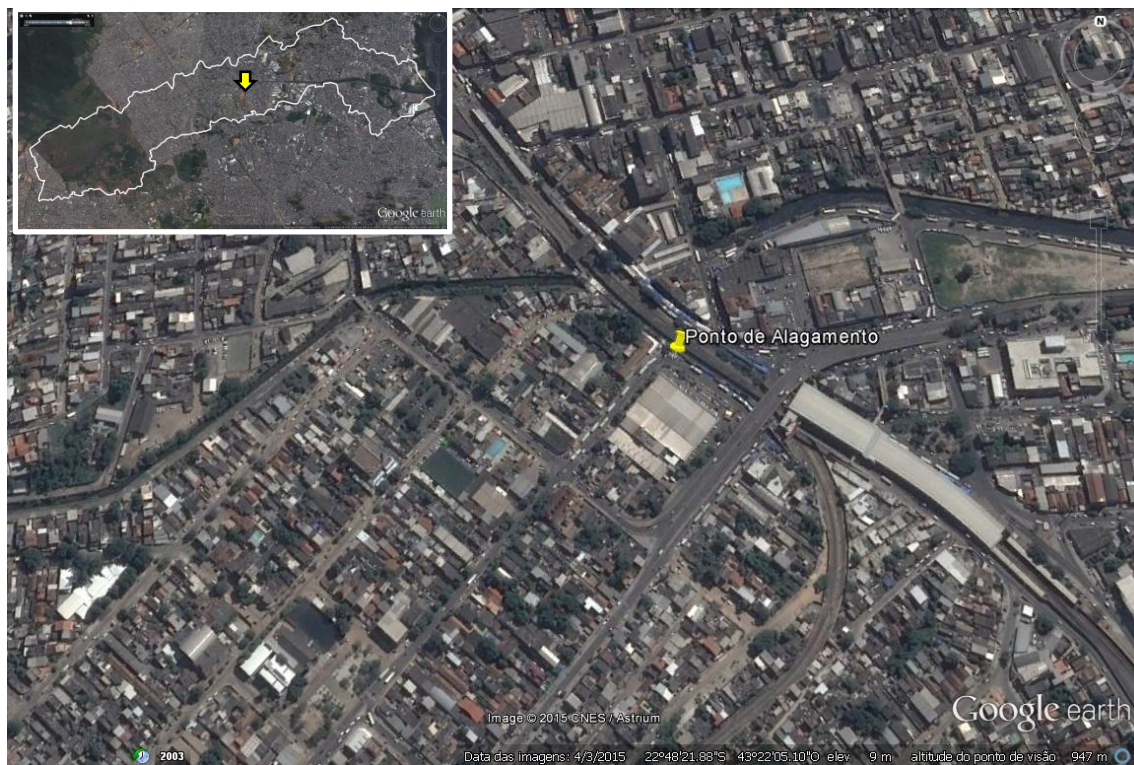


Figura 7.47: Em frente ao Supermercado Intercontinental, próximo ao metrô no Largo da Pavuna.
 Fonte: Google Earth (2015) e fotogaleria do Facebook na página Pavuna da Depressão (2015).



Figura 7.48: Descida do metrô da Pavuna.
 Fonte: Google Earth (2015) e fotogaleria do Facebook na página Pavuna da Depressão (2015).



Figura 7.49: Rua Honório Hermeto em frente ao Centro Educacional Colúmbia 2000.
 Fonte: Google Earth (2015) e fotogaleria do Facebook na página Pavuna da Depressão (2015).

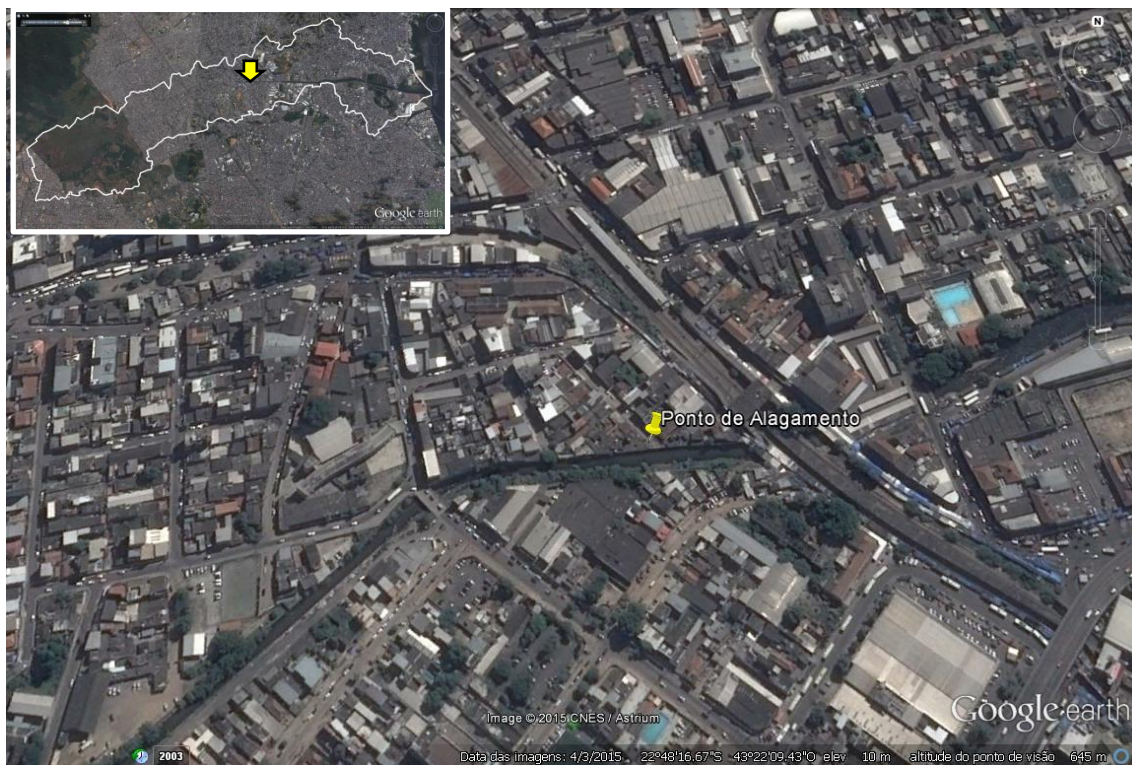


Figura 7.50: Transbordamento do Rio Pavuna na Rua Coronel Eliseu.
Fonte: Google Earth (2015) e acervo de vídeos youtube (2013).

5. Quinta Região

Localizada próximo à Estrada Rio do Pau no Bairro da Pavuna, a Figura 7.51 e a Figura 7.52 apresentam imagens de alagamento na Estrada Rio do Pau em dias comuns e de chuva, quando ocorre o alagamento da região.

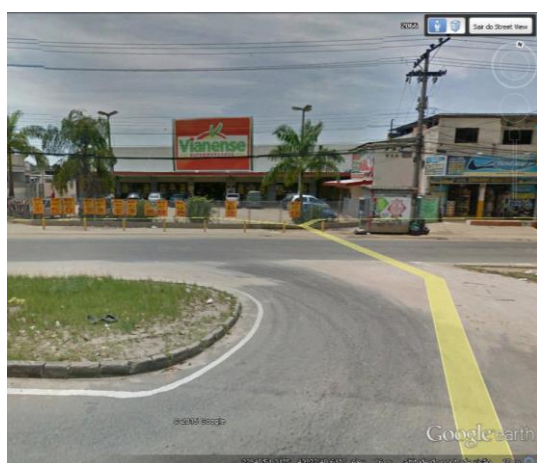


Figura 7.51: Estrada Rio do Pau no Bairro da Pavuna.
 Fonte: Google Earth (2015) e fotogaleria do *Facebook* na página Pavuna da Depressão (2012).

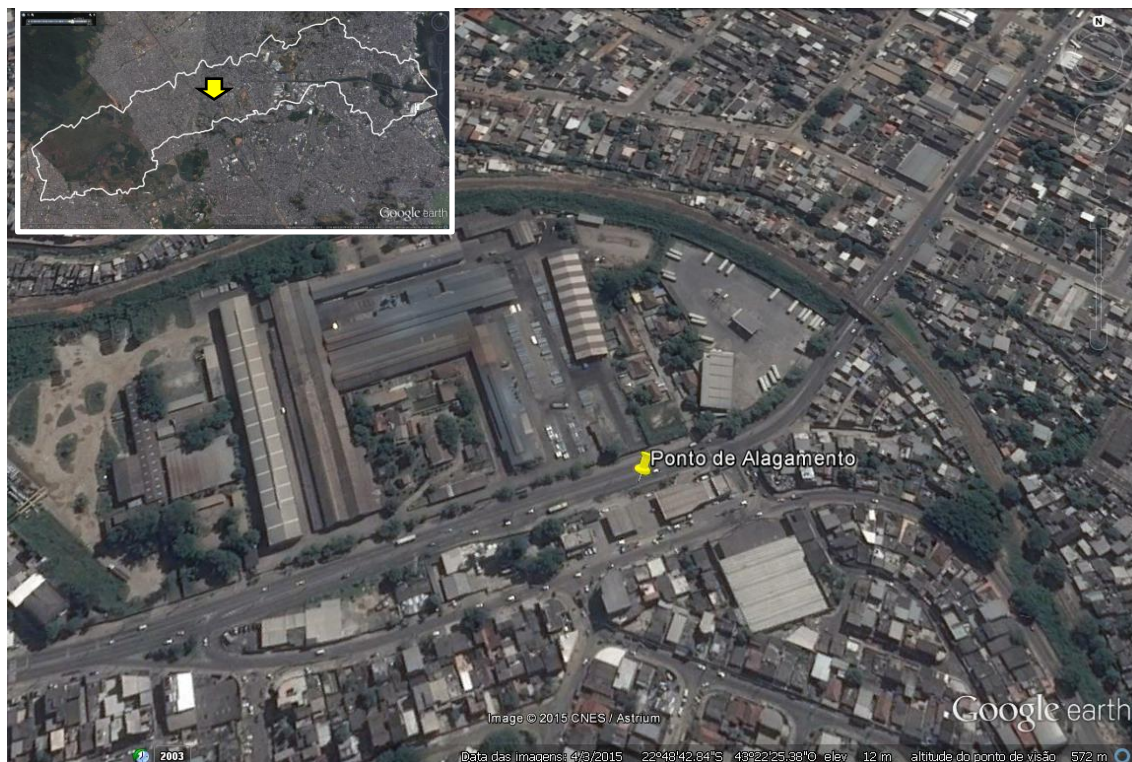


Figura 7.52: Estrada Rio do Pau no Bairro da Pavuna.
Fonte: Google Earth (2015) e fotogaleria do Facebook na página Pavuna (2013).

Por fim, todas as informações coletadas, tanto no relatório da COPPETEC, quanto no artigo Kelman (1995) e até mesmo nas imagens capturadas na internet e de vídeos de cheias no local bem como as informações de moradores, foram úteis para a etapa de ajuste do modelo que, pela falta de dados medidos, substitui a etapa de calibração formal.

Na Figura 7.53 é possível verificar como ficou a calibração a partir dos dados disponíveis para o tempo de recorrência de 25 anos na situação atual.

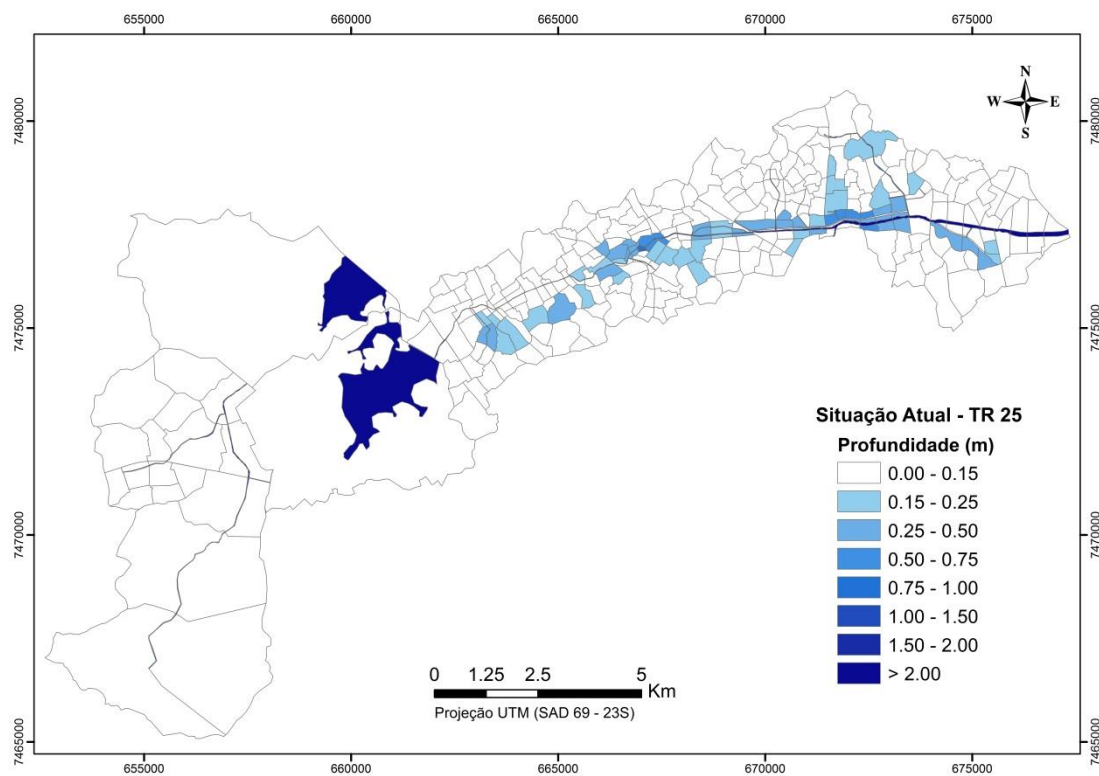


Figura 7.53: Mancha de Alagamento para TR 25anos, resultante da calibração.

A Figura 7.54 mostra uma correlação dos pontos críticos de alagamento, apresentados nas figuras anteriores, com o cenário calibrado para o tempo de recorrência de 25 anos na situação atual, com a indicação das cotas máximas mais críticas na bacia.

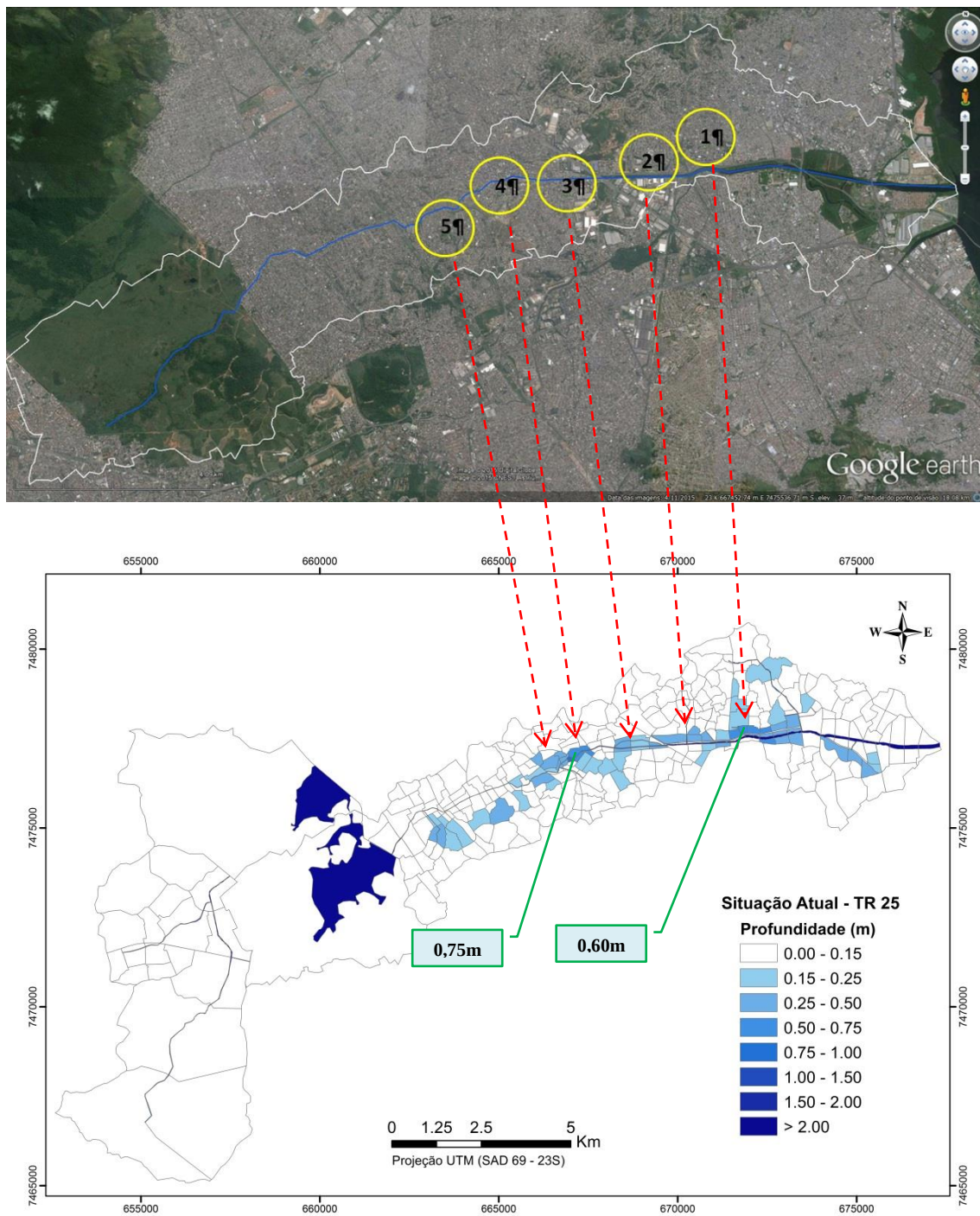


Figura 7.54: Correspondência entre os pontos de controle e as regiões alagadas na mancha para TR 25 anos.

7.6.5. Resultados

O diagnóstico das cheias na Bacia do Rio Pavuna apoia-se principalmente no mapeamento das manchas de alagamento, geradas pela modelação matemática com o MODCEL.

Os resultados obtidos forneceram uma série de informações referentes aos níveis d'água e vazões, que permitiram a construção de mapas de inundação, de perfis de níveis d'água nos rios e de hidrogramas.

Com esses resultados também foi possível analisar as relações de escoamento superficial na bacia, possibilitando uma discussão acerca do risco residual da Barragem de Gericinó e os efeitos das modificações de uso e cobertura do solo decorrente da falta de controle e planejamento urbano. Os resultados são apresentados a seguir, separados por cenários de simulação.

7.5.9.1. Cenário 1 (Situação Atual)

O cenário 1 considerou toda a Bacia do Rio Pavuna-Meriti e parte da Bacia do Rio Sarapuí nas condições em que se encontram hoje. A simulação das condições atuais da bacia hidrográfica do Rio Pavuna-Meriti, considerando as características de uso e ocupação do solo e a topografia existentes, resultou em uma série de informações de níveis d'água e vazões que permitem a construção de mapas de inundações da bacia para diferentes cenários hidrológicos (tempos de recorrência).

Após a montagem e aceitação de toda a base para avaliação do cenário atual com o uso do MODCEL, foram obtidos os resultados que seguem, na forma de perfis longitudinais, manchas de alagamento e hidrogramas.

Para facilitar a interpretação dos perfis, apresenta-se a Figura 7.55, com a localização dos pontos de controle escolhidos. Destaca-se que a ação da Barragem de Gericinó é apenas residual na foz do Rio Acari. Assim, os resultados a jusante deste ponto não serão considerados (e apresentados) para fins de discussão dos argumentos postulados nesta dissertação, acerca da hipótese de trabalho a ser verificada.



Figura 7.55: Pontos de controle considerados nos perfis do Rio Pavuna.
 Fonte: Adaptado de Google Earth

O perfil do Rio Pavuna, para o tempo de recorrência de 25 anos, é apresentado na Figura 7.56. É possível perceber que o rio não se mantém em calha em diversos trechos de seu percurso. As regiões mais críticas, em que ocorre extravasamento para as margens, correspondem às áreas próximas à foz do Rio Acari (próximo à Linha vermelha), Estação de Metrô da Pavuna e Estação de Trem Supervia (São João de Meriti – Pavuna) e também próximo à R.F.F.S.A. (Rede Ferroviária Federal Sociedade Anônima – atual Linha Férrea).

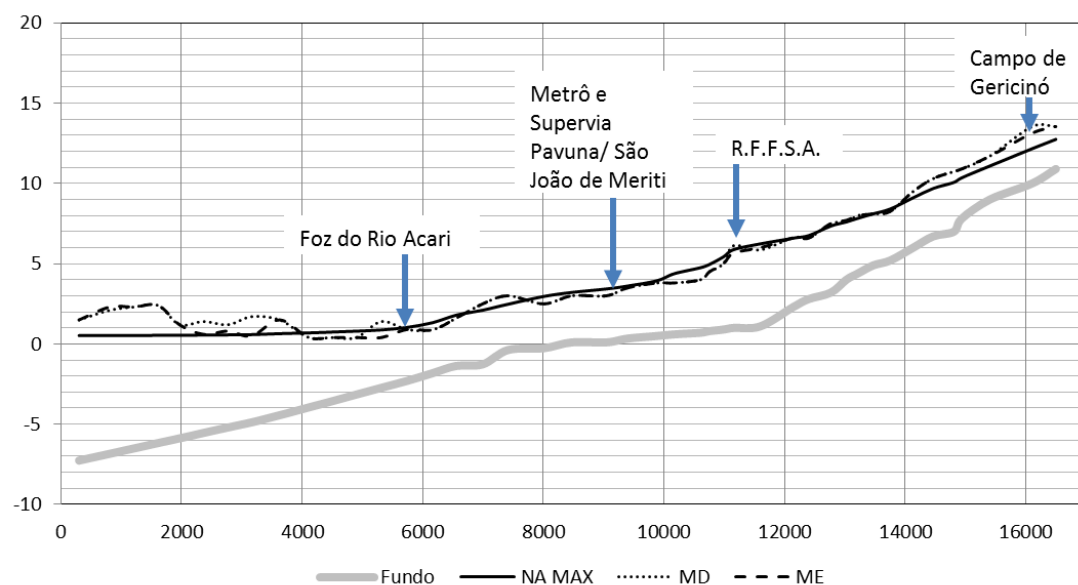


Figura 7.56: Perfil Rio Pavuna-Meriti, Situação Atual (TR 25 anos).

A Figura 7.57 mostra o mapa de alagamento para a Bacia do Rio Pavuna-Meriti, na situação atual, considerando a chuva de projeto com 25 anos de tempo de recorrência. Uma chuva de TR 50 anos e outra com TR 100 anos também foram utilizadas com o objetivo de avaliar uma situação mais crítica do que aquela definida pela vazão de projeto adotada para a Barragem de Gericinó. Para as chuvas de TR 50 e 100 anos, as manchas de alagamento da situação atual, que também serão adotadas como referência, estão apresentadas na Figura 7.58 e Figura 7.59 respectivamente.

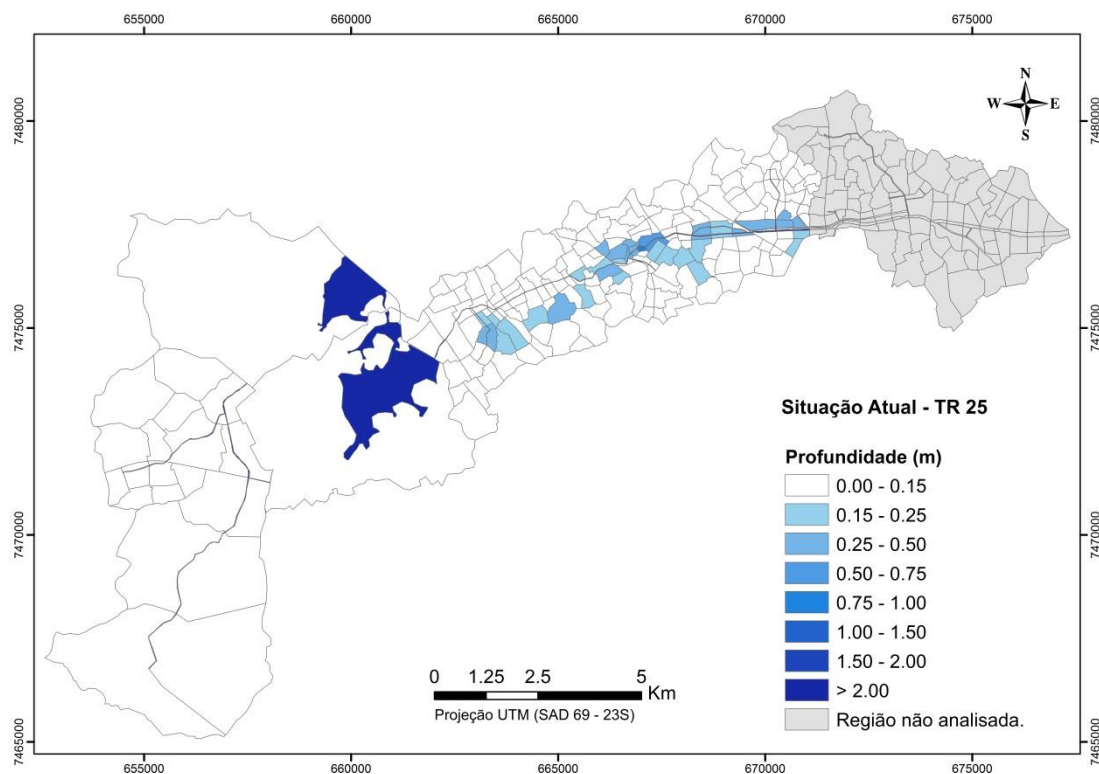


Figura 7.57: Mancha de Alagamento, Situação Atual (TR 25 anos).

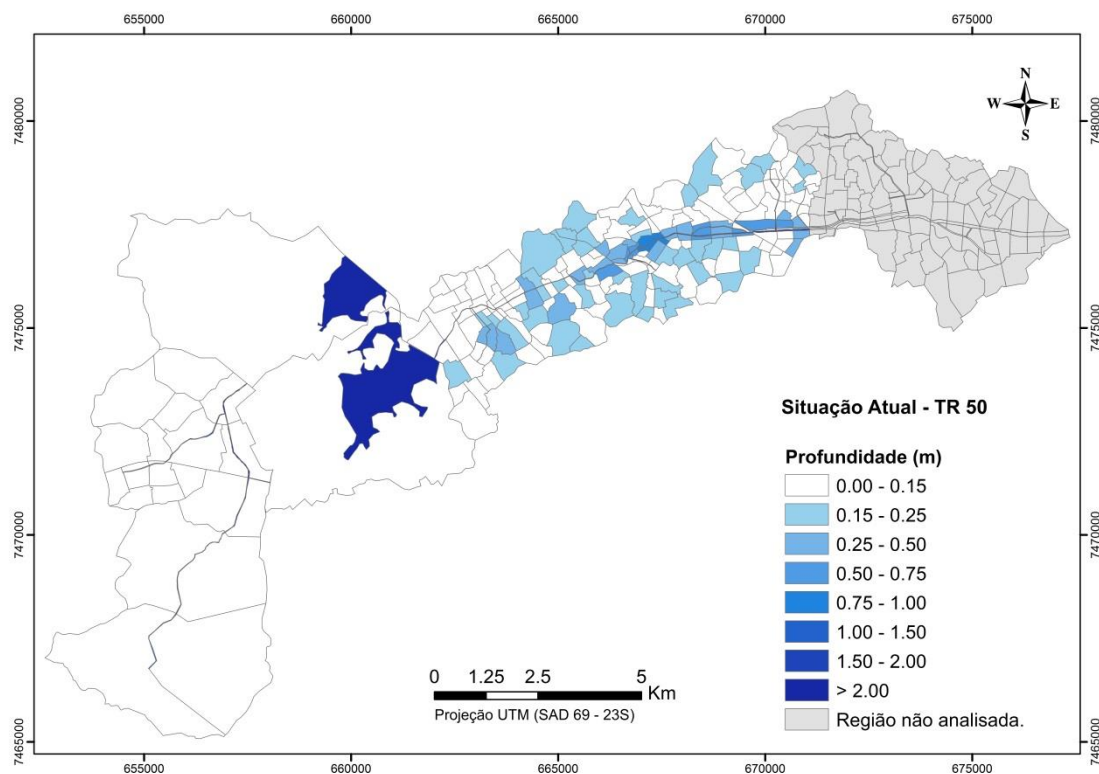


Figura 7.58: Mancha de Alagamento, Situação Atual (TR 50 anos).

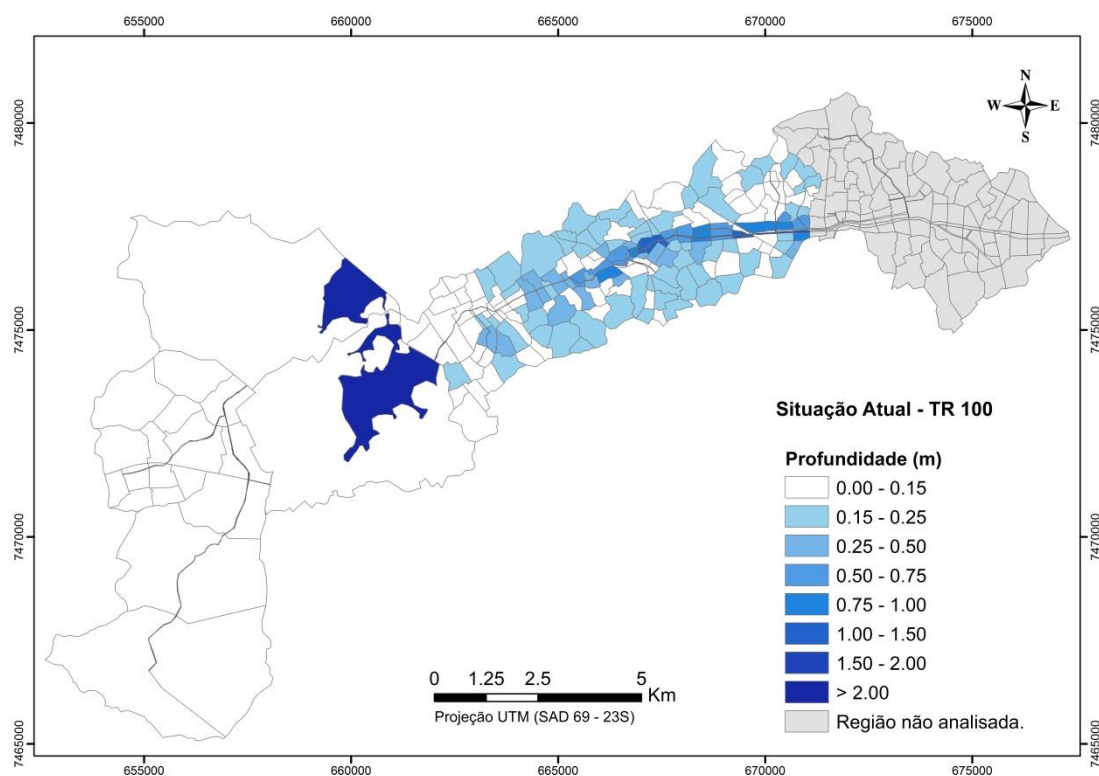


Figura 7.59: Mancha de Alagamento, Situação Atual (TR 100 anos).

A partir da análise dos mapas de inundação, fica nítida a gravidade dos problemas para todos os eventos de chuva simulados, principalmente nas áreas mais baixas da bacia, próximas à confluência do Rio Acari, apresentando regiões com alagamentos iguais a 0,45 m de profundidade para o TR de 25 anos.

Além disso, a modelagem matemática apresentou o alagamento de áreas importantes, ao longo da Bacia, com níveis d'água que chegam, em alguns lugares, a mais de 0,75 m de altura no tempo de recorrência de 25 anos, a mais de 0,90 m para TR 50 anos e a 1,20 m no tempo de recorrência de 100 anos. Os pontos críticos estão associados a regiões próximas à calha do Rio Pavuna.

De acordo com as manchas mapeadas para a situação atual, percebe-se haver problemas de capacidade de condução de vazão em calha, notadamente em pontos associados à contração da seção, tanto no Rio Pavuna quanto em seus afluentes. Nota-se também que a Linha Vermelha funciona como obstáculo aos escoamentos superficiais na região a jusante da Foz do Rio Acari (Figura 7.60).



Figura 7.60: Pontos de obstáculo para o escoamento superficial na Bacia.

Fonte: Adaptado de Google Earth

Na região mais a montante do Rio Pavuna, próxima a estação do metrô da Pavuna/São João de Meriti, ocorre um extravasamento da calha principal do rio para todos os eventos de precipitação, inundando as planícies vizinhas. Isso ocorre, principalmente, em consequência de um estrangulamento na seção transversal do rio, no trecho a jusante desse extravasamento, devido à supervia e aos trilhos do metrô que cortam o Rio Pavuna, bem como em decorrência do confinamento do Rio Pavuna em função da construção de uma galeria logo a jusante dos trilhos (Figura 7.61).

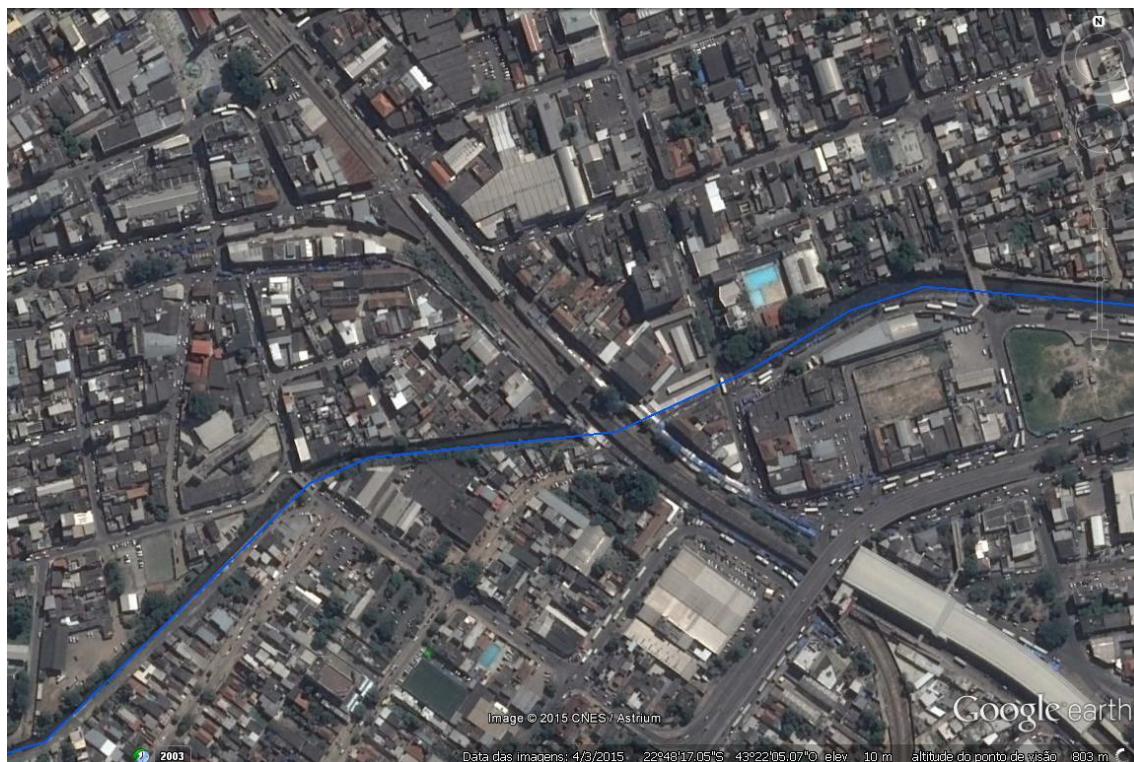


Figura 7.61: Contração da calha do Rio Pavuna devido às Linhas do Metrô e Supervia.

Fonte: Adaptado de Google Earth

Este mesmo problema ocorre na região ainda mais a montante, próximo à antiga R.F.F.S.A, devido ao estrangulamento da seção transversal do rio provocado pelos trilhos da atual Linha Férrea, em que ocorre o extravasamento da calha principal, inundando as planícies vizinhas.

A Figura 7.62 apresenta as vazões na foz com o Rio Acari no cenário atual, para TR 25, 50 e 100 anos. A Figura 7.63 mostra as vazões na região de montante da estação da ferrovia (metrô e supervia), para os mesmos tempos de recorrência, enquanto a Figura 7.64 e a Figura 7.65 apresentam as vazões próximo a Linha Férrea e na região a jusante do Campo de Gericinó, também para os mesmos tempos de recorrência.

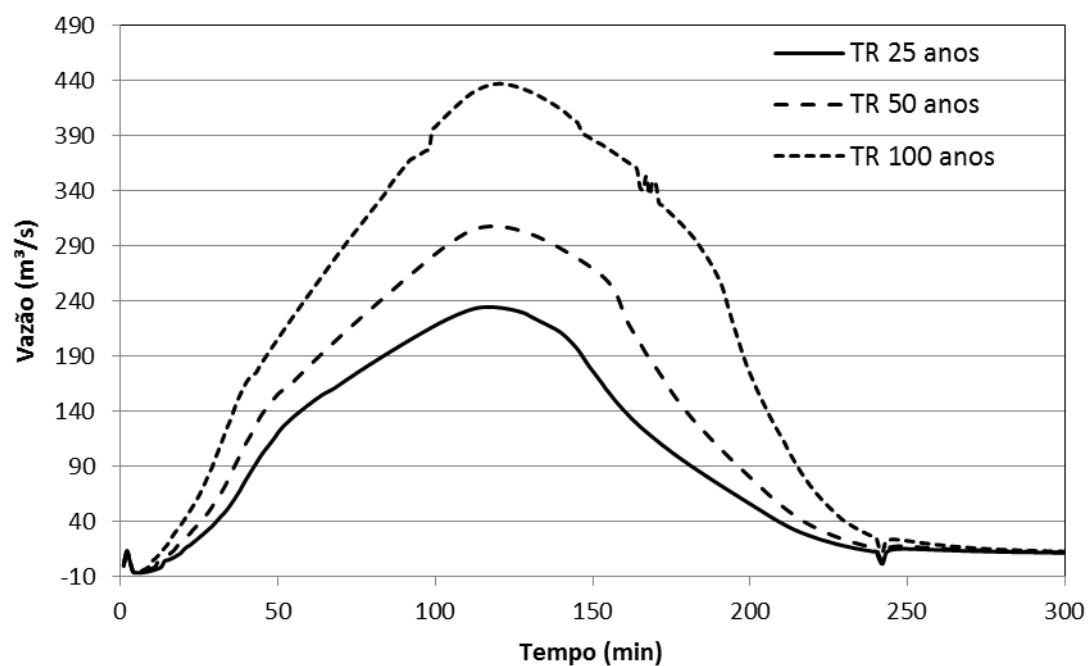


Figura 7.62: Vazões do Rio Pavuna próximo a foz do Rio Acari, Situação Atual (TR 25, 50 e 100 anos).

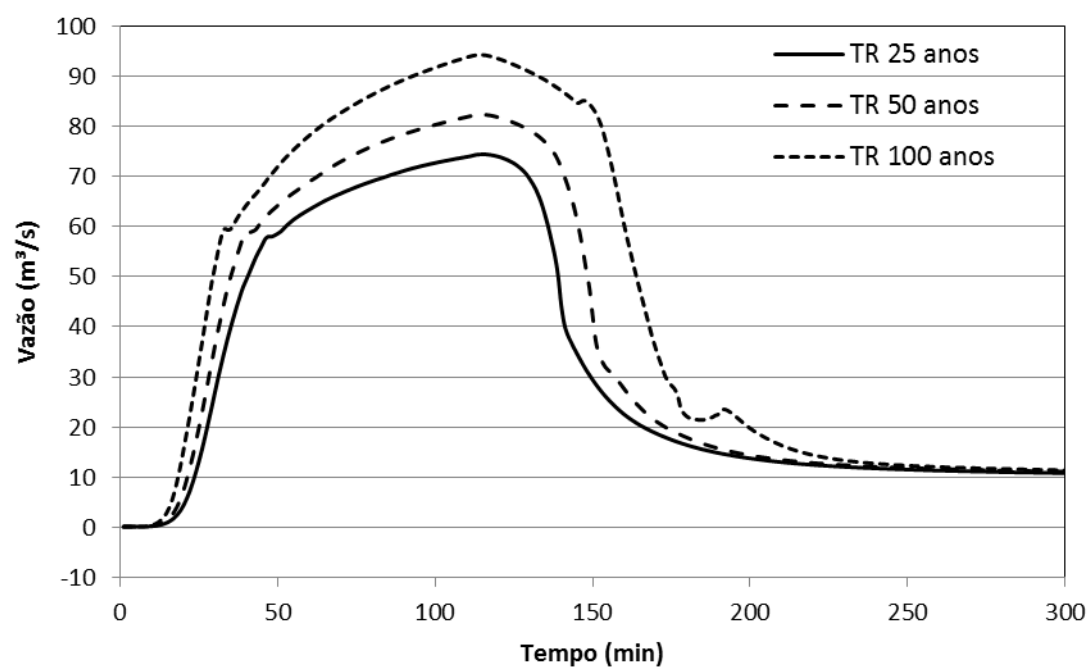


Figura 7.63: Vazões do Rio Pavuna na Estação do Metrô e Supervia, Situação Atual (TR 25, 50 e 100 anos).

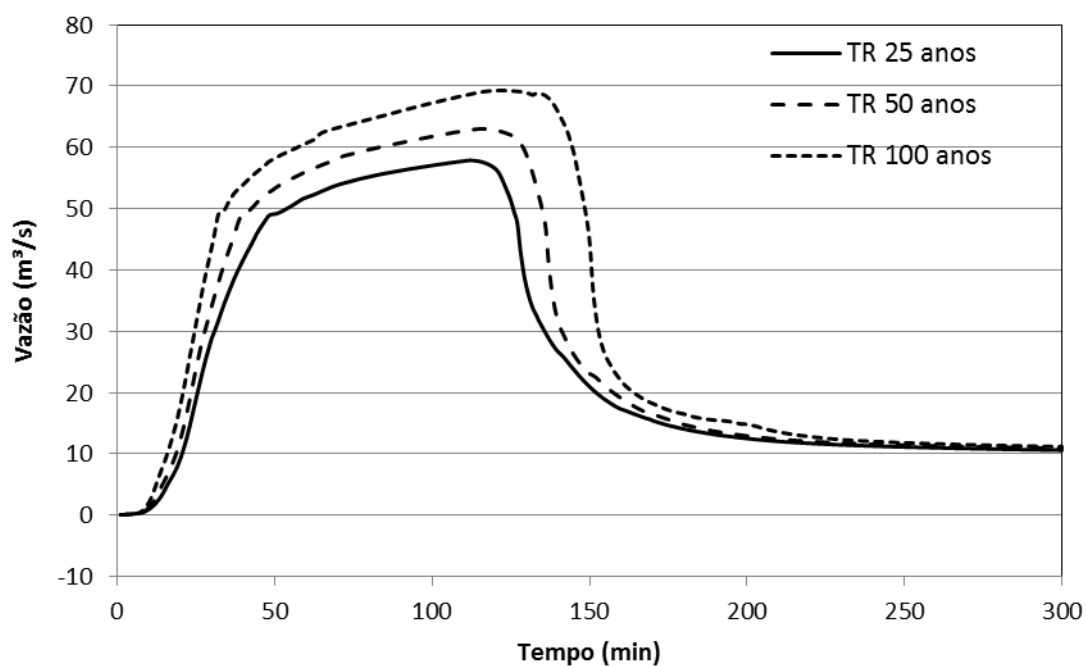


Figura 7.64: Vazões do Rio Pavuna na Linha Férrea, Situação Atual (TR 25, 50 e 100 anos).

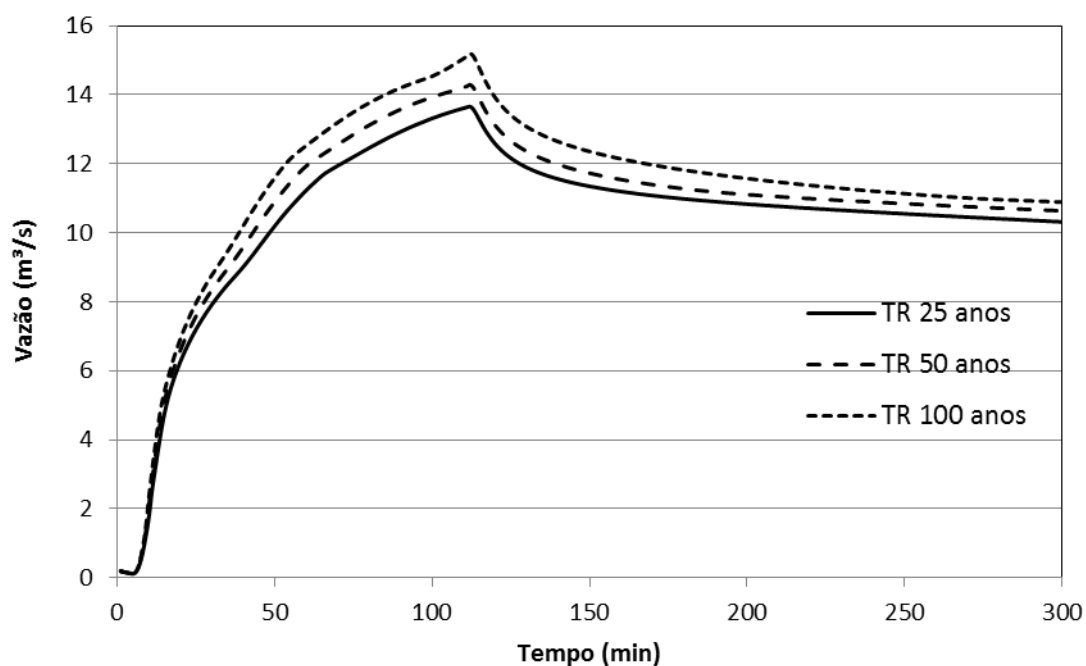


Figura 7.65: Vazões do Rio Pavuna a Jusante do Campo de Gericinó, Situação Atual (TR 25, 50 e 100 anos).

A partir dos hidrogramas apresentados, pode-se verificar que as vazões aumentam na medida em que o rio desce, uma vez que as áreas de contribuição também aumentam, bem como há o deságue do Rio Acari no Rio Pavuna, tornando esta região da foz ainda mais sensível no que se refere aos alagamentos.

Neste cenário, uma condição adversa, e que causa grande prejuízo às comunidades locais, refere-se à ocupação de margens, situada ao longo da calha secundária do rio. De uma forma geral, pode-se perceber, ao longo do Rio Pavuna, várias construções situadas junto às suas margens, interferindo com o extravasamento para a calha secundária e sofrendo muito com os efeitos das cheias.

A ocupação das planícies de inundação, na várzea do rio, limita o espaço que seria ocupado pelas cheias naturais. O alto grau de urbanização da bacia, com grandes taxas de impermeabilização, e a ocupação irregular do solo são fatores típicos de agravamento das cheias.

Alguns alagamentos observados na situação atual são decorrentes da falta de microdrenagem adequada, e assim alagamentos ficam retidos na planície não conseguindo escoar para o Rio Pavuna. Dois processos importantes foram verificados: tanto a macro quanto a microdrenagem falham. Nesse contexto, já se percebe que parte dos alagamentos (gerados pela microdrenagem) não podem ser controlados pela barragem.

7.5.9.2. Cenário 2 – Situação Passada 1990 (Anterior à Barragem)

Conforme descrito no item 7.5.7, este cenário foi proposto a fim de reproduzir a situação crítica de cheias no ano de 1990, que levou à necessidade emergencial da construção da Barragem de Gericinó. Além disso, quando comparado com o cenário 3, proposto na sequência, ele permite analisar a redução efetiva das cotas de alagamento na bacia, proporcionada pela implantação da barragem.

A Figura 7.66 apresenta o perfil do Rio Pavuna para o cenário 2 relativo ao passado (1990) anterior à barragem, com tempo de recorrência de 25 anos. Verifica-se que regiões próximas ao Campo de Gericinó possuíam cotas de alagamento muito críticas, nas quais se pode visualizar o extravasamento do rio em diversos pontos em uma longa extensão da faixa fluvial. Os principais pontos críticos estão indicados no perfil, sendo que dentre eles encontram-se também os pontos críticos indicados na situação atual.

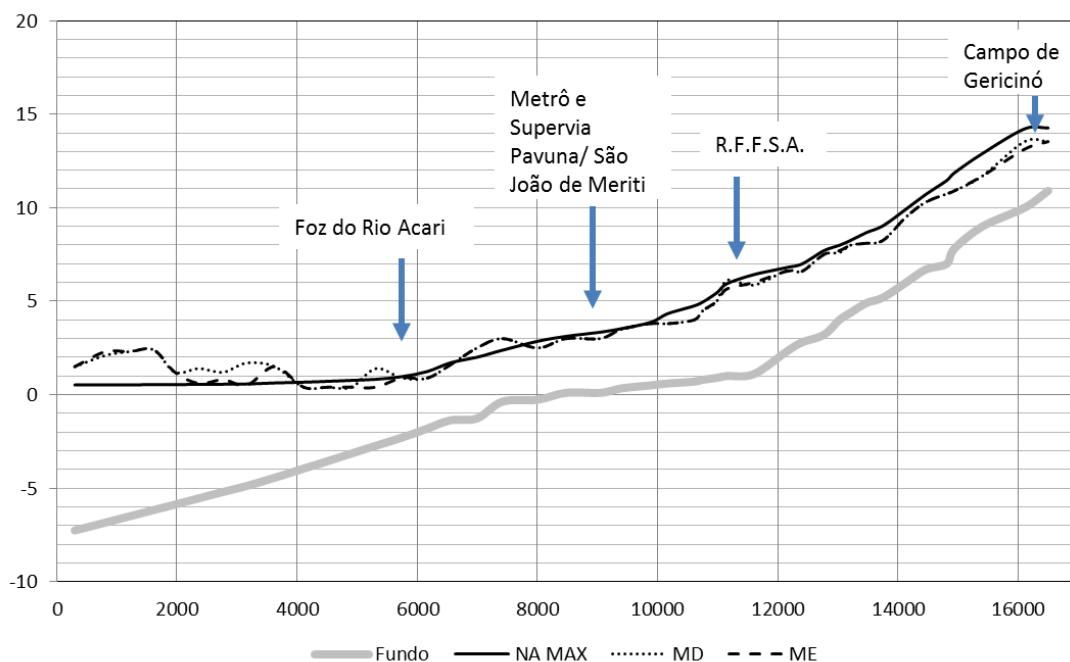


Figura 7.66: Perfil Rio Pavuna-Meriti, Cenário 2 (TR 25 anos).

Nota-se, a partir deste perfil, que o cenário de cheias era consideravelmente crítico, e seu principal agravante era a ocupação irregular das margens, uma vez que na década de 90 a urbanização já se apresentava de forma intensa, embora não com o adensamento atual.

As manchas de alagamento obtidas para o tempo de recorrência de 25, 50 e 100 anos são apresentadas na Figura 7.67, na Figura 7.68 e na Figura 7.69.

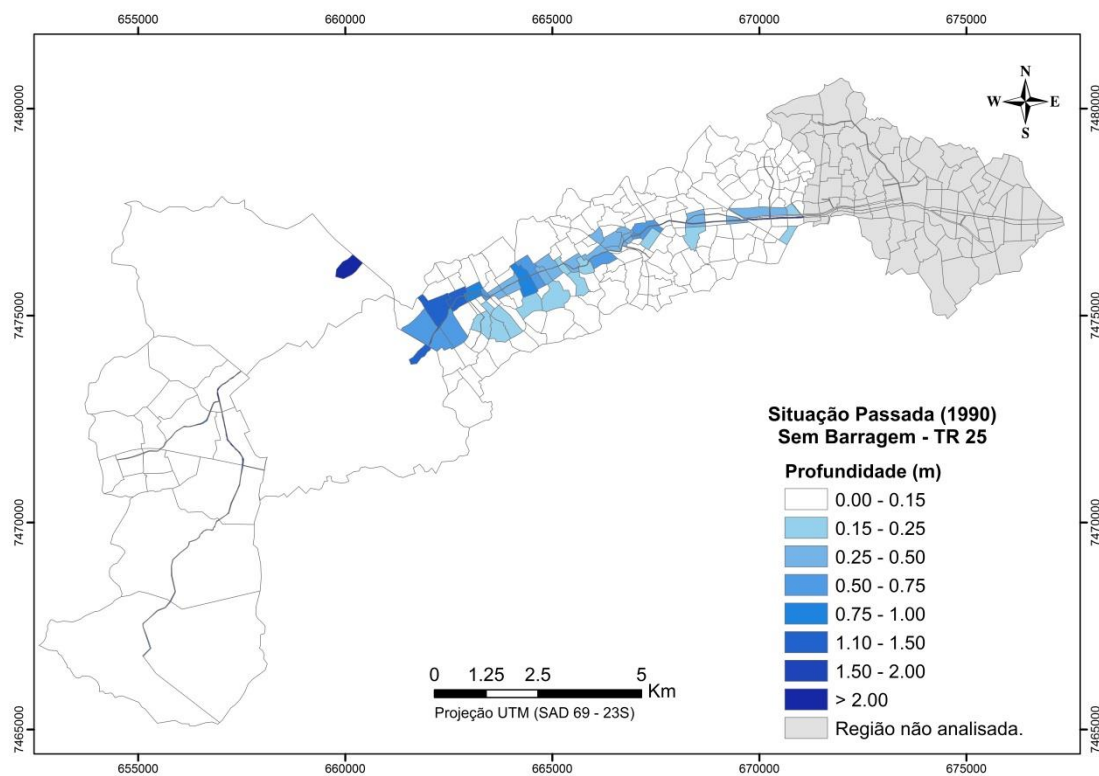


Figura 7.67: Mancha de Alagamento, Situação Passada sem Barragem (TR 25 anos).

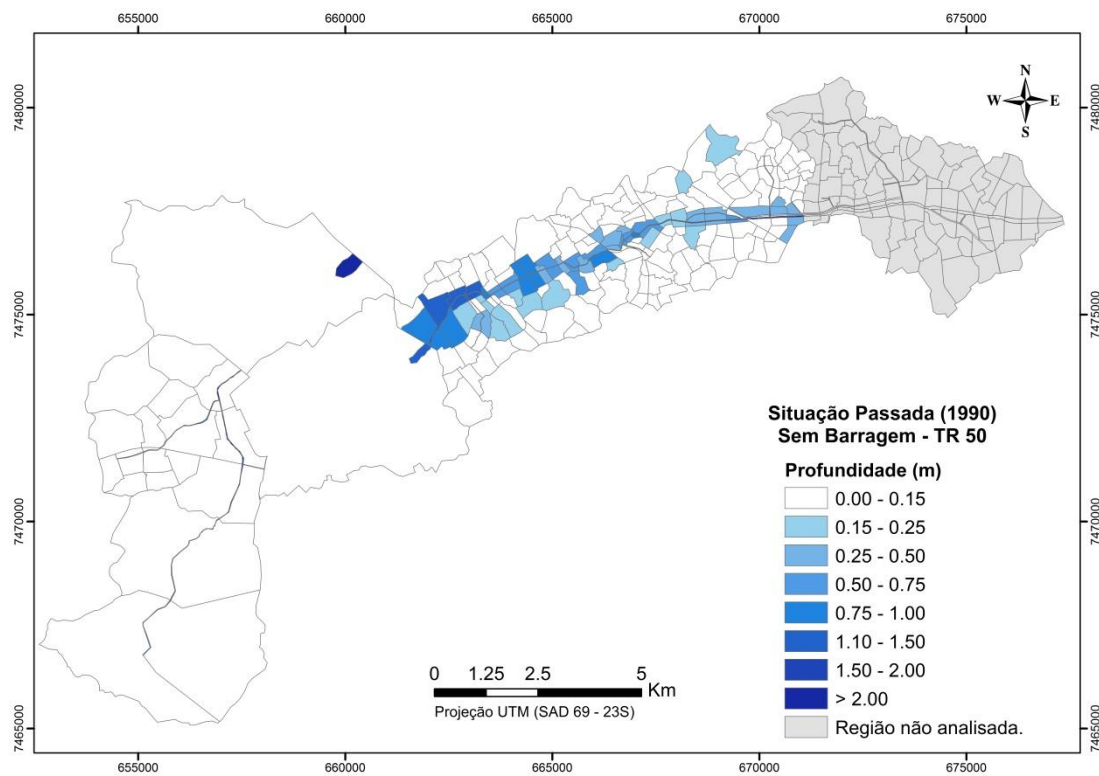


Figura 7.68: Mancha de Alagamento, Situação Passada sem Barragem (TR 50 anos).

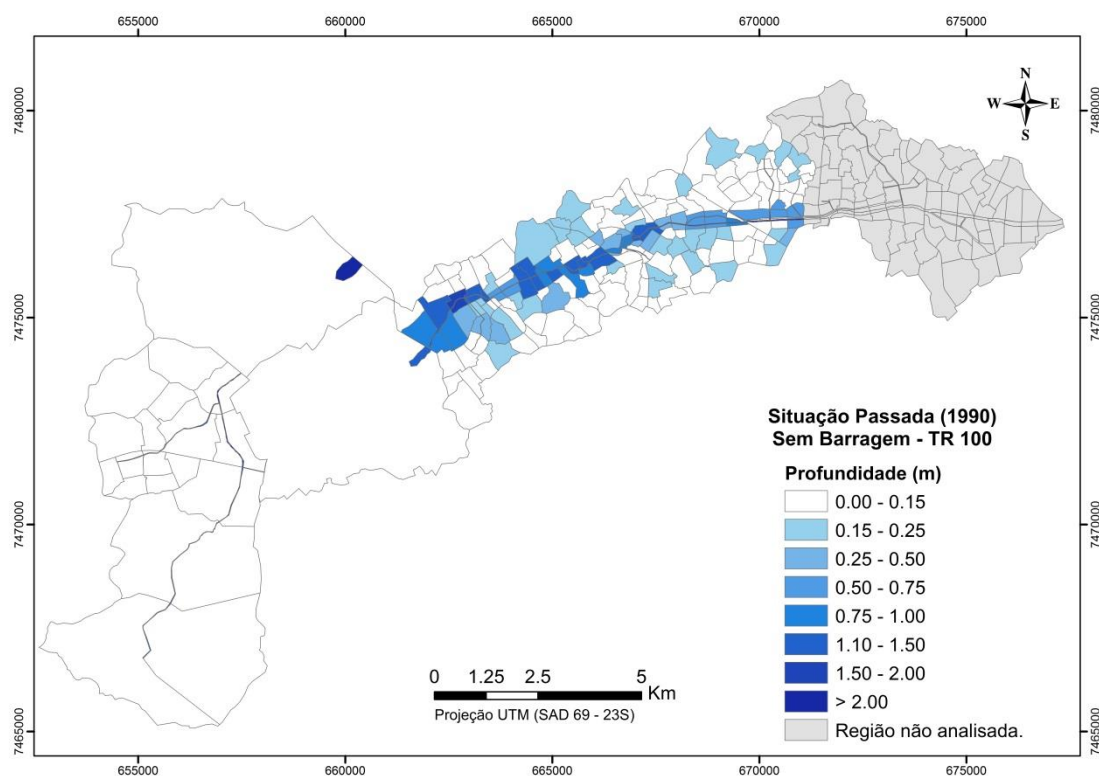


Figura 7.69: Mancha de Alagamento, Situação Passada sem Barragem (TR 100 anos).

Estas manchas mostram a faixa marginal do rio alagada em diversos pontos para a mancha de TR 25 e praticamente em toda sua extensão nas manchas para TR 50 e TR 100. Verifica-se que a principal causa dos alagamentos é devido ao extravasamento do rio. Em alguns pontos, verifica-se que o alagamento chega a 1,20 m para TR 25, 1,35 m de altura para TR 50 e a valores acima de 1,5 m para TR 100. Tendo em vista os resultados, fica nítida a gravidade dos alagamentos para todos os eventos de chuva simulados.

Quanto aos escoamentos superficiais, por mais que a urbanização já estivesse ocorrendo de forma intensa na região na década de 90, ainda não geravam muitos alagamentos sobre a bacia. Desta forma, pode-se dizer que a microdrenagem na região, ainda que insuficiente em algumas partes de bacia, não era uma questão crucial neste cenário.

A Tabela 7.12 mostra, para os pontos críticos selecionados, a variação na vazão máxima entre a situação atual (cenário 1) e o cenário 2, ou seja, quanto aumentou ou reduziu da situação passada 1990 sem a barragem para a situação atual, com a barragem.

Tabela 7.12: Diferença percentual das vazões entre o cenário 1 e 2.

Cenário 1 - Situação Atual – Vazão Máxima (m³/s)				
Localização				
TR	Foz do Rio Acari	Metrô e Supervia	Linha Férrea	Próximo ao Campo de Gericinó
25	234.1	74.31	57.87	13.6
50	306.12	82.26	63	14.36
100	436	94.21	69.14	15.5
Cenário2 – Situação Passada sem Barragem – Vazão Máxima (m³/s)				
Localização				
TR	Foz do Rio Acari	Metrô e Supervia	Linha Férrea	Próximo ao Campo de Gericinó
25	225.22	74.45	67.08	44.1
50	295.38	79.31	78.23	45.46
100	419.91	100.13	100.22	46.21
Diferença Percentual				
TR	Foz do Rio Acari	Metrô e Supervia	Linha Férrea	Próximo ao Campo de Gericinó
25	3.94%	-0.19%	-13.73%	-69.16%
50	3.64%	3.72%	-19.47%	-68.41%
100	3.83%	-5.91%	-31.01%	-66.46%

A Figura 7.70 apresenta as vazões na foz com o Rio Acari no Cenário 2, para TR 25, 50 e 100 anos. A Figura 7.71 mostra as vazões na região de montante da estação da ferrovia (metrô e supervia), para os mesmos tempos de recorrência, enquanto a Figura 7.72 e a Figura 7.73 apresentam as vazões próximo a Linha Férrea e na região a jusante do Campo de Gericinó, também para os mesmos tempos de recorrência.

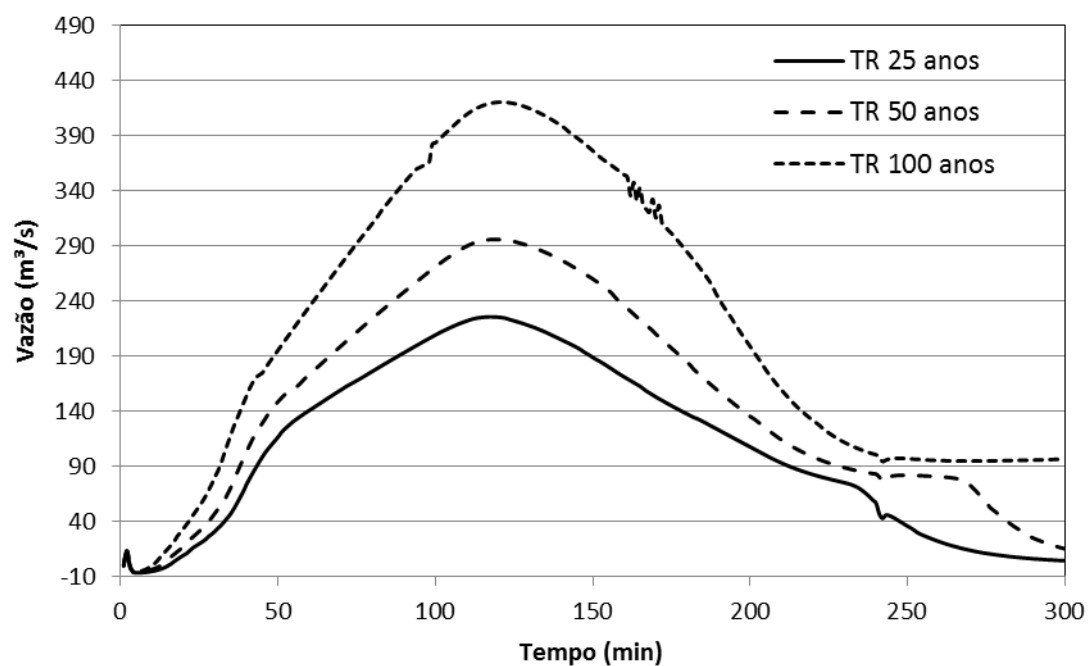


Figura 7.70: Vazões do Rio Pavuna na foz do Rio Acari, Situação Passada sem Barragem (TR 25, 50 e 100 anos).

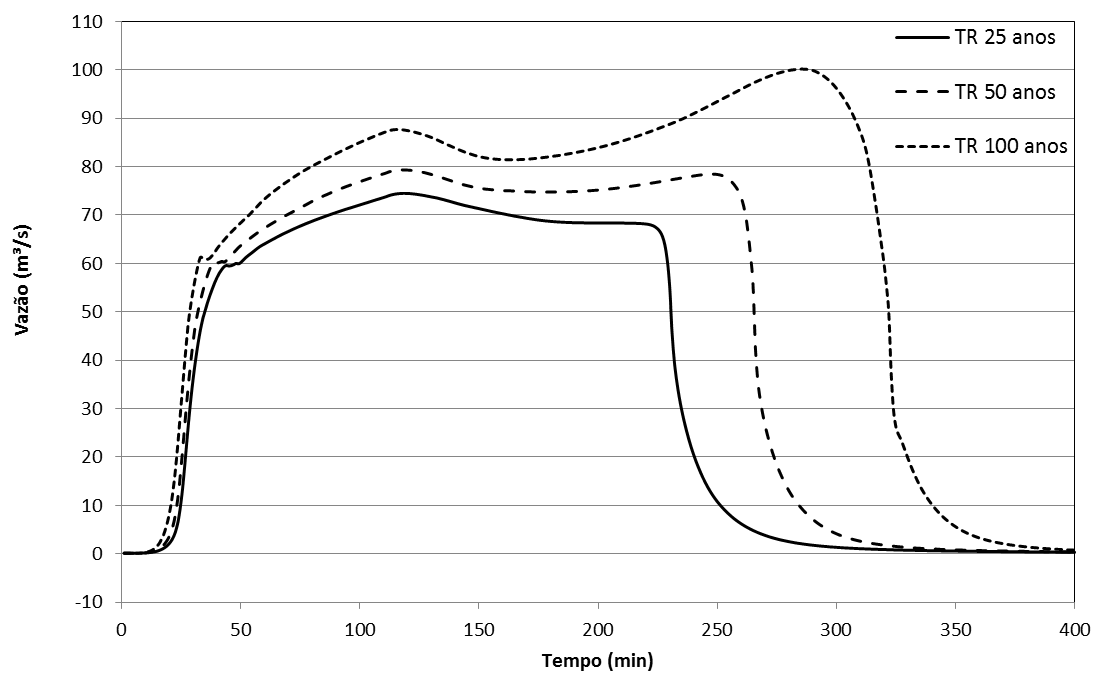


Figura 7.71: Vazões do Rio Pavuna na Estação do Metrô e Supervia, Situação Passada sem Barragem (TR 25, 50 e 100 anos).

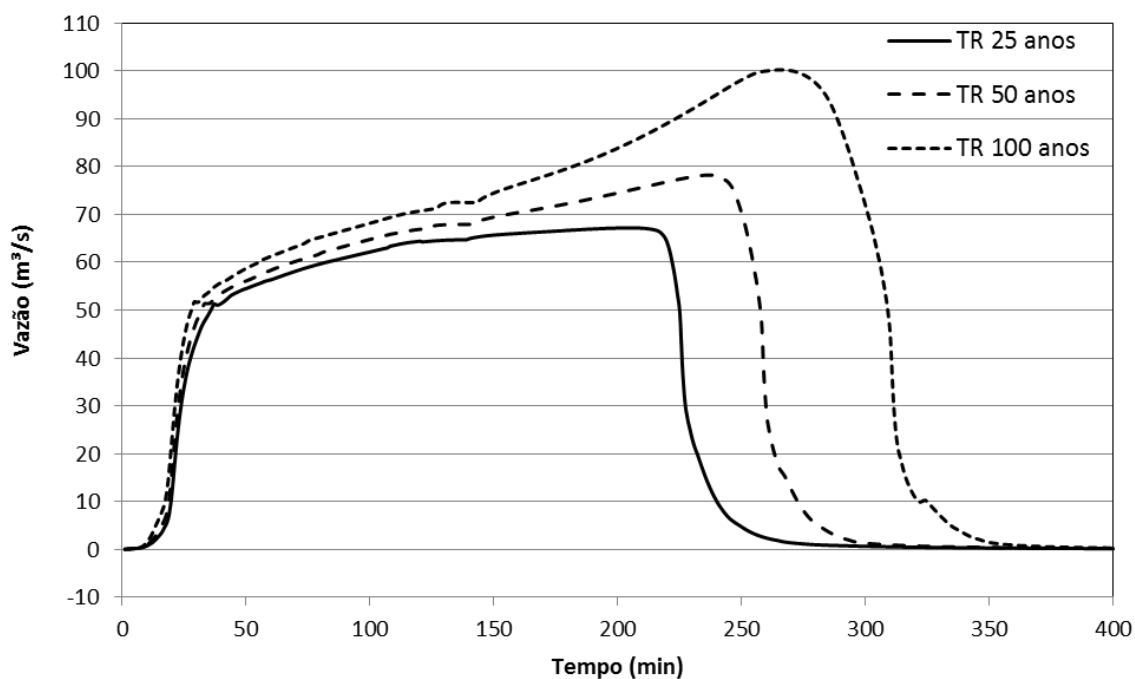


Figura 7.72: Vazões do Rio Pavuna na Linha Férrea, Situação Passada sem Barragem (TR 25, 50 e 100 anos).

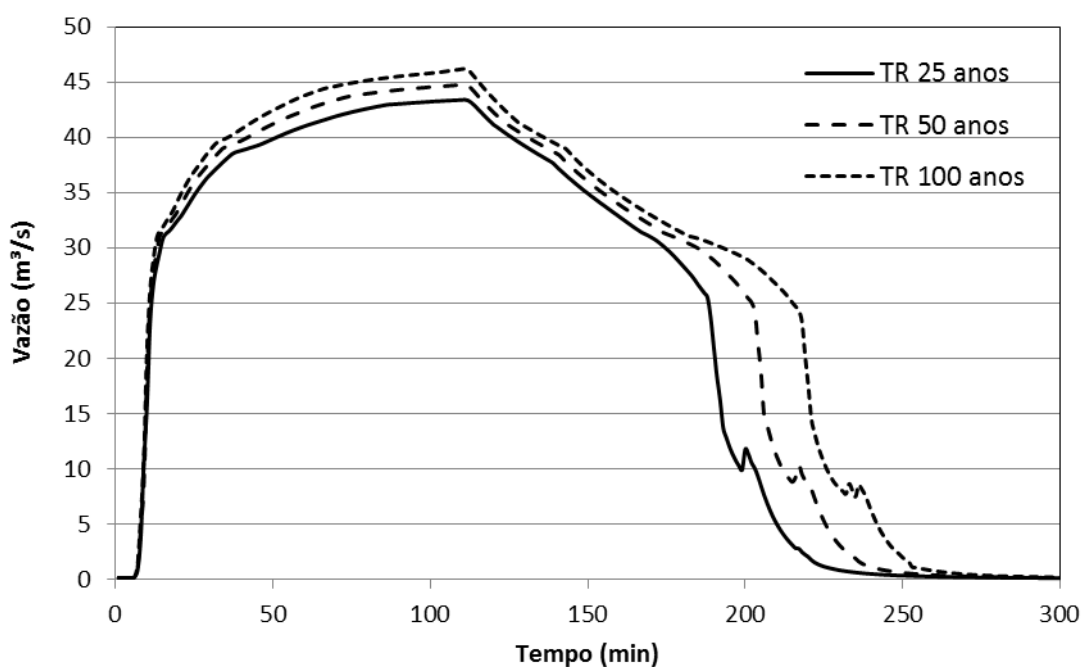


Figura 7.73: Vazões do Rio Pavuna a Jusante do Campo de Gericinó, Situação Passada sem Barragem (TR 25, 50 e 100 anos).

Ao comparar estas vazões com as vazões na situação atual, verifica-se que próximo à foz do Rio Acari a vazão chega a ser quase 4% menor em 1990 para todos os tempos de recorrência antes da barragem. O intenso adensamento populacional na região ao longo dos anos pode ter afetado este resultado, mas é provável, como já indicado, que a

ação da barragem na região da foz do Rio Acari seja, realmente, apenas residual, confirmando a decisão de não analisar os resultados a jusante deste ponto.

Na região próxima à Linha Férrea, em 1990, a vazão chegava a ser 30% maior para TR100. Já próximo ao Campo de Gericinó, a vazão era de quase 70% maior do que no cenário atual. Essa maior vazão resulta em maiores lâminas d'água na planície tanto pela margem direita, quanto pela margem esquerda.

Além disso, observando a Figura 7.71, percebe-se claramente um incremento na vazão em calha com um segundo pico quando comparado com a situação atual. Esse efeito se dá pela eliminação da restrição da barragem.

A partir destes resultados apresentados, nota-se que significativos extravasamentos ocorriam na região ao longo de toda extensão do rio para todos os tempos de recorrência apresentados. Havia, na época, uma necessidade emergencial de implementar planos e medidas de controle de cheias na região, de modo a reduzir os expressivos alagamentos.

7.5.9.3. Cenário 3 – Situação Passada 1990 (Após a Barragem)

Conforme descrito no item 7.5.7, o cenário 3 consiste em uma simulação que estabelece uma referência passada, com informações de urbanização de 1990, assim como no cenário 2, porém, com a introdução da barragem do Campo de Gericinó. A simulação deste cenário passado inicialmente permite realizar a análise da melhoria efetiva alcançada na redução das enchentes com a construção da barragem em 1990.

Além disso, quando comparado com a situação atual, permite avaliar a influência da urbanização desordenada sobre o hidrograma de cheias após a instalação da Barragem na Bacia do Rio Pavuna.

A Figura 7.74 apresenta o perfil do Rio Pavuna para o cenário 3 com tempo de recorrência de 25 anos.

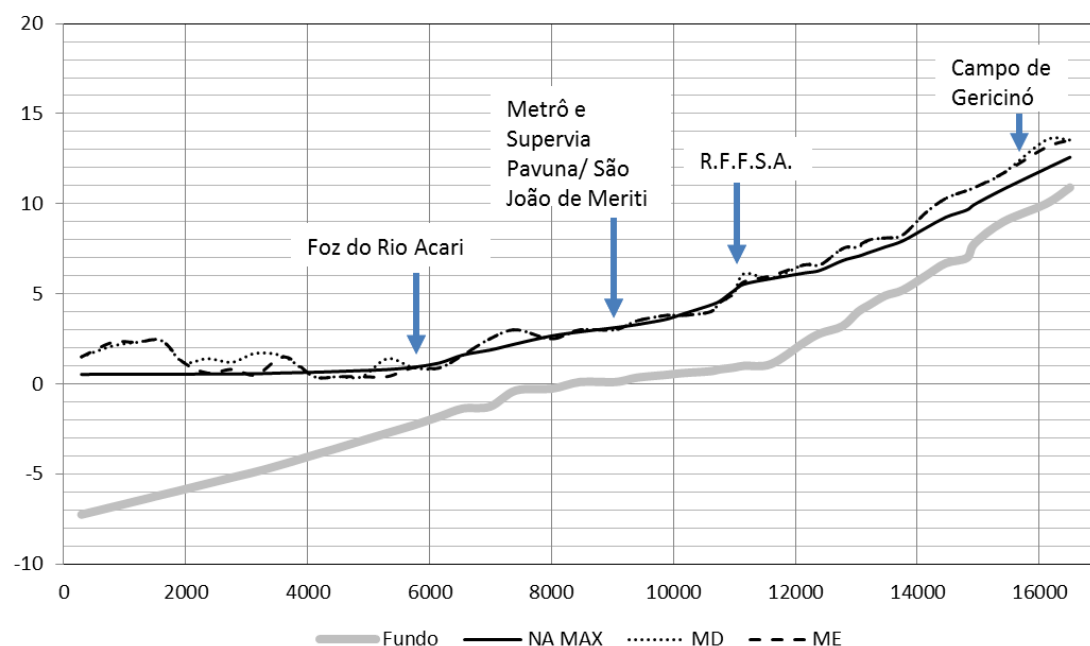


Figura 7.74: Perfil Rio Pavuna-Meriti, Cenário 3 (TR 25 anos).

Verifica-se, a partir do perfil, que a Barragem de Gericinó apresentou-se como uma ótima solução na época, tendo em vista que pontos críticos para o cenário atual, como é o caso de locais próximos à Ferrovia (SuperVia e Metrô), à foz do Rio Acari (próximo a Linha Vermelha) e próximo à Linha Férrea (R.F.F.S.A.), praticamente não extravasavam para a calha secundária em 1990 logo após a instalação da barragem, sendo o escoamento do Rio Pavuna controlado em calha para a chuva de TR 25 anos. A região a montante, que fica próximo ao Campo de Gericinó e que era a mais crítica anteriormente, também teve seu escoamento controlado em calha.

A Figura 7.75, a Figura 7.76 e a Figura 7.77 apresentam as manchas de alagamento obtidas, para os TRs de 25, 50 e 100 anos, respectivamente, para o cenário em discussão.

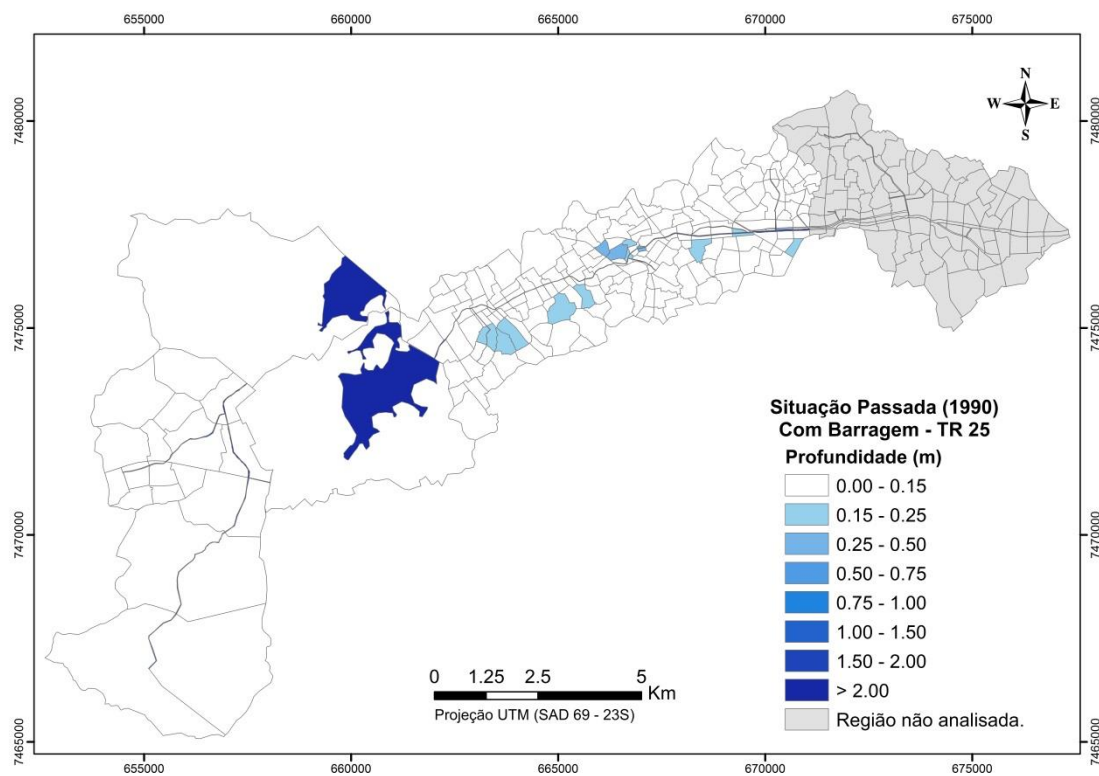


Figura 7.75: Mancha de Alagamento, Situação Passada com a Barragem (TR 25 anos).

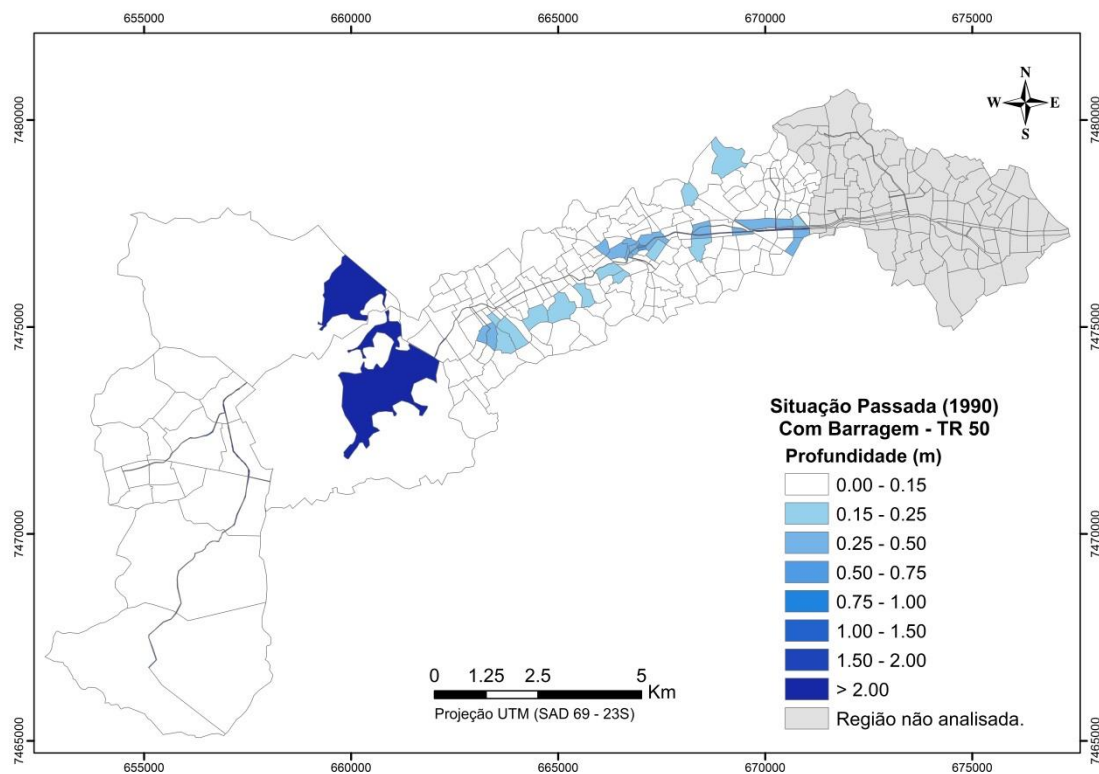


Figura 7.76: Mancha de Alagamento, Situação Passada com a Barragem (TR 50 anos).

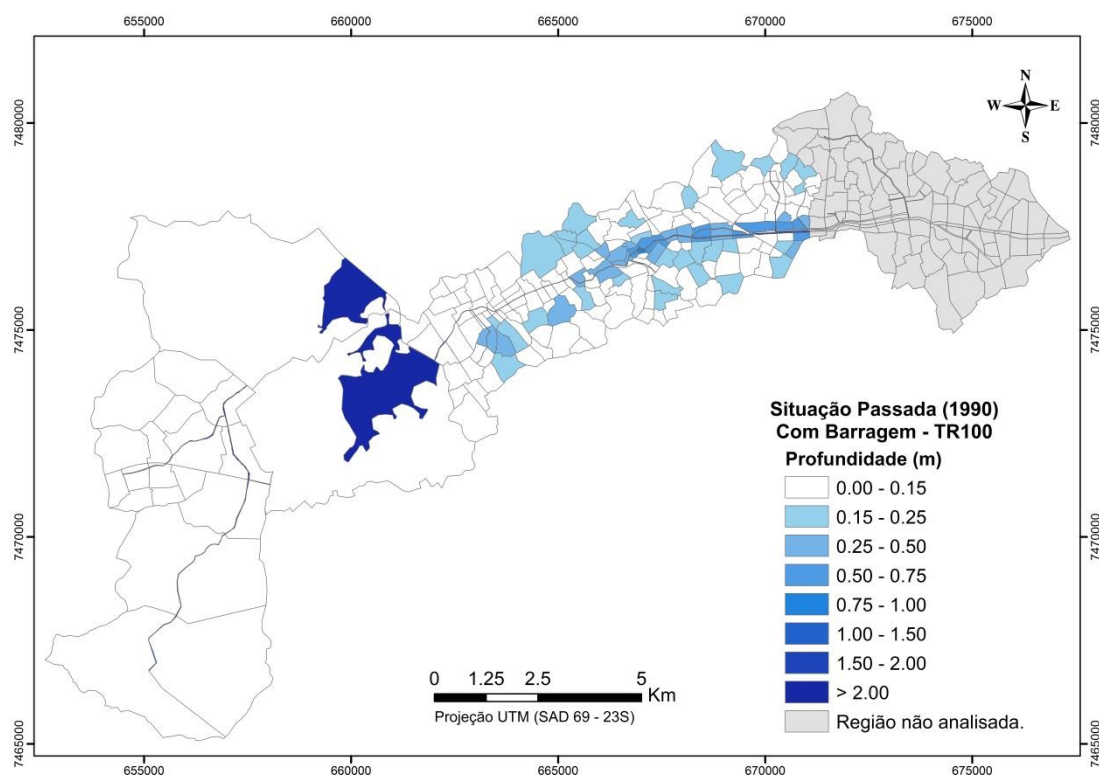


Figura 7.77: Mancha de Alagamento,-Situação Passada com a Barragem (TR 100 anos).

A partir das manchas apresentadas, é possível observar que os trechos críticos, que apresentavam alagamentos para chuvas de 25 anos de recorrência, na situação anterior à barragem, começam a apresentar extravasamentos apenas para eventos a partir de 100 anos. Dessa forma, as enchentes associadas às chuvas mais frequentes são eliminadas e os alagamentos provocados pelos eventos mais recorrentes são minimizados.

A construção da barragem foi muito eficiente, uma vez que reduziu consideravelmente as cotas de alagamento para todos os tempos de recorrência apresentados. Para TR 25, nota-se que cotas de alagamento não superam o valor de 0,36 m e para TR 50 e 100 os valores de 0,59 m e 0,84 m respectivamente.

Ademais, observa-se, que após a implantação da barragem, os alagamentos existentes para TR 25 anos e também o extravasamento que ocorre na região próxima à foz do Rio Acari concentram-se em áreas parcialmente ocupadas e, também, em áreas completamente desocupadas, nas quais existe apenas uma vegetação rasteira, conforme pode ser verificado, por exemplo, na Figura 7.78. Portanto, não eram extravasamentos que geravam prejuízos, ocupando apenas áreas verdes livres. Deve-se destacar, ainda, que a região do Rio Acari já não é, de fato, protegida pela barragem, cujo limite efetivo de atuação se dá a montante deste ponto.

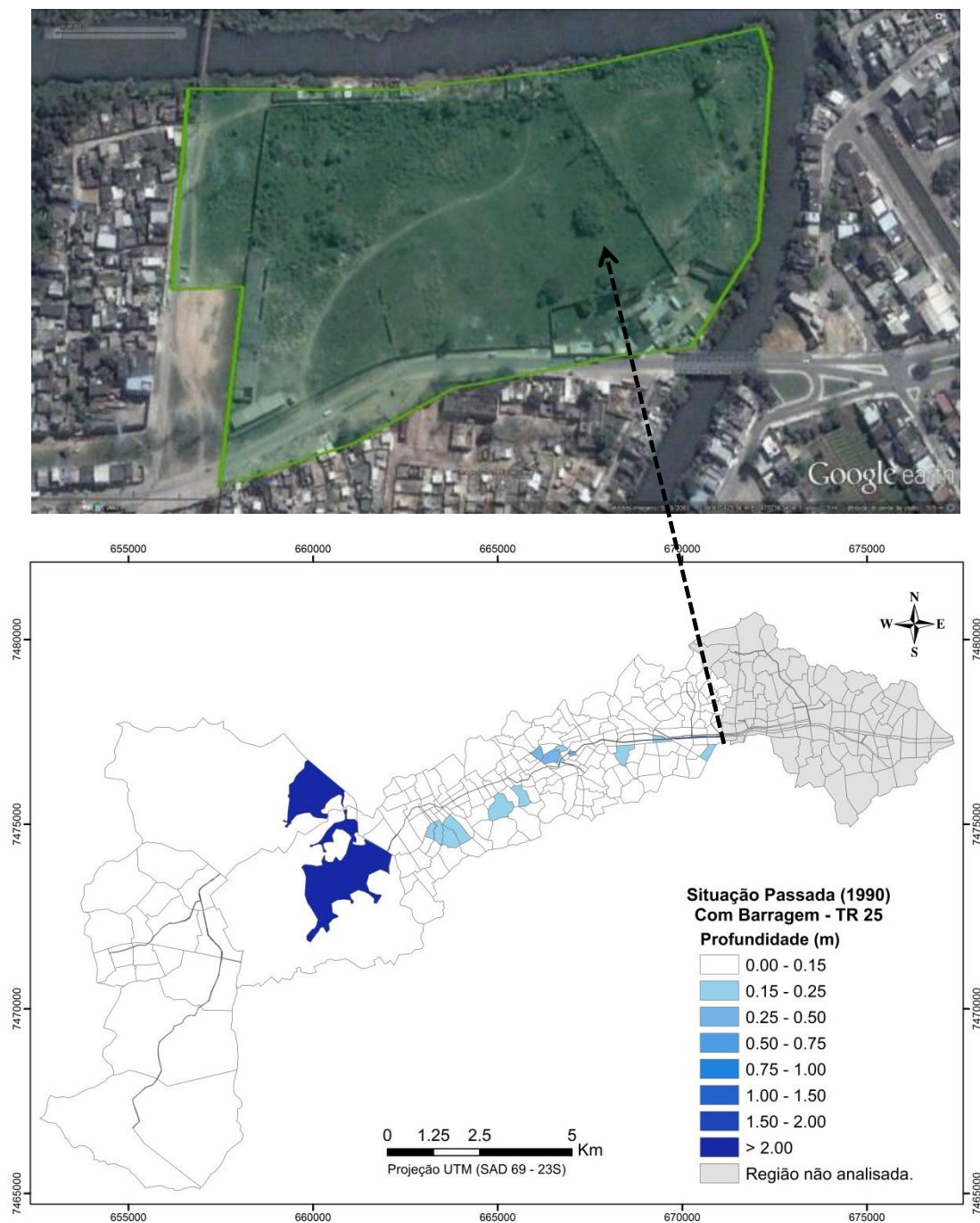


Figura 7.78: Áreas de alagamento do Rio Pavuna em 1990.

Fonte: ESRI (1990) e Google Earth (2003).

Na Figura 7.79 pode-se verificar que a principal região de alagamento, localizada a jusante da foz do Rio Acari, apresentava apenas uma vegetação rasteira no ano de 1990. Desta forma, esta região, na ocorrência de eventos críticos, funcionava como planície natural de inundação e amortecia os escoamentos nas áreas a jusante.



Figura 7.79: Área desocupada próxima a foz do Rio Pavuna em 1990.

Fonte: ESRI (1990)

Ao comparar este cenário à situação atual (cenário 1) verifica-se que não houve o devido controle na ocupação desta área, que deveria ter sido mantida como planície de inundação, uma vez que pessoas ali se instalaram e passaram a ser atingidas na ocorrência de chuvas com tempos de recorrência superiores a 25 anos. A impermeabilização do solo com estas novas ocupações contribuíram também para agravar o alagamento.

Para a mancha de alagamento para TR 50, nota-se que poucas regiões passam a extravasar, ainda assim com cotas muito baixas, não resultando em um problema de alta criticidade.

Já para a mancha de alagamento com 100 anos, observa-se que a principal concentração de alagamentos situa-se em pontos similares aos alagamentos da situação atual; no entanto, ocorrem de forma menos severa, com cotas de alagamento inferiores a da situação atual. Percebe-se, ainda, que, para este evento mais extremo, a bacia apresenta alagamentos com níveis d'água que chegam, em alguns pontos, a mais de 0,75 m. Contudo, a densidade urbana na década de 90 quando comparada à situação atual era muito menor, afetando, assim, uma menor quantidade de pessoas.

Na Figura 7.80 pode-se verificar a mudança na densidade urbana em três diferentes períodos, sendo eles 1990, 2000 e 2010, respectivamente. Com base nas imagens históricas de satélite disponíveis no ESRI, foi possível realizar uma comparação entre mudanças de uso e cobertura do solo na bacia. A partir da diferença entre a coloração

168

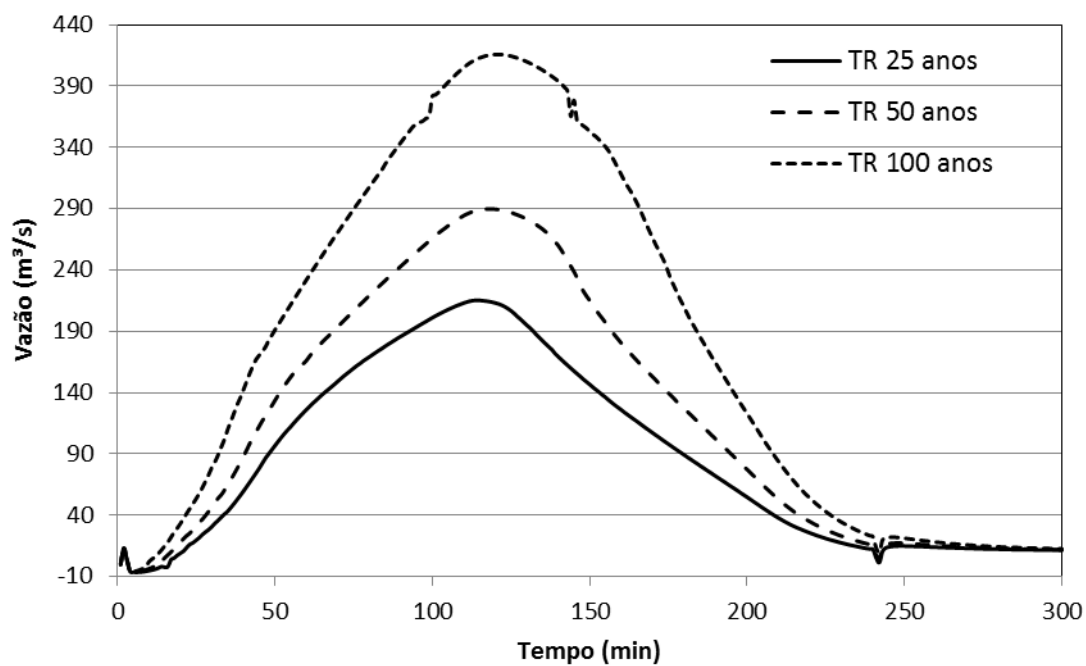


Figura 7.81: Vazões do Rio Pavuna na foz do Rio Acari, Situação Passada com Barragem (TR 25, 50 e 100 anos).

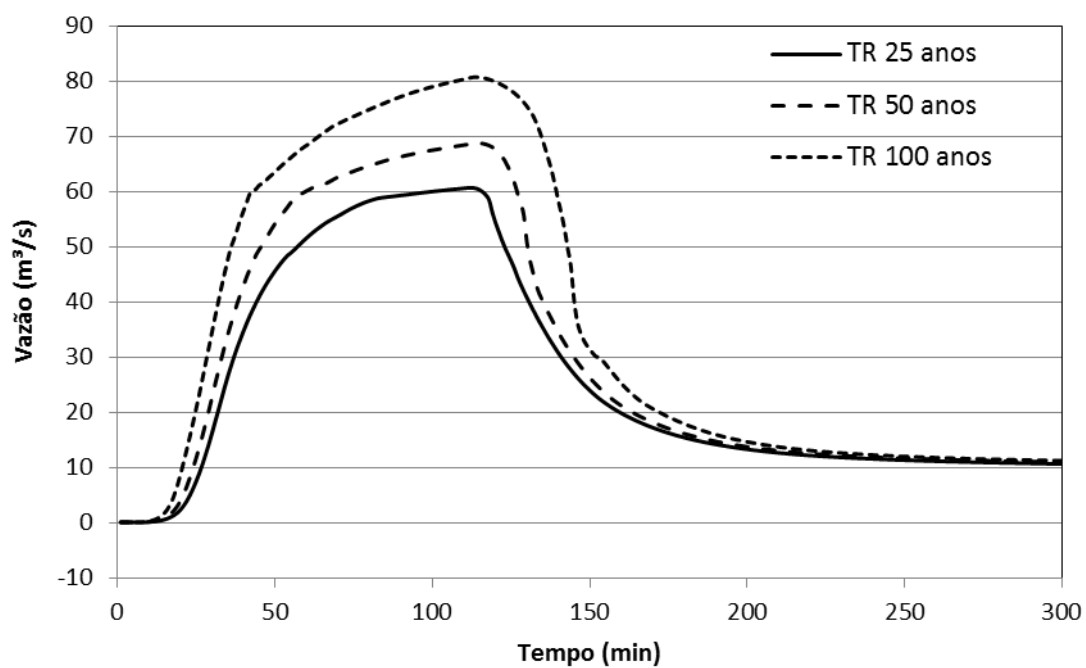


Figura 7.82: Vazões do Rio Pavuna na Estação do Metrô e Supervia, Situação Passada com Barragem (TR 25, 50 e 100 anos).

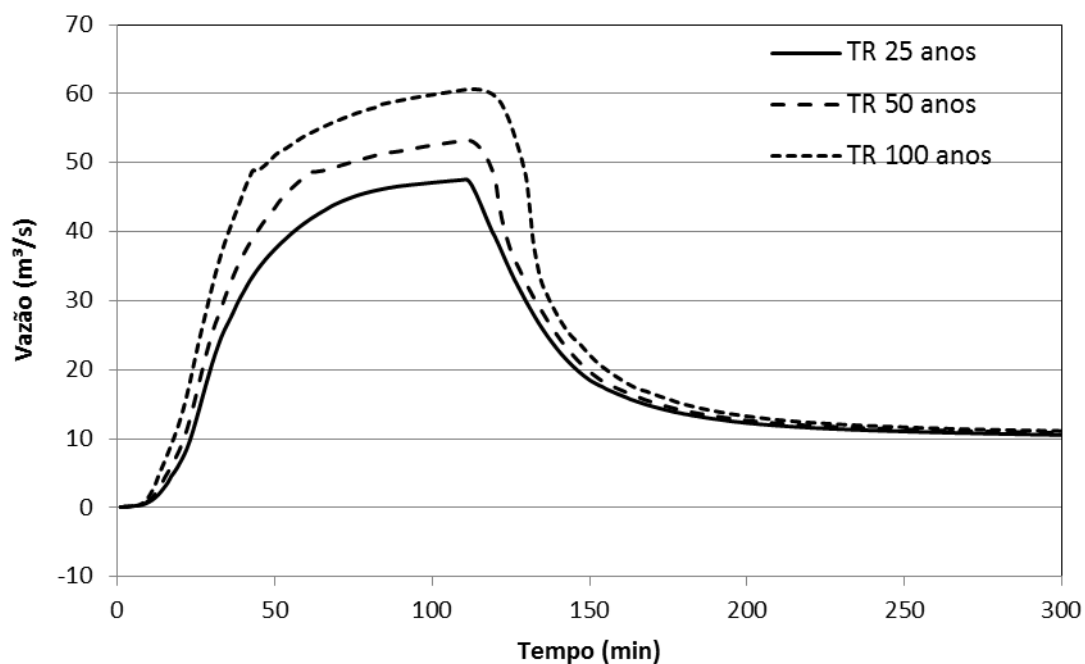


Figura 7.83: Vazões do Rio Pavuna na Linha Férrea, Situação Passada com Barragem (TR 25, 50 e 100 anos).

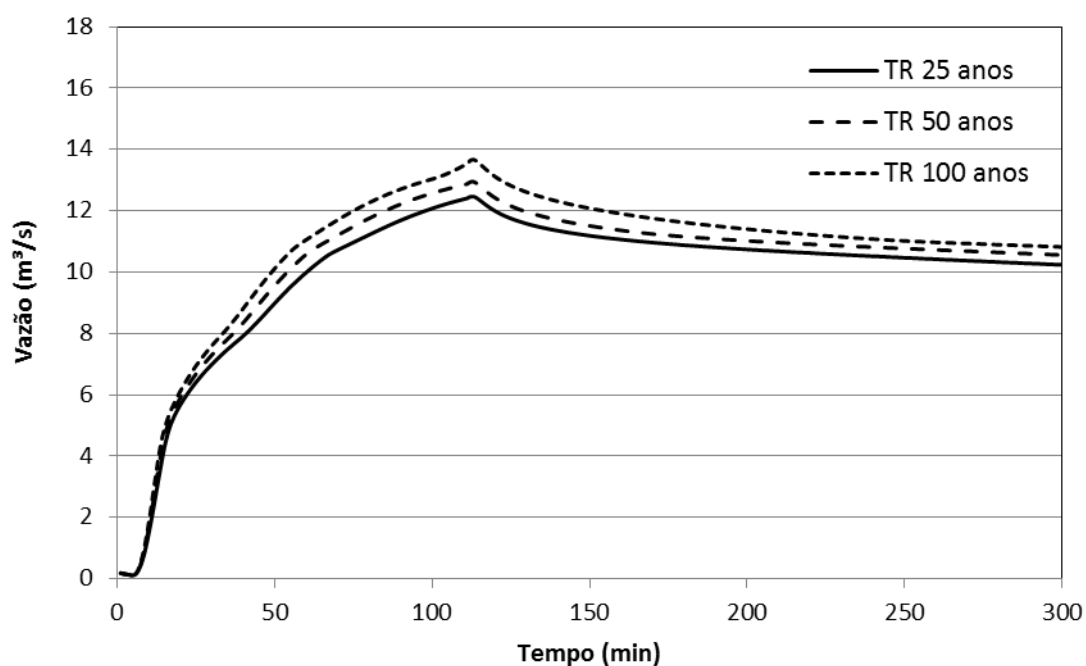


Figura 7.84: Vazões do Rio Pavuna a Jusante do Campo de Gericinó, Situação Passada com Barragem (TR 25, 50 e 100 anos).

A partir destes hidrogramas, verifica-se que a vazão na Linha Férrea em 1990 após a implantação da barragem era consideravelmente menor do que na situação atual, sendo, para as chuvas com tempos de recorrência de 25, 50 e 100 anos aproximadamente 22%, 18% e 14% menores, respectivamente. Na região do metrô e supervia, esta diferença chega a quase 23% para TR25.

A Tabela 7.13 mostra para os pontos críticos a variação na vazão máxima entre a situação atual e o cenário 3, ou seja quanto aumentou ou reduziu da situação passada 1990 com a barragem para a situação atual.

Tabela 7.13: Tabela comparativa de vazões entre os cenários 1 e 3.

Cenário 1 - Situação Atual – Vazão Máxima (m³/s)				
Localização				
TR	Foz do Rio Acari	Metrô e Supervia	Linha Férrea	Próximo ao Campo de Gericinó
25	234.1	74.31	57.87	13.6
50	306.12	82.26	63	14.36
100	436	94.21	69.14	15.5
Cenário 3 – Situação Passada com Barragem – Vazão Máxima (m³/s)				
Localização				
TR	Foz do Rio Acari	Metrô e Supervia	Linha Férrea	Próximo ao Campo de Gericinó
25	215.27	60.66	47.57	12.73
50	289.77	68.77	53.21	13.37
100	415.86	80.68	60.6	13.67
Diferença Percentual				
TR	Foz do Rio Acari	Metrô e Supervia	Linha Férrea	Próximo ao Campo de Gericinó
25	8.75%	22.50%	21.65%	6.83%
50	5.64%	19.62%	18.40%	7.40%
100	4.84%	16.77%	14.09%	13.39%

Verifica-se, a partir do quadro comparativo, que todos os picos dos hidrogramas de cheia aumentaram na situação atual em relação à situação passada com a barragem. Em situações como no caso da Linha Férrea e da Linha do Metrô, o valor da vazão máxima foi superior em cerca de 20%, na situação atual, para TR25, quando comparado ao cenário 3.

A Tabela 7.14 mostra para os pontos críticos apresentados nos hidrogramas a variação na vazão máxima entre a o cenário 2 e 3, ou seja quanto aumentou ou reduziu da situação passada 1990 sem a barragem para a situação passada 1990 com a barragem.

Tabela 7.14: Tabela comparativa de vazões entre os cenários 2 e 3.

Cenário 2 – Situação Passada sem Barragem – Vazão Máxima (m³/s)				
Localização				
TR	Foz do Rio Acari	Metrô e Supervia	Linha Férrea	Próximo ao Campo de Gericinó
25	225.22	74.45	67.08	44.1
50	295.38	79.31	78.23	45.46
100	419.91	100.13	100.22	46.21
Cenário 3 – Situação Passada com Barragem – Vazão Máxima (m³/s)				
Localização				
TR	Foz do Rio Acari	Metrô e Supervia	Linha Férrea	Próximo ao Campo de Gericinó
25	215.27	60.66	47.57	12.73
50	289.77	68.77	53.21	13.37
100	415.86	80.68	60.6	13.67
Diferença Percentual				
TR	Foz do Rio Acari	Metrô e Supervia	Linha Férrea	Próximo ao Campo de Gericinó
25	-4.42%	-18.52%	-29.08%	-71.13%
50	-1.90%	-13.29%	-31.98%	-70.59%
100	-0.96%	-19.42%	-39.53%	-70.42%

Em sequência, ao comparar o cenário passado antes e depois da barragem nota-se que a vazão amortecida alcançou patamares 70% menores na região próxima ao Campo de Gericinó, em que a vazão que alcançava o valor máximo de 44 m³/s para TR25 reduziu para 12.73 m³/s. Esta área crítica de alagamento passa a não alagar para os três diferentes tempos de recorrência simulados.

Nota-se que a vazão amortecida pela barragem, no cenário 3, ao ser comparado com o cenário 2, provê um resultado cerca de 29 % menor na Linha Férrea, para o TR de 25 anos. Já na avaliação para 100 anos, verifica-se que a vazão é cerca de 40% menor após a instalação da barragem.

Ao comparar os cenários passados com e sem barragem (cenários 2 e 3) conclui-se que a barragem mostra resultados efetivos para a calha fluvial, reduzindo consideravelmente os alagamentos a jusante provenientes do extravasamento do rio. A redução ocorre não apenas para o evento com tempo de recorrência de 25 anos, similar àquele para o qual a barragem foi dimensionada, como também para os casos com tempo de recorrência de 50 e 100 anos.

Além disso, as áreas que se mantiveram alagadas na ocorrência do evento de cheia com TR 25 anos, após a construção da barragem, funcionam efetivamente como áreas de várzea do rio, sem que os alagamentos representem um perigo à população.

Outro ponto que merece destaque nesta discussão é em relação à vazão do Rio Pavuna na foz do Rio Acari. Verifica-se que, para o cenário anterior e posterior à Barragem, esta vazão era menor que na situação atual para os três tempos de recorrência.

Da Figura 7.85 até a Figura 7.93 estão mostrados alguns locais na Bacia do Rio Pavuna que, em 1990, eram desocupados e que ao longo dos anos foram ocupados sem o adequado controle e planejamento do uso do solo, situação esta que se mantém na bacia. Esta ocupação desordenada, principalmente das margens do Rio Pavuna-Meriti, levou à situação crítica de cheias do cenário atual, que passa a prejudicar principalmente os moradores da região.

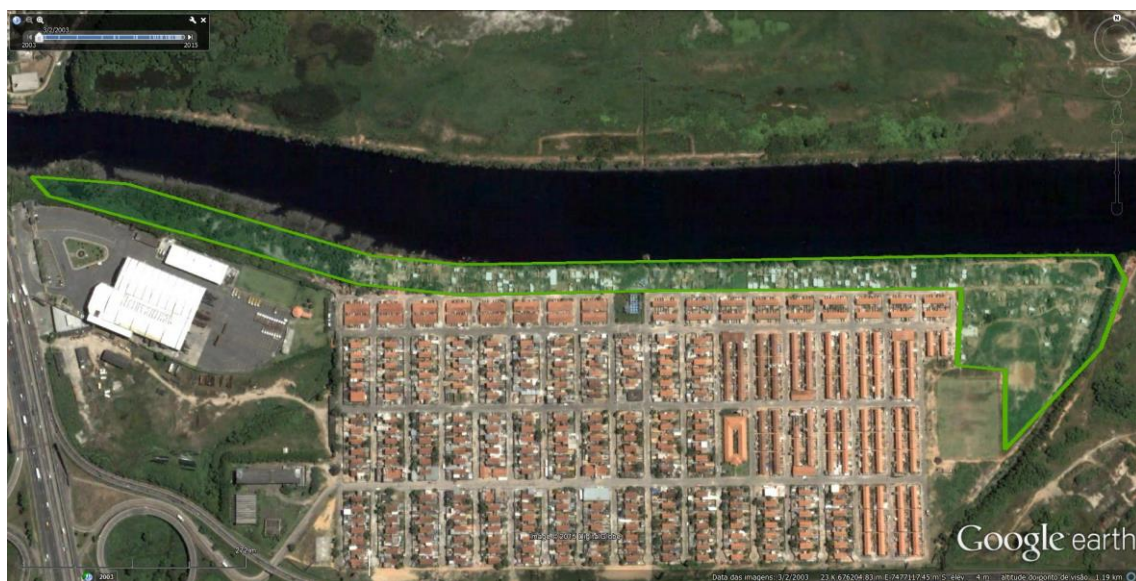


(a)



(b)

Figura 7.85: Área próximo à foz do Rio Pavuna –Meriti nos anos de 2003(a) e 2015(b) que foi ocupada ao longo dos anos.



(a)



(b)

Figura 7.86: Área próximo à foz do Rio Pavuna –Meriti nos anos de 2003(a) e 2015(b) que foi ocupada ao longo dos anos.



(a)



(b)

Figura 7.87: Área próximo à foz do Rio Pavuna –Meriti nos anos de 2003(a) e 2015(b) que foi ocupada ao longo dos anos.



(a)



(b)



(c)

Figura 7.88: Área próximo à foz do Rio Acari no Rio Pavuna –Meriti nos anos de 1990(a), 2003(b) e 2015(c) que foi ocupada ao longo dos anos.



(a)



(b)



(c)

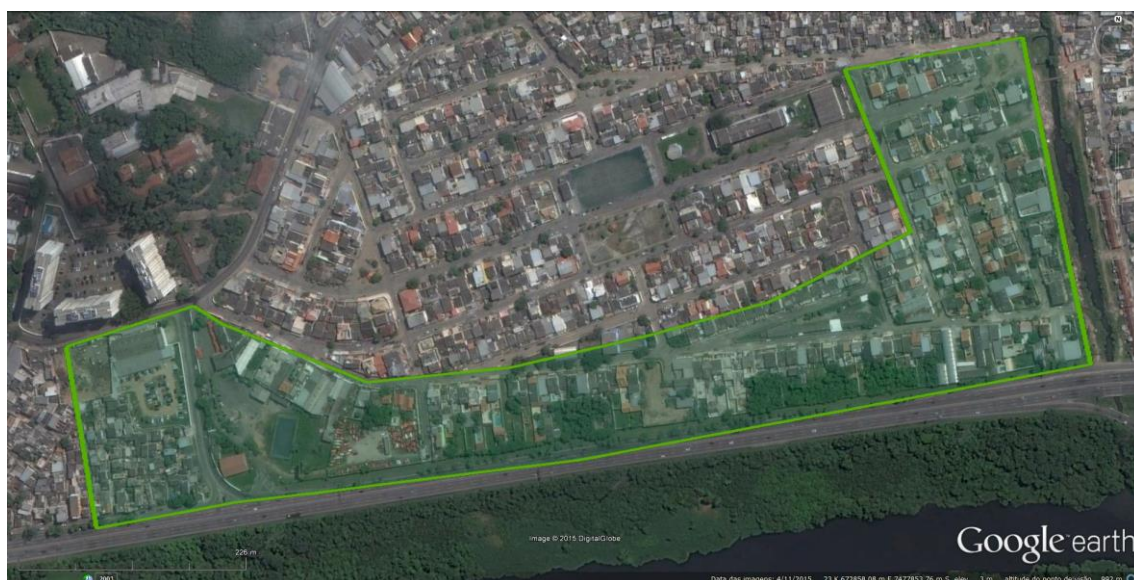
Figura 7.89: Área próximo à foz do Rio Acari no Rio Pavuna –Meriti nos anos de 1990(a), 2003(b) e 2015(c) que foi ocupada ao longo dos anos.



(a)



(b)



(c)

Figura 7.90: Área próximo à foz do Rio Acari no Rio Pavuna –Meriti nos anos de 1990(a), 2003(b) e 2015(c) que foi ocupada ao longo dos anos.

Na Figura 7.91, pode-se verificar a região de deságue do rio Acari no Rio Pavuna-Meriti. Salienta-se que esta região está implantada em uma área de várzea, em cotas muito baixas, sujeitas a fortes alagamentos, em uma região de influência da maré, que gera restrições à descarga do Rio Acari no Rio Pavuna-Meriti. Essa é uma área que, tipicamente, deveria ter sido preservada como planície de inundação do rio.



(a)



(b)

Figura 7.91: Área próximo à foz do Rio Acari no Rio Pavuna –Meriti nos anos de 2003(a) e 2015(b) que foi ocupada ao longo dos anos.



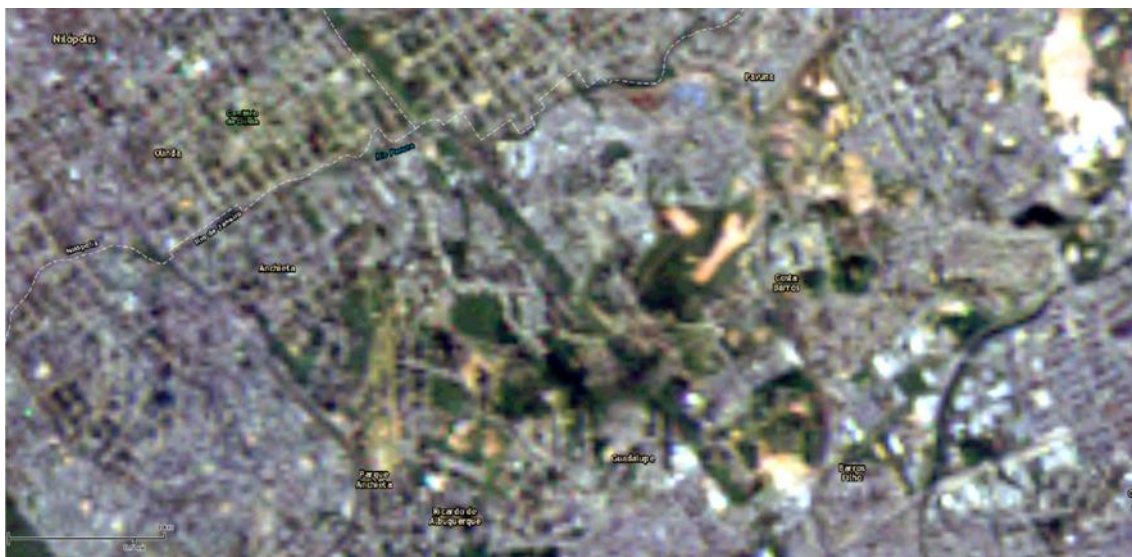
(a)



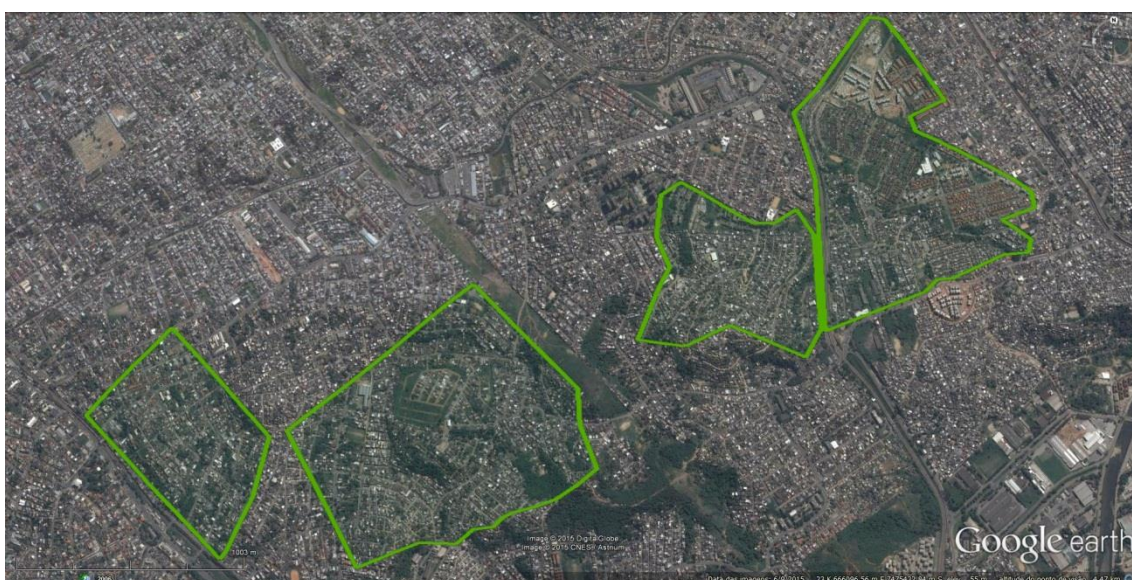
(b)

Figura 7.92: Área próximo à rodovia Presidente Dutra –Meriti nos anos de 2003(a) e 2015(b) que foi ocupada ao longo dos anos.

A Figura 7.93 mostra outras regiões na bacia, mais afastadas da calha do Rio Pavuna, e que também foram consideravelmente urbanizadas, ampliando assim a densidade da malha urbana na bacia e consequentemente contribuindo para majorar o escoamento superficial e os problemas de inundação.



(a)



(b)

Figura 7.93: Áreas na Bacia do Rio Pavuna –Meriti nos anos de 1990(a) e 2015(b) que foram ocupadas ao longo dos anos.

Estas áreas mostradas deveriam ter tido a ocupação controlada, no entanto percebe-se no decorrer dos anos a extensão da malha urbana no interior delas, o que culminou no agravamento da situação de alagamento, devido ao aumento da taxa de impermeabilização do solo e resultou também em um maior número de pessoas atingidas na ocorrência de cheias.

Assim, a bacia passou a requerer novas soluções de controle de cheias e a barragem, que era uma solução suficiente na década de 90, deixou de ser capaz de, sozinha, responder pelo controle de alagamentos a jusante.

7.5.9.4. Cenários 4 - Alternativa de Projeto

Neste cenário foi proposta a elevação do vertedor da barragem em 30 cm e também a redução do orifício para a área de 0,25 m², cujo objetivo é de reduzir as cotas de alagamento na situação atual, para os TR 25, 50 e 100 e otimizar o funcionamento da barragem.

A Figura 7.94 apresenta o perfil do Rio Pavuna para o cenário 4 com tempo de recorrência de 25 anos.

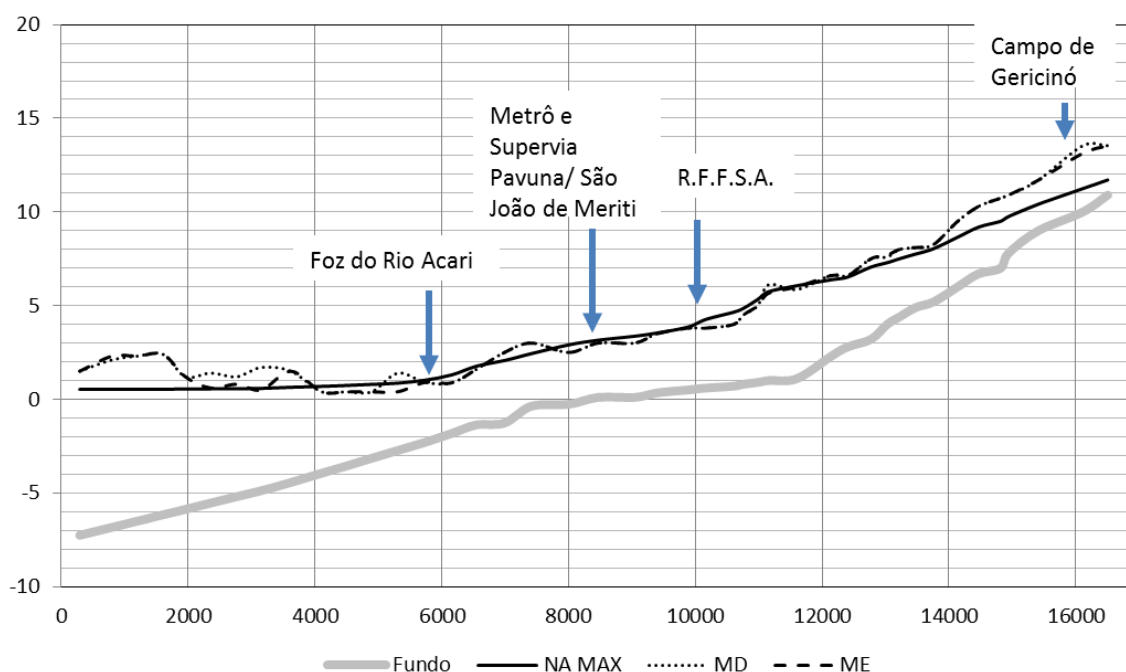


Figura 7.94: Perfil Rio Pavuna-Meriti, Cenário 4 (TR 25 anos).

A Figura 7.95, a Figura 7.96 e Figura 7.97 apresentam as manchas de alagamento obtidas, para os TRs de 25, 50 e 100 anos, respectivamente, para o cenário em discussão.

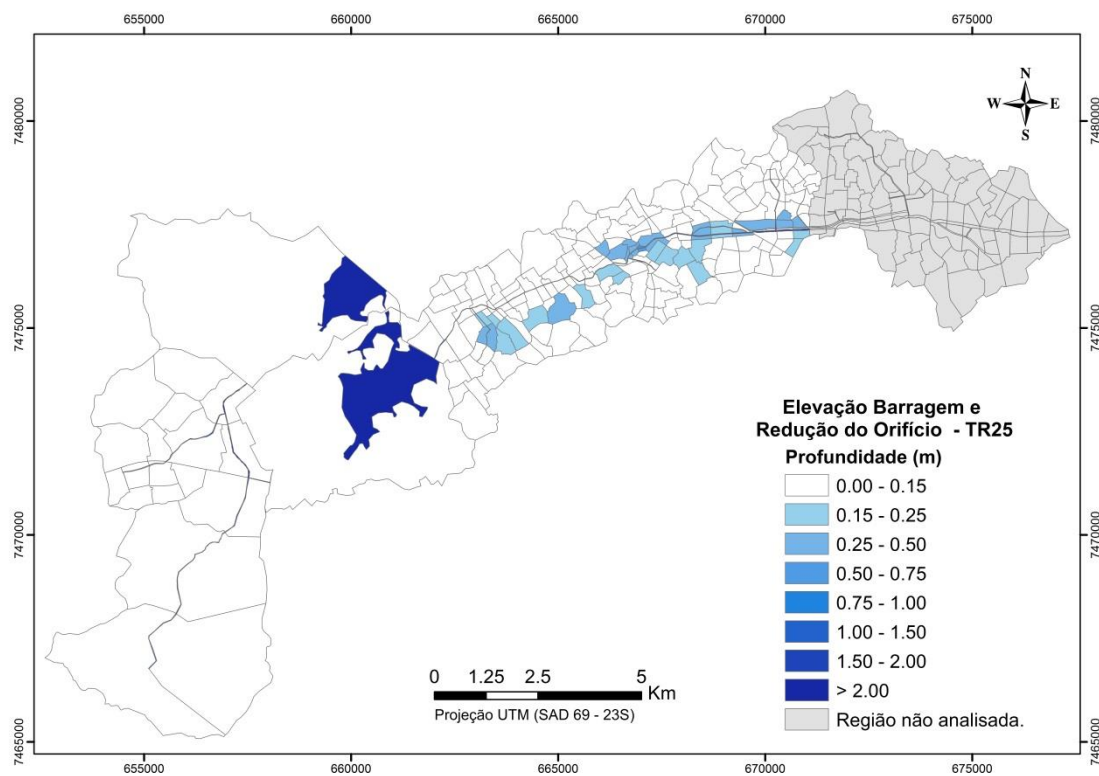


Figura 7.95: Mancha de Alagamento, Cenário 4 (TR 25 anos).

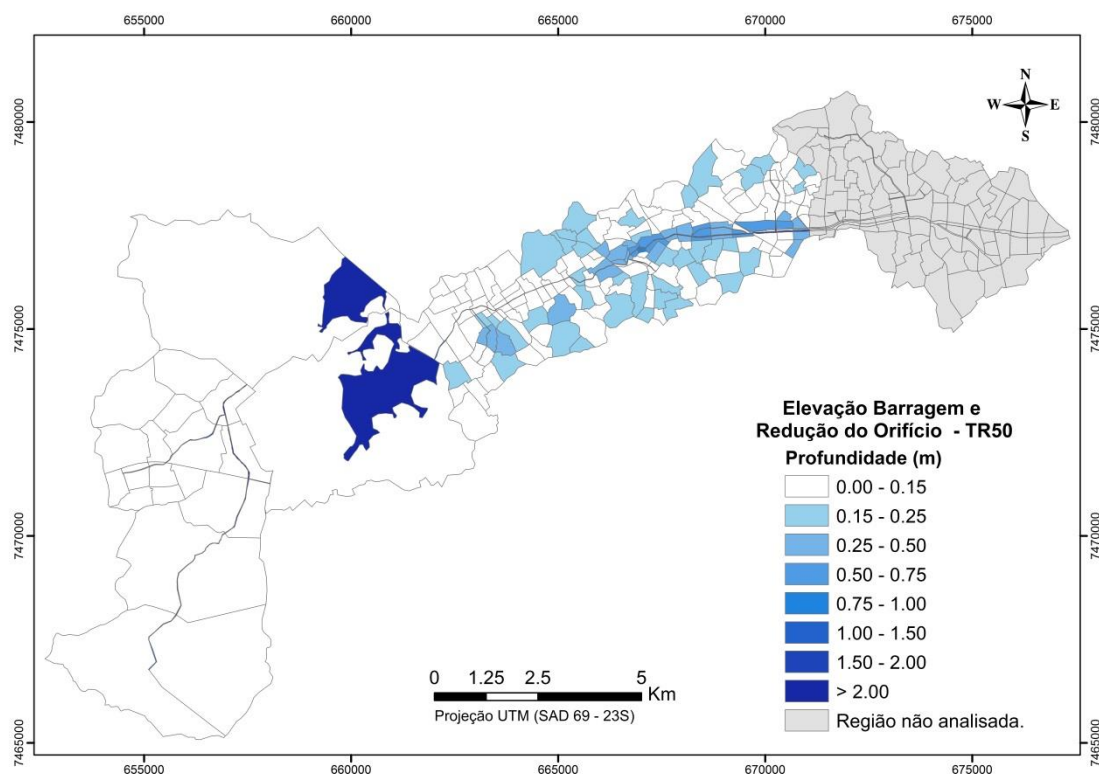


Figura 7.96: Mancha de Alagamento, Cenário 4 (TR 50 anos).

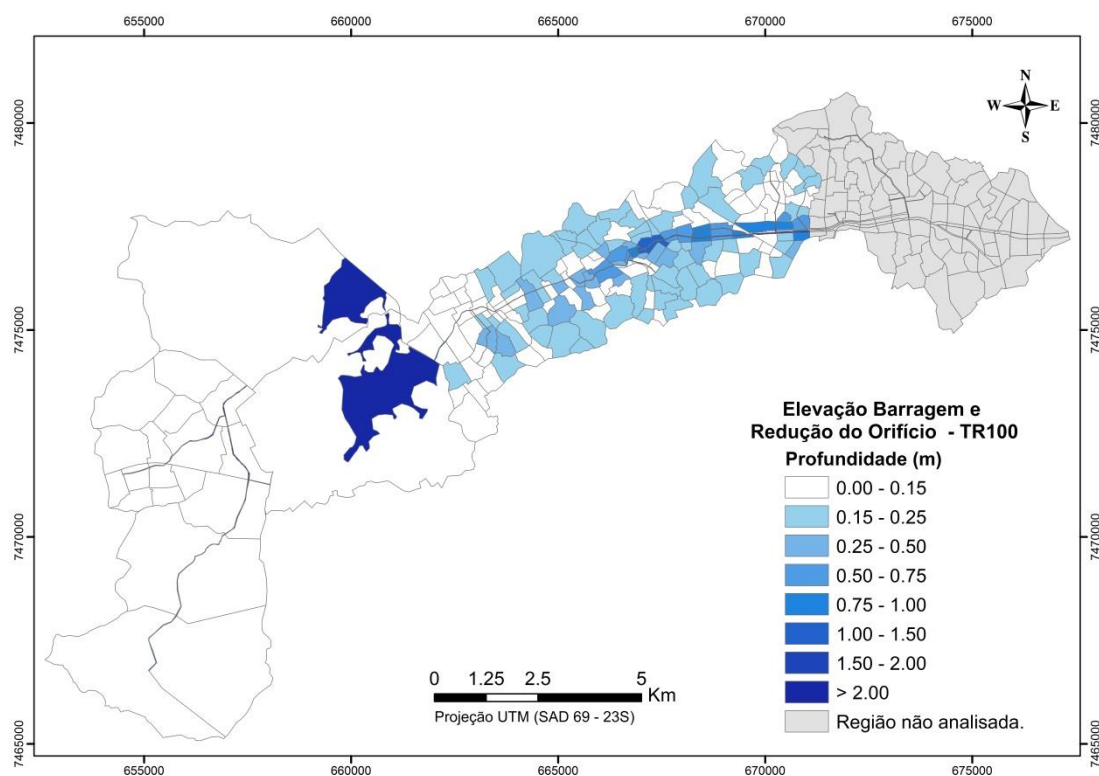


Figura 7.97: Mancha de Alagamento, Cenário 4 (TR 100 anos).

As manchas apresentadas tiveram resultados bem similares aos da situação atual, no entanto, com algumas pequenas mudanças ao longo das margens em regiões mais próximas ao Campo de Gericinó para 50 e 100 e da Linha Férrea principalmente para TR25.

Em comparação com a situação atual, verifica-se que houve a redução em 0,18 m na cota de alagamento máxima em pontos próximos a Linha Férrea para TR25, já para TR50, verifica-se a redução máxima de 0,30 m em regiões entre o Campo de Gericinó e a Linha Férrea e para TR 100 a redução foi de 0,22 m nesta mesma área.

A partir das manchas apresentadas, é possível observar que os trechos que se apresentavam críticos na situação atual, continuam sendo críticos com a solução implantada, uma vez que a região ainda possui alagamentos ao longo da faixa fluvial que chegam a 0,64 m para TR25, 0,85 m para TR50 e 1,14 m para TR100. É importante destacar que estes alagamentos são decorrentes da urbanização que ocorreu de forma descontrolada na bacia ao longo dos anos, aumentando o escoamento superficial na região, e não devido ao volume excedente que verte na barragem.

Assim, pode-se dizer que a elevação da barragem em 30 cm juntamente com a redução do orifício de fundo para a área de 0,25 m² se mostrou capaz de reduzir parte das cotas de alagamento, principalmente para eventos mais críticos de cheia, como é o caso de TR 50 e TR 100, porém, sem ser decisivo para o controle de jusante. Esse resultado era esperado em função das observações anteriores que já mostravam que a falta de controle de uso do solo e a densificação da urbanização eram fatores importantes no agravamento dos alagamentos.

Destaca-se ainda, que mesmo nos casos em que a cota de alagamento do reservatório supera a cota do vertedor da barragem, de 19 m, como acontece para TR 50 e 100, o volume excedente vertido não consiste em um fator determinante dos alagamentos da região de jusante, uma vez que área do espelho d'água do reservatório ainda permite um certo amortecimento, mesmo com vertimento.

A busca de otimização de uso do reservatório, com a elevação da cota de vertimento e redução do seu orifício de descarga, porém, abre um campo interessante a ser explorado (em trabalhos futuros) referente ao ganho de proteção associado a chuvas isoladas em cada uma das bacias, do Rio Sarapuí e do Rio Pavuna. A elevação do vertedouro facilita a comunicação entre os reservatórios, o que pode ser um fator útil quando a chuva for mais intensa em uma bacia e mais leve na outra, aumentando o volume disponível pelo compartilhamento destes reservatórios.

A Tabela 7.15 mostra para os pontos críticos a variação na vazão máxima entre a situação atual e o cenário 4, ou seja quanto aumentou ou reduziu do cenário1 para o cenário 4.

Tabela 7.15: Tabela comparativa de vazões entre os cenários 1 e 4.

Cenário 1 - Situação Atual – Vazão Máxima (m³/s)				
Localização				
TR	Foz do Rio Acari	Metrô e Supervia	Linha Férrea	Próximo ao Campo de Gericinó
25	234.1	74.31	57.87	13.6
50	306.12	82.26	63	14.36
100	436	94.21	69.14	15.50
Cenário 4 – Situação Atual com Elevação da Barragem – Vazão Máxima (m³/s)				
Localização				
TR	Foz do Rio Acari	Metrô e Supervia	Linha Férrea	Próximo ao Campo de Gericinó
25	230.08	69.33	51.89	4.57
50	305.16	79.01	58.17	5.07
100	434.66	91.93	65.47	5.37
Diferença Percentual				
TR	Foz do Rio Acari	Metrô e Supervia	Linha Férrea	Próximo ao Campo de Gericinó
25	-1.72%	-6.70%	-10.33%	-66.40%
50	-0.31%	-3.95%	-7.67%	-64.69%
100	-0.31%	-2.42%	-5.31%	-65.35%

A partir deste quadro comparativo, é possível verificar que a região próxima à Linha Férrea, que teve a maior redução no que diz respeito às cotas de alagamento para TR25, conforme mencionado anteriormente, apresentou amortecimento no hidrograma de aproximadamente 10%.

Em sequência, ao comparar a situação atual com o cenário 4, nota-se que a vazão amortecida alcançou patamares aproximadamente 65% menores na região próxima ao Campo de Gericinó para os 3 tempos de recorrência. Este amortecimento no hidrograma ocorreu, principalmente, devido à redução da área do orifício de fundo da barragem. Além disso, salienta-se que essa redução não é tão expressiva na mancha de alagamento, uma vez que a implantação da barragem passou a proteger esta região próxima ao Campo de Gericinó de forma efetiva mesmo para a situação atual.

A Figura 7.98 apresenta as vazões na foz com o Rio Acari no cenário 4, para TR 25, 50 e 100 anos. A Figura 7.99 apresenta as vazões na região de montante da estação da ferrovia (metrô e supervia), para os mesmos tempos de recorrência, enquanto a Figura 7.100 e a Figura 7.101 apresentam as vazões próximo a Linha Férrea e na região a jusante do Campo de Gericinó, também para os mesmos tempos de recorrência.

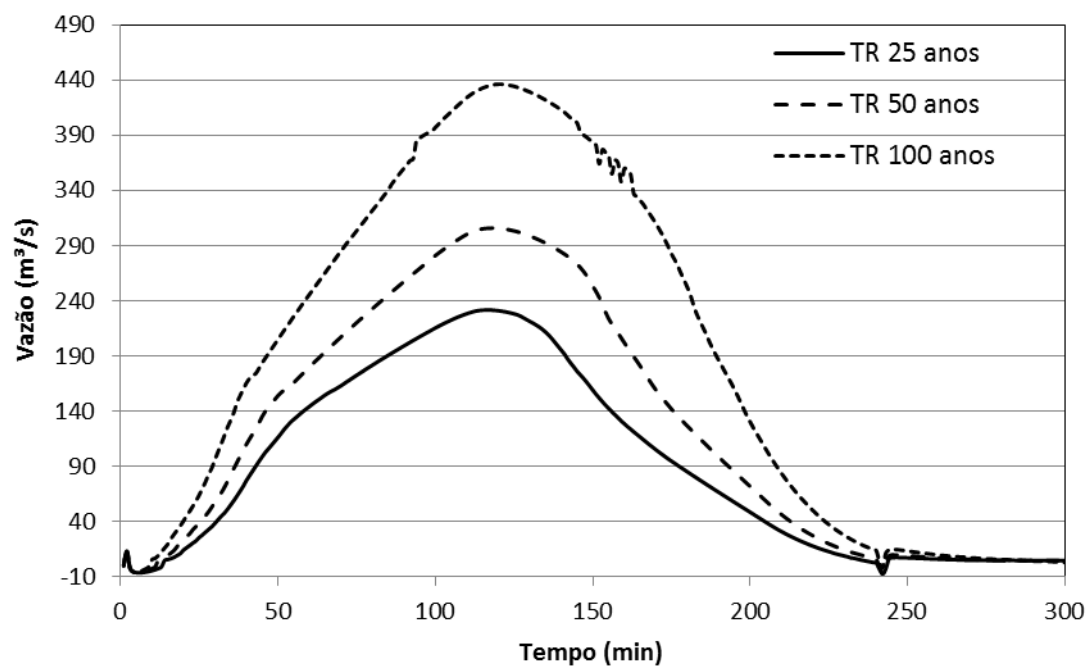


Figura 7.98: Vazões do Rio Pavuna na foz do Rio Acari, Cenário 4 (TR 25, 50 e 100 anos).

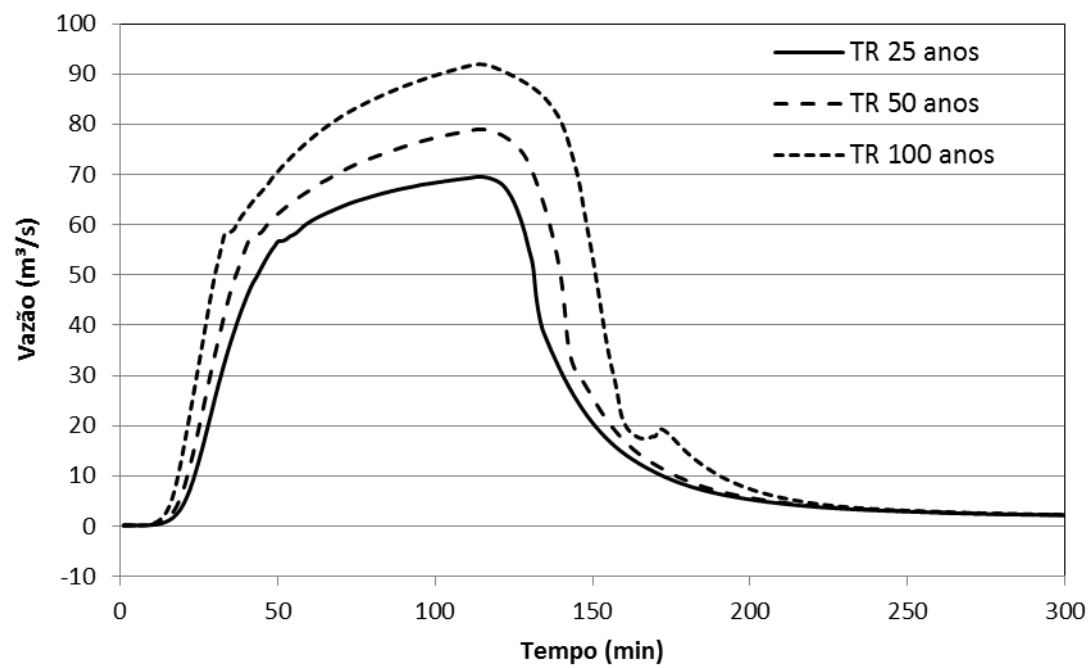


Figura 7.99: Vazões do Rio Pavuna na Estação do Metrô e Supervia, Cenário 4 (TR 25, 50 e 100 anos).

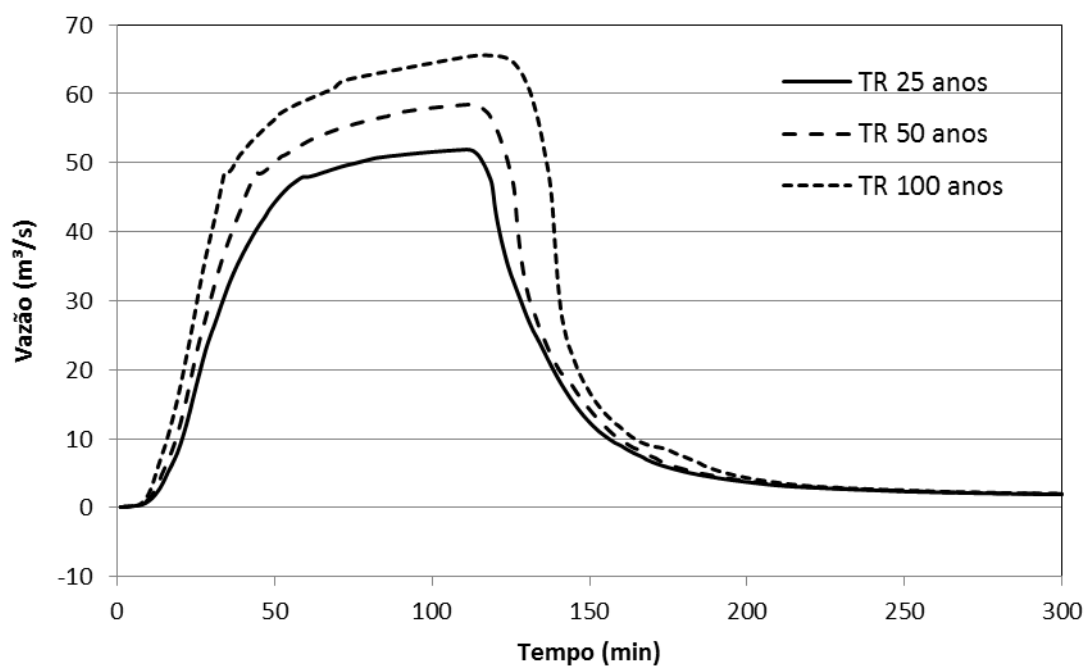


Figura 7.100: Vazões do Rio Pavuna na Linha Férrea, Cenário 4 (TR 25, 50 e 100 anos).

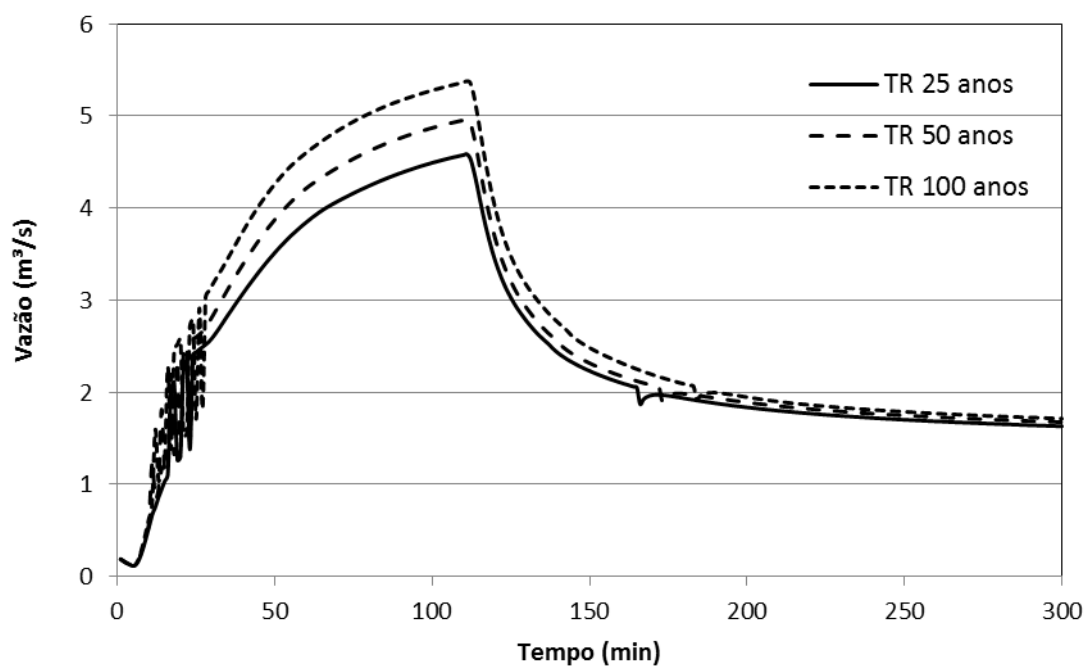


Figura 7.101: Vazões do Rio Pavuna a Jusante do Campo de Gericinó, Cenário 4 (TR 25, 50 e 100 anos).

Pode-se concluir que a barragem ainda funciona no controle da bacia de montante, e a urbanização gerou condições de risco que mantém a inundação como problema a jusante.

7.7. Aplicação da Metodologia de Análise de Risco

7.7.1. Compatibilização dos Setores

Conforme mencionado anteriormente, para o cálculo da densidade de domicílios em 1990, foi considerado que entre 1990 e 2000 a proporção de crescimento de domicílios foi a mesma que ocorreu entre 2000 e 2010. Para isso, foi preciso considerar os dados do Censo do IBGE (densidade de domicílio) em 2010 e 2000.

Inicialmente, para aplicação da metodologia proposta no item 7.4.2, a fim de definir a densidade de domicílios em cada célula, foi necessário realizar a compatibilização entre a área dividida em células com os setores censitários, uma vez que cada célula intercepta um ou mais setores.

Para a compatibilização do censo de 2010 e de 2000 com as células da modelagem, foi utilizado como ferramenta o *software* de informação geográfica ArcGIS, que possibilitou a sobreposição das áreas de cada célula com as áreas dos setores censitários, informando assim, a parcela de cada setor existente dentro de cada célula.

A Figura 7.102 mostra, como exemplo, a sobreposição da malha do censo de 2010 com a divisão de células da Bacia do Rio Pavuna.

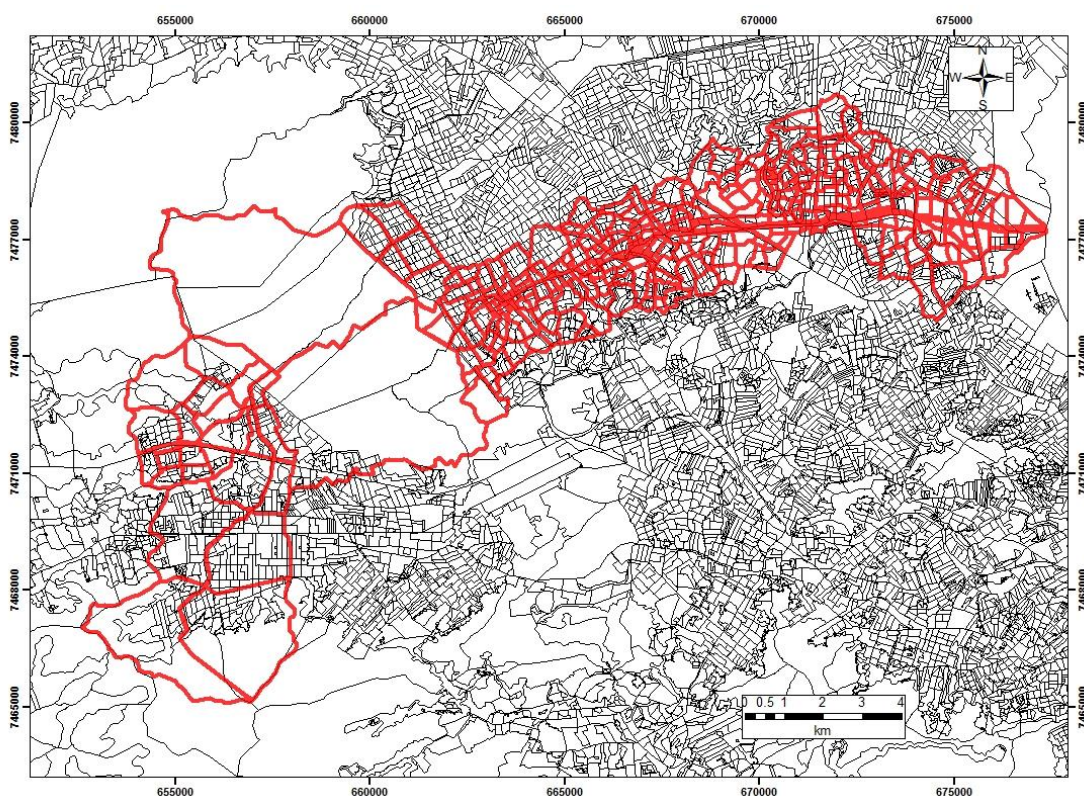


Figura 7.102: Compatibilização das células com os setores censitários de 2010.

7.7.2. Análise do Risco

A avaliação do Risco, neste trabalho, teve como objetivo expandir a discussão sobre a criticidade de alagamentos, para considerar também a combinação de aspectos sociais da Bacia.

Para aplicação da metodologia proposta no item 7.4.2, além das informações dos censos do IBGE de 2000 e 2010 para o cálculo da densidade de domicílios, outras fontes de dados consistiram nos resultados de simulação de cheias realizada com o auxílio do MODCEL, considerando os tempos de recorrência de 25, 50 e 100 anos.

Após o cálculo da densidade de domicílios em cada célula para os anos de 1990 e 2010 é possível verificar, a partir dos mapas apresentados na Figura 7.103 e na Figura 7.104, a densidade média de casas em cada célula.

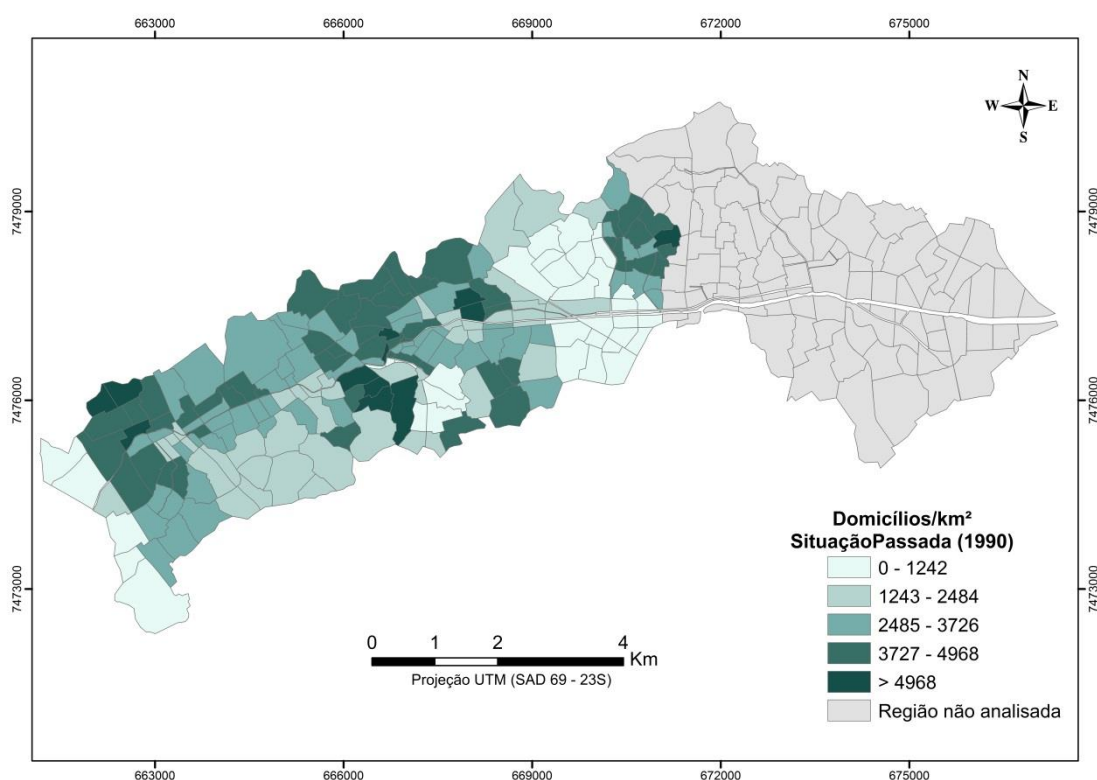


Figura 7.103: Densidade de Domicílios em 1990.

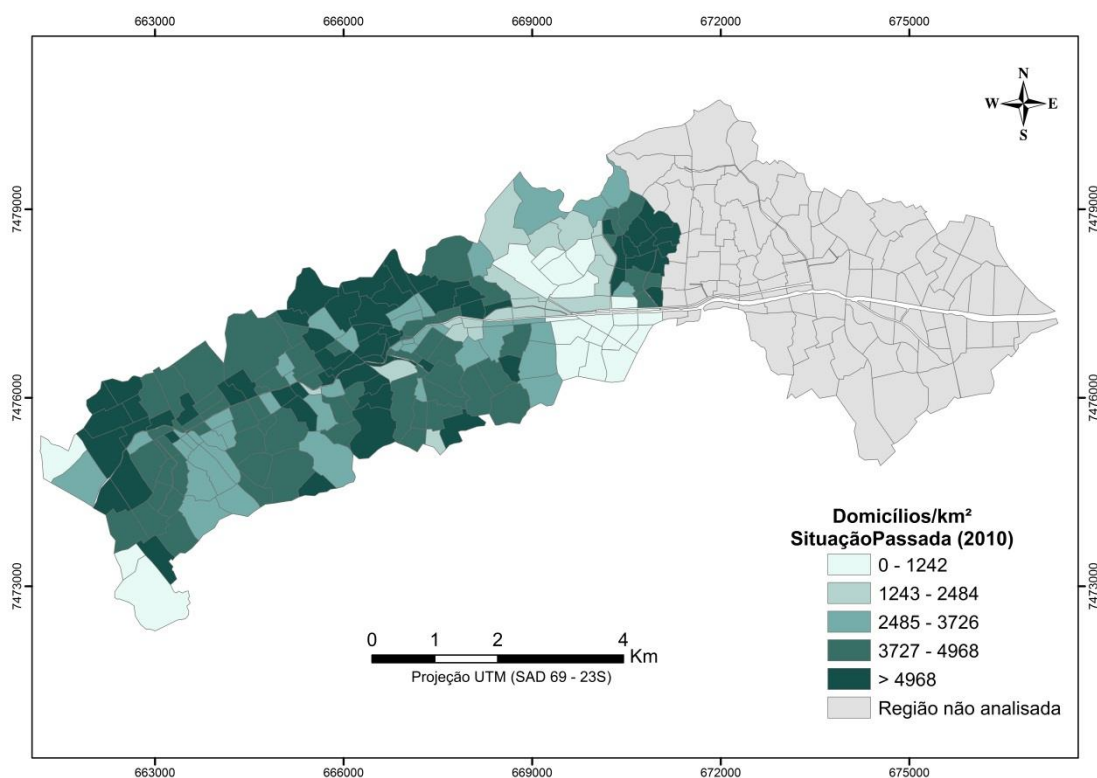


Figura 7.104: Densidade de Domicílios em 2010.

No geral, nota-se que, em 1990, a densidade de casas na região a jusante da barragem era expressivamente inferior do que na situação atual, indicando assim um acréscimo considerável na impermeabilização da bacia como um todo nos dias de hoje.

O efeito desta expansão urbana desordenada resultou em novas áreas alagadas, conforme mencionado no capítulo anterior, ao longo de toda a bacia e no aumento do pico de cheias do hidrograma atual.

Nota-se que a região imediatamente a jusante da barragem foi uma região intensamente ocupada durante estas duas décadas. Isto se justifica, provavelmente pela implantação da barragem, que eliminou por completo o alagamento nesta área, não apenas para eventos de chuva com TR25, como também para eventos mais extremos como é o caso de TR50 e parcialmente para TR100. Em contraste, as regiões mais próximas à foz do Rio Pavuna-Meriti não apresentaram índices tão elevados de adensamento populacional, uma vez que estas regiões mais baixas estão sujeitas a alagamentos frequentes e não foram cobertos pelos efeitos positivos da barragem.

Sabe-se que a exposição é a extensão na qual pessoas e propriedades estão posicionadas em áreas de inundação. Estes mapas apresentados na Figura 7.103 e na

Figura 7.104, quando combinados com os mapas de alagamento, resultam nos mapas de risco.

A fim de comparar o risco de cheias entre os diferentes cenários modelados, foram elaborados mapas de risco. Estes mapas são o resultado da aplicação da metodologia proposta no item 7.4.2, que se resume basicamente ao produto entre a densidade de domicílios em cada célula e a cota máxima de alagamento alcançada nesta célula durante a modelagem de um determinado cenário, divididos respectivamente por valores absolutos de referência.

A metodologia proposta foi aplicada para todos os cenários apresentados anteriormente. Além disso, a aplicação foi realizada apenas na região a jusante da barragem, que é a principal área de interesse deste estudo.

As parcelas (individualmente) do Risco devem ter valores menores ou iguais a 1. Para melhor compreensão, o Risco foi dividido em quatro classes, podendo corresponder a Risco Alto (0.75-1.00), Médio Alto (0.50-0.75), Médio Baixo (0.25-0.50) e Baixo (0-0.25). As figuras a seguir (Figura 7.105 à Figura 7.116) apresentam todos os mapas de risco elaborados, para os cenários considerados.

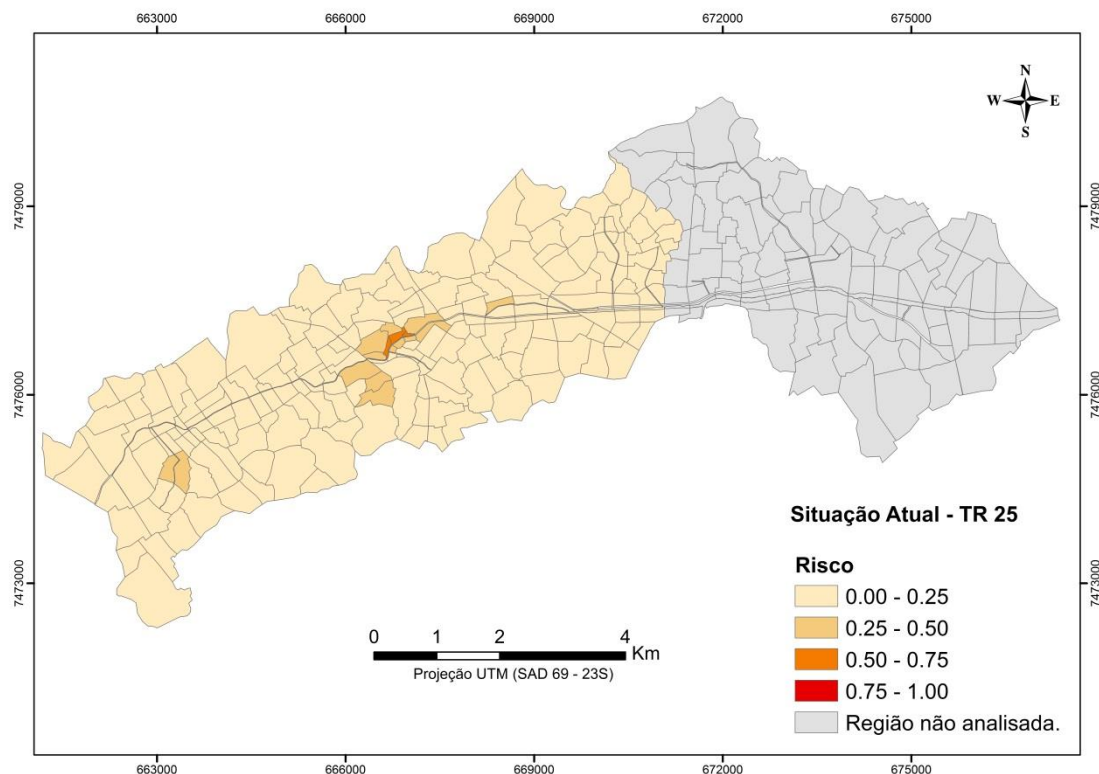


Figura 7.105: Mapa de risco, Situação Atual (TR 25 anos).

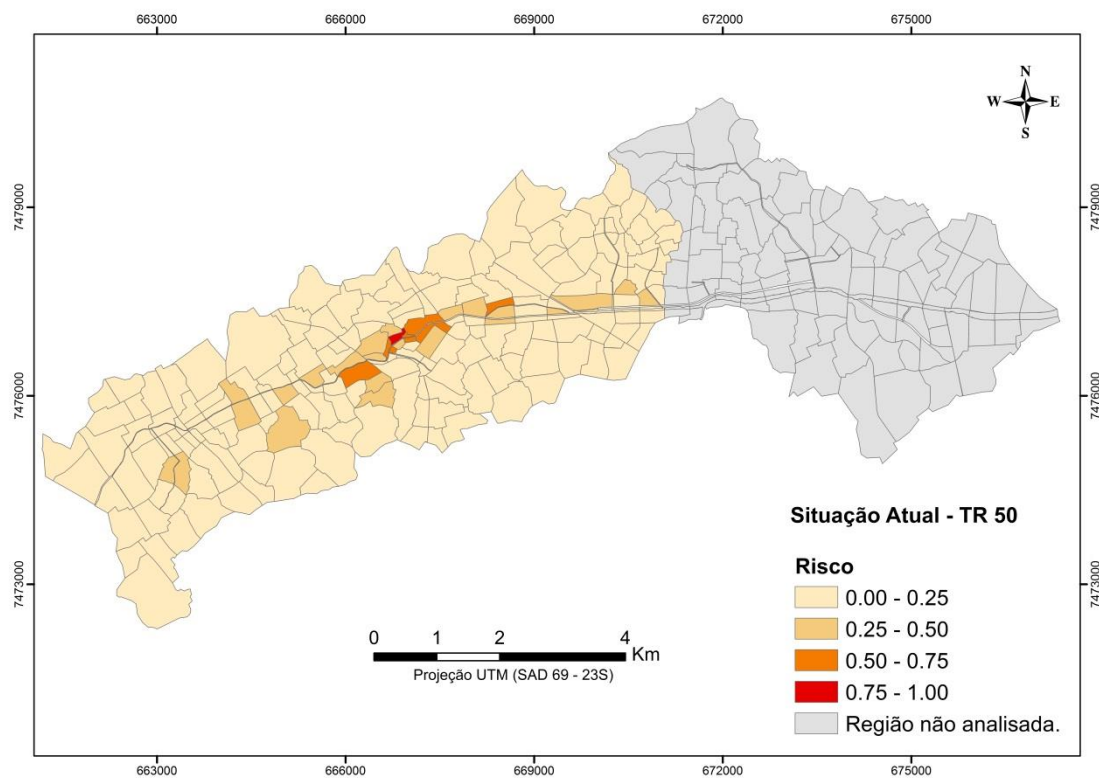


Figura 7.106: Mapa de risco, Situação Atual (TR 50 anos).

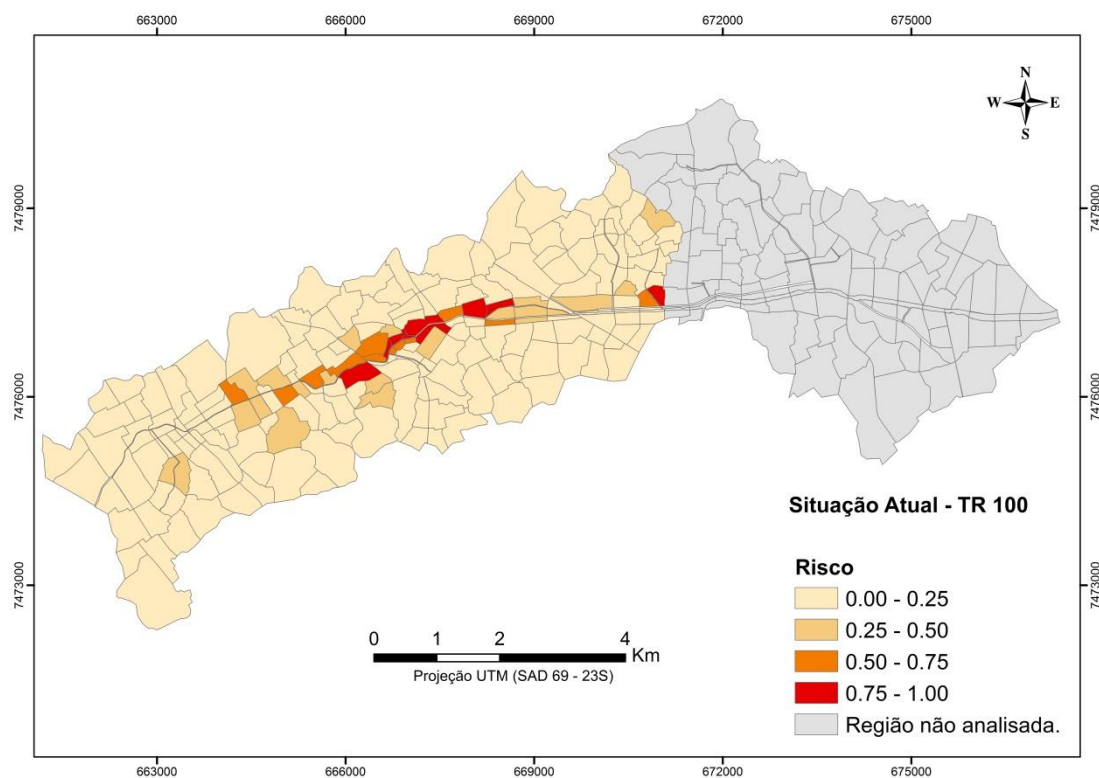


Figura 7.107: Mapa de risco, Situação Atual (TR 100 anos).

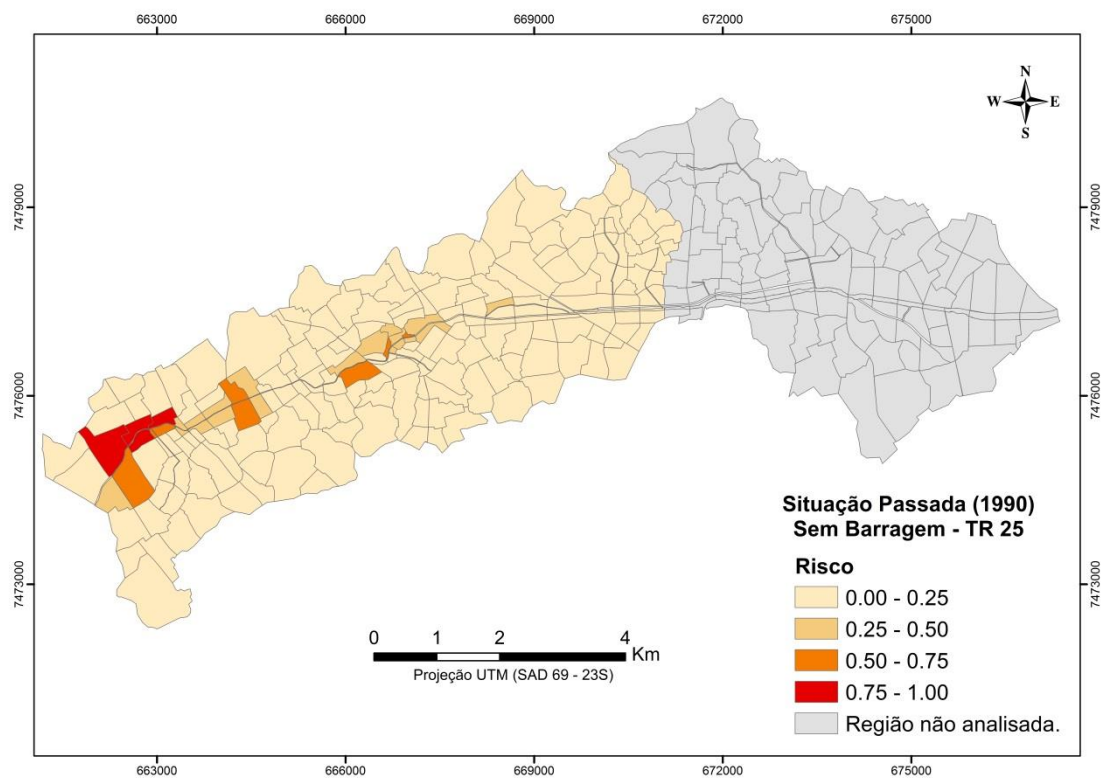


Figura 7.108: Mapa de risco, Situação Passada sem Barragem (TR 25 anos).

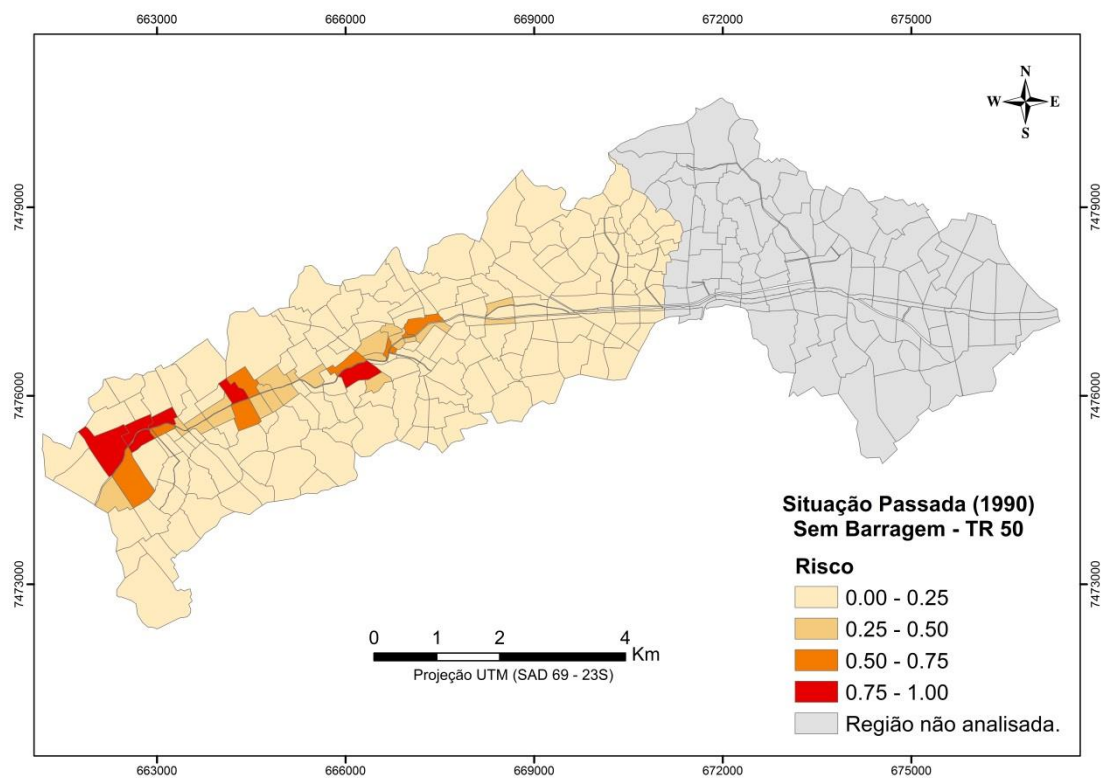


Figura 7.109: Mapa de risco, Situação Passada sem Barragem (TR 50 anos).

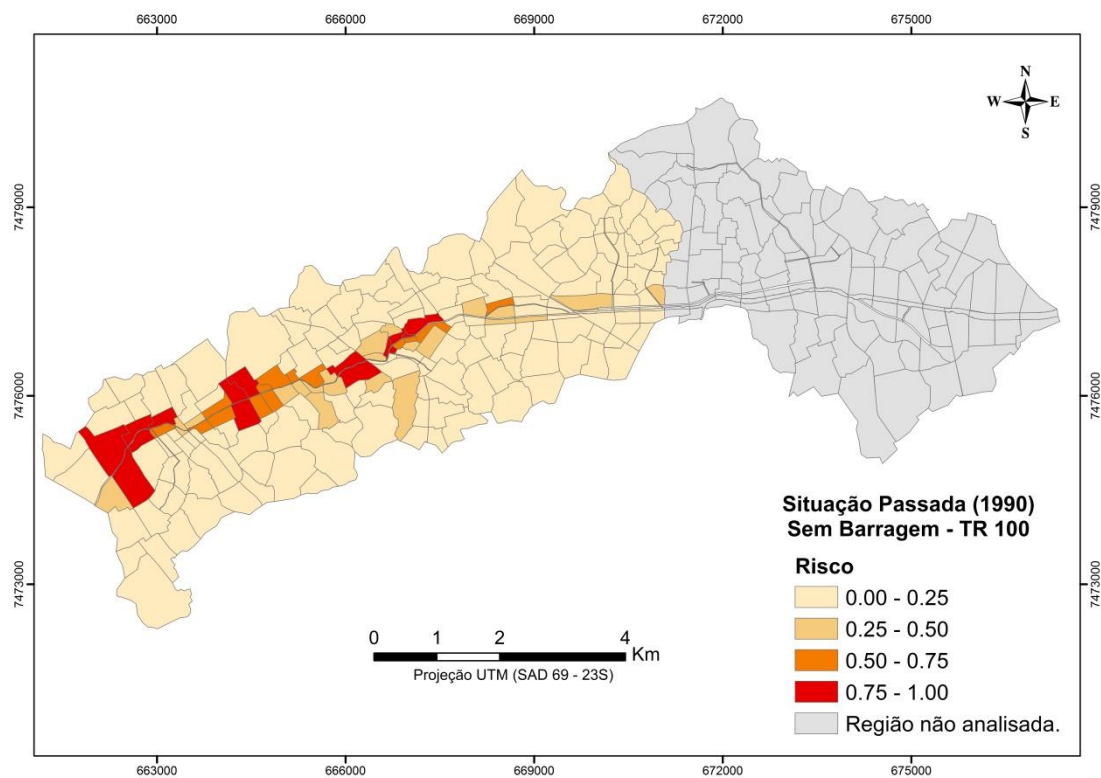


Figura 7.110: Mapa de risco, Situação Passada sem Barragem (TR 100 anos).

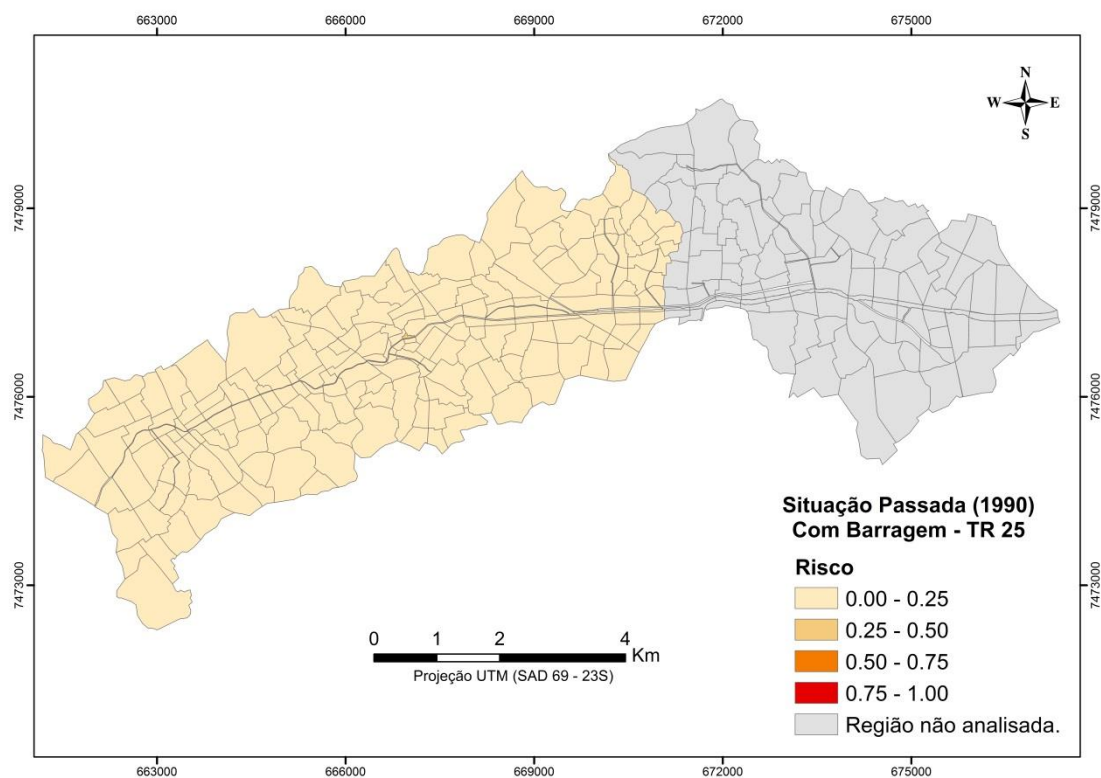


Figura 7.111: Mapa de risco, Situação Passada com Barragem (TR 25 anos).

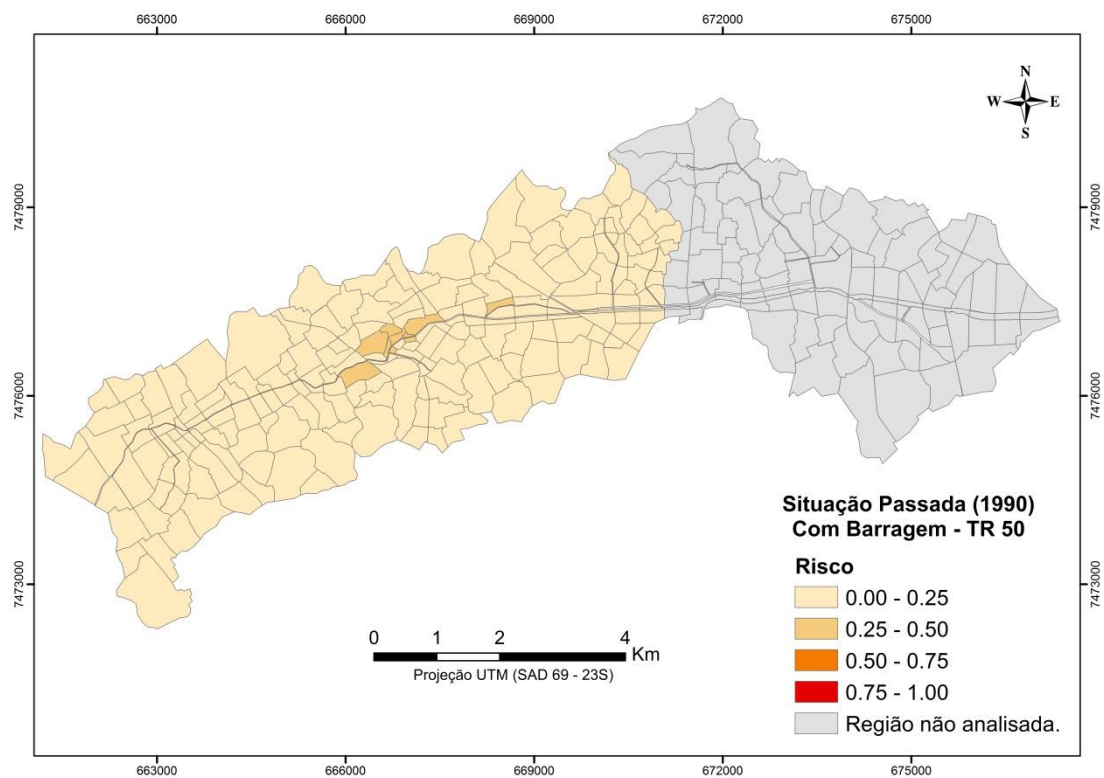


Figura 7.112: Mapa de risco, Situação Passada com Barragem (TR 50 anos).

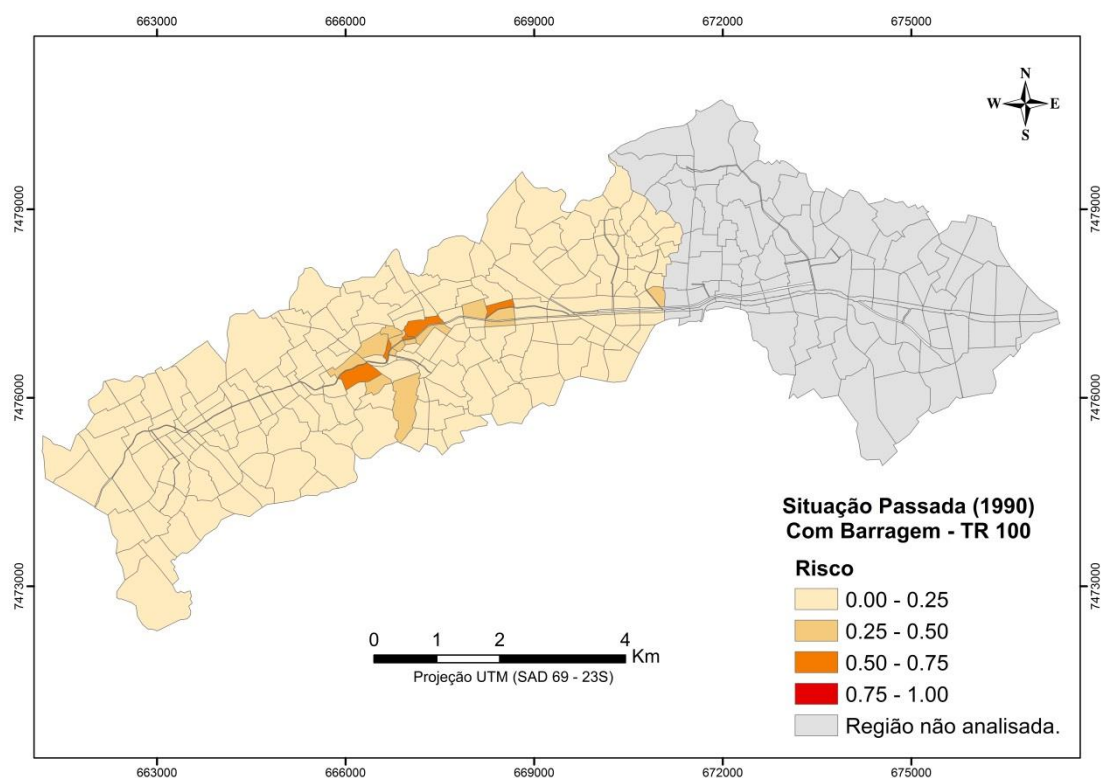


Figura 7.113: Mapa de risco, Situação Passada com Barragem (TR 100 anos).

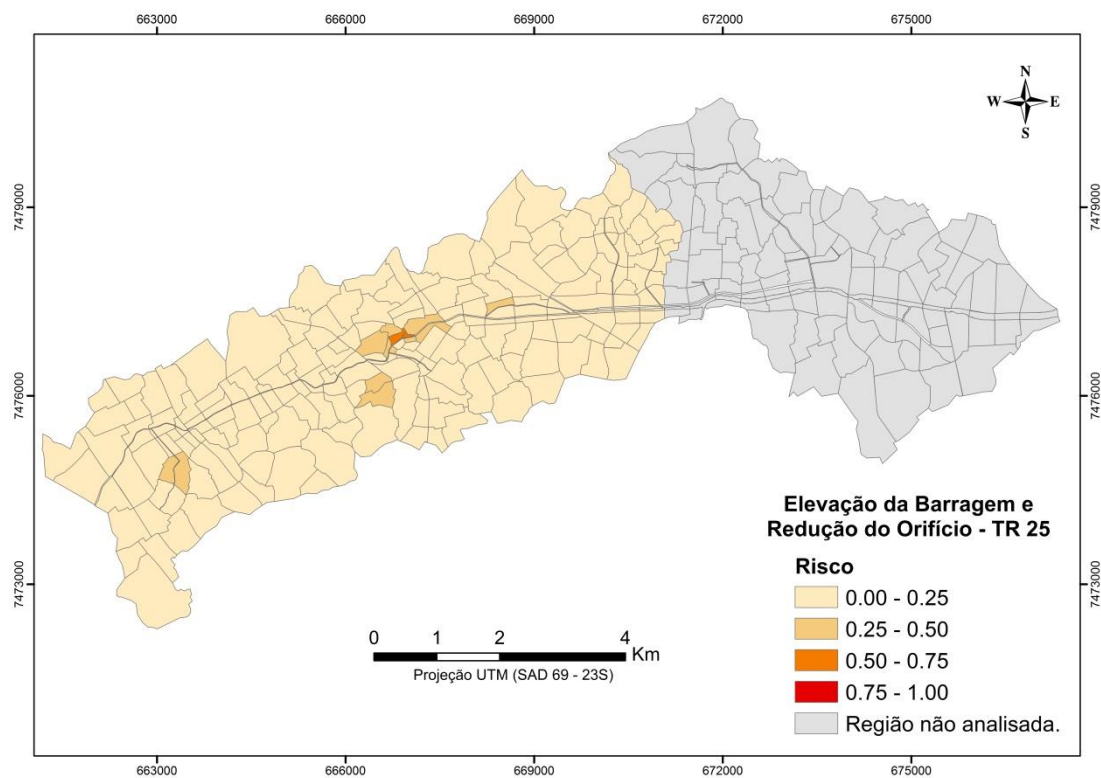


Figura 7.114: Mapa de risco, Cenário 4 (TR 25 anos).

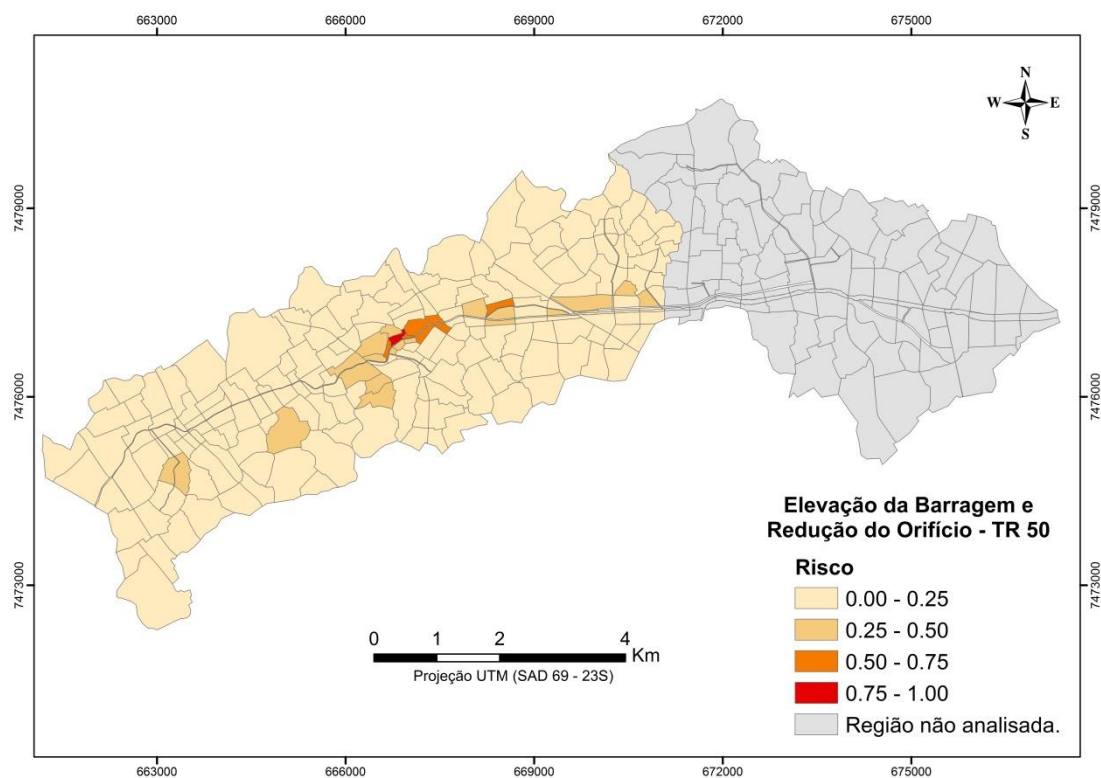


Figura 7.115: Mapa de risco, Cenário 4 (TR 50 anos).

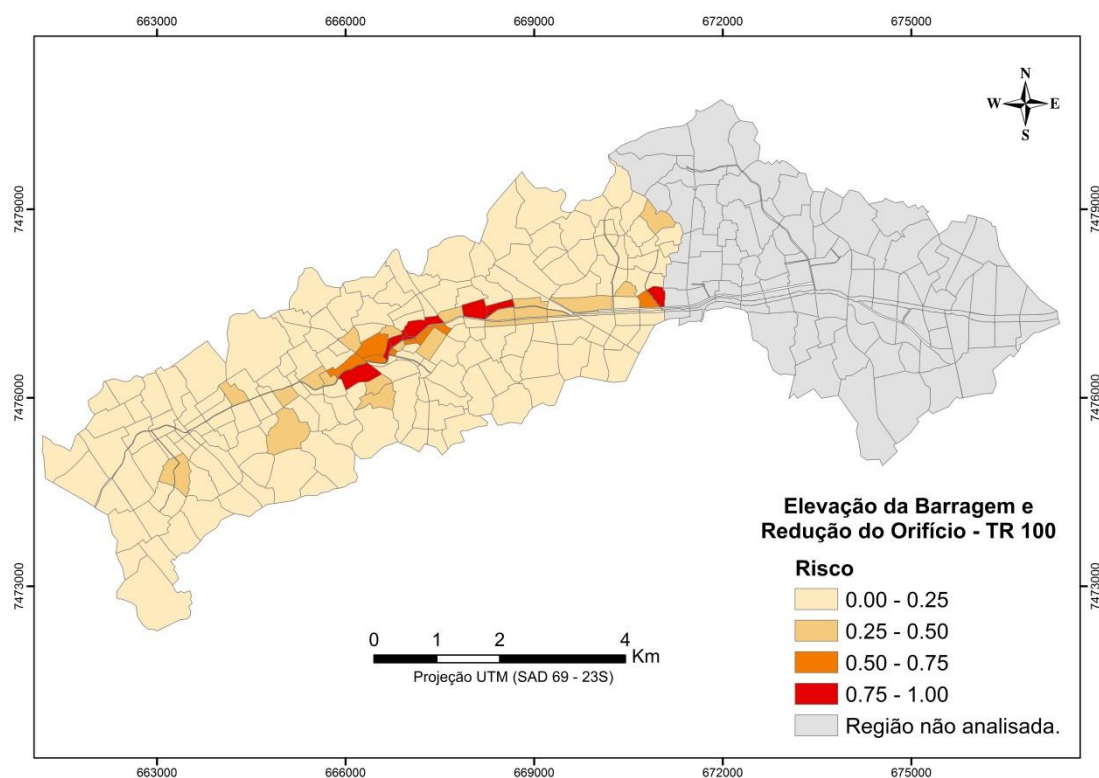


Figura 7.116: Mapa de risco, Cenário 4 (TR 100 anos).

A avaliação dos mapas de risco de cheias para todos os tempos de recorrência leva à percepção de que o problema de cheia na Bacia do Rio Pavuna é localizado principalmente na região adjacente ao rio, ou seja, ao longo de suas margens.

Para o cenário atual, verifica-se, para TR 25, poucos pontos com risco Médio-Alto, e alguns com Risco Médio-Baixo, enquanto no cenário passado com a Barragem há apenas uma pequena região com risco Médio-Baixo, ou seja, praticamente não há risco algum. Esta acentuação do risco do cenário 3 para o cenário 1 é justificada pela ocupação desordenada da região, uma vez que, nos pontos extremos de risco, nota-se que não apenas a densidade da urbanização aumentou expressivamente, como também estes locais apresentam as cotas de alagamento mais altas de toda bacia.

Para os tempos de recorrência de 50 e 100 anos, no cenário atual, nota-se que da região compreendida entre a foz do Rio Acari e a Linha Férrea são vários os pontos que apresentam risco Alto e Médio-Alto. Esta mesma região, no cenário passado com a barragem (cenário 3), praticamente não apresentava risco, chegando no máximo a patamares Médio-Alto, para TR 100, e a Médio-Baixo, para TR 50, em apenas poucos pontos.

As regiões que apresentaram as maiores cotas de alagamento no cenário 3, como já foi verificado no item anterior, em sua maioria eram pouco urbanizadas na década de 1990 e algumas eram terrenos sem qualquer ocupação, funcionando assim como planície natural de inundação não representando risco aos moradores como pode ser visualizado nos mapas de risco para este cenário.

Quanto ao cenário passado antes da instalação da barragem (cenário 2), é possível observar que havia de fato a necessidade de medidas que controlassem as cheias na região, na medida em que a faixa marginal que se estende desde a linha do Metrô/SuperVia até o Campo de Gericinó possuía diversos pontos com risco Alto e Médio-Alto para TR 25, 50 e 100. No entanto, verifica-se que a classificação do risco neste trecho é predominantemente de Alto e Médio-Alto para TR 50 e 100. No item anterior, visualiza-se a partir das manchas de alagamento para este cenário que as lâminas d'água neste trecho eram muito altas quando comparadas com as do resto da bacia e que praticamente o trecho em toda sua extensão estava alagado. A área urbanizada funcionava como planície de inundação do rio amortecendo o hidrograma de cheia.

A instalação da barragem para contenção de cheias teve uma resposta muito positiva, em termos de quantificação do risco de cheias, para a bacia como um todo e principalmente na região entre o Campo de Gericinó e a Linha Férrea. O risco passou de Alto e Médio Alto para Baixo e, em alguns poucos pontos, para Médio Baixo para TR 25 e TR50. A eliminação do extravasamento do rio nesta área influenciou a alteração da classe de risco. Como já observado anteriormente nas manchas de alagamento, realmente a barragem foi bastante eficaz para a bacia como um todo, restando poucos pontos preocupantes.

Nota-se também que apenas na situação atual pontos disseminados pela bacia passaram a apresentar risco na faixa de Médio-Baixo. Ainda que não sejam muitos, e que não constituam uma situação de extrema preocupação, nota-se que tais valores são influenciados, de forma geral, pelas lâminas de alagamento, decorrentes de falhas na microdrenagem, uma vez que a mesma não foi capaz de lidar com o acréscimo de escoamento superficial decorrente da intensa urbanização na região.

Quanto ao cenário 4, que apresenta como alternativa de projeto a redução do orifício e também a elevação da barragem, nota-se, ao comparar com a situação atual, que para TR25 uma pequena região com risco Médio-Alto, entre a Linha Férrea e a

Estação do Metrô, passou a apresentar risco Médio-Baixo, e que já bem próximo a Linha Férrea regiões com risco Médio-Baixo passaram a apresentar risco Baixo. Para TR 50, uma região logo a montante da Linha Férrea também teve mudança na sua classificação do risco, passando de Médio-Alto para Médio-Baixo, e outras regiões entre o Campo de Gericinó e a Linha Férrea apresentaram mudanças na classificação de Médio-Baixo para Baixo. Em relação a TR100, nota-se que em comparação ao cenário Atual, pontos situados entre a Linha Férrea e o Campo de Gericinó foram os que tiveram a maior redução no risco, uma vez que diversos pontos ao longo da faixa fluvial, nesta região, que se classificavam como de Risco Médio-Alto e Risco Médio-Baixo, passaram a possuir classificações de risco Médio-Baixo ou risco Baixo. No entanto, apesar da mudança de classificação em algumas regiões, verifica-se que novas formas de defesa para reduzir o risco de cheias ainda são necessárias, uma vez que o aumento da densidade urbana, como visto anteriormente, agravou os alagamentos na bacia a jusante da barragem.

A partir deste resultado, pode-se concluir que a solução alternativa proposta, ajudou a reduzir o risco de alagamento em alguns trechos da faixa fluvial, principalmente na região entre a Linha Férrea e o Campo de Gericinó, que apresentavam-se críticos, mesmo que a redução nas cotas de alagamento, como verificado anteriormente, não tenham sido tão expressivas na bacia como um todo. No entanto, ainda há a necessidade de novas medidas de controle de cheias, uma vez que mesmo para o cenário com TR25 anos, ainda há locais com risco elevado.

Essa avaliação permite verificar a necessidade do controle do uso do solo na região após a instalação de uma medida estrutural. A ocupação descontrolada gerou novos pontos de alagamento que passaram a exigir novas soluções de drenagem, tornando a solução anterior desatualizada.

8. Conclusões e Recomendações

Para uma análise final dos resultados obtidos nesta Dissertação de Mestrado, serão apresentadas, neste capítulo, as conclusões e acrescentadas recomendações, com o objetivo de ampliar ou melhorar os resultados dos estudos.

8.1 Conclusões

Este trabalho postulou a hipótese de que medidas estruturais de controle de enchentes, desacompanhadas de medidas de organização, planejamento e controle de ocupação do solo, perdem seus efeitos em longo prazo, tendo em vista que as populações crescem, planícies de inundação são ocupadas, e, conseqüentemente danos causados por enchentes continuam a aumentar, requerendo assim novas formas de defesa. A crença na infalibilidade do sistema pode induzir um sentimento de falsa segurança, ou, mais precisamente, um sentimento de segurança absoluta, levando à ocupação de áreas naturalmente perigosas, que se encontram agora protegidas para certo horizonte de projeto, configurado pelo tempo de recorrência.

No contexto desta hipótese, o presente trabalho teve como objetivo geral avaliar e discutir o efeito da implantação de medidas estruturais para controle de cheias, em termos de redução de riscos, ao longo do tempo, quando estas não são seguidas por um adequado planejamento e controle do uso e ocupação do solo.

Para seguir com esta discussão, foi estudado o caso da Bacia do Rio Pavuna, que é uma localidade que enfrenta os problemas decorrentes da expansão urbana desordenada, da ineficiência dos sistemas de drenagem, da degradação dos rios e das alterações de uso e cobertura do solo. Esta bacia recebeu, ao longo dos anos, intervenções estruturais visando reduzir os problemas de cheias na região. Dentre estas, a principal medida e também a escolhida para ser abordada neste estudo, foi a Barragem de Gericinó no Rio Pavuna, implantada no início da década de 90 cujo principal objetivo era reduzir o risco das cheias na Bacia.

Assim sendo, a fim de avaliar a eficiência em longo prazo da Barragem de Gericinó, e também os efeitos colaterais (secundários) decorrentes da adoção desta solução, sem a consideração de cenários futuros de ocupação da bacia, três (3)

principais cenários foram propostos, a saber: situação passada (1990) sem a barragem, situação passada (1990) com a barragem e situação atual.

A situação passada (1990) sem a barragem foi modelada a fim de verificar o cenário de alagamentos que gerou a necessidade de adoção desta medida no controle de cheias da região. Já o cenário da situação passada (1990) com a Barragem foi fundamental para demonstrar o quão efetiva foi a atuação da barragem na redução do risco de cheias na área a jusante, naquela época. Em sequência, a modelagem da situação atual teve sua importância na verificação da eficiência da barragem na redução do risco de enchentes, em longo prazo, frente à urbanização descontrolada em toda a bacia ao longo das duas décadas anteriores.

Além destes cenários, foi proposto também um cenário alternativo de projeto, que consistiu na elevação da Barragem em 30 cm e redução do orifício de descarga para 0,25 m². Por sua vez, este cenário foi modelado a fim de estudar uma possível via de redução do risco de cheias na área a jusante da Barragem e também estudar o efeito do risco residual deste sistema, nos casos em que ocorre uma cheia que extrapola a capacidade para o qual foi dimensionado.

Essa composição foi proposta e verificada, através de um processo comparativo que utilizou o modelo MODCEL, para produzir os mapas de alagamento, e a metodologia de análise de risco proposta para avaliação do risco que combina os efeitos da inundação com os aspectos sociais da Bacia e, assim, permite a realização da quantificação do risco de cheias em cada cenário.

A modelação matemática através do modelo hidrodinâmico MODCEL levou em consideração três tempos de recorrência de chuva distintos, de 25, 50 e 100 anos.

Diante dos resultados obtidos, foi possível observar que, na situação atual (cenário 1), o problema de cheias na Bacia do Rio Pavuna, e que atinge principalmente as áreas próximas ao rio, é consideravelmente crítico. Além dos relatos de inundações frequentes, a modelagem matemática desenvolvida neste trabalho apresentou áreas importantes com lâminas de alagamento de 0,75 m para o tempo de recorrência de 25 anos e, em situação mais crítica, de 0,90 e 1,20 m para TR 50 e TR100, respectivamente. Foram identificados alguns dos principais pontos críticos, em termos de alagamento: próximo à Foz do Rio Acari, à Linha de Metrô/ Supervia e à Linha

Férrea. No geral, percebe-se haver problemas de capacidade de condução de vazão em calha, notadamente em pontos associados à contração da seção, tanto no Rio Pavuna quanto em seus afluentes. De forma geral, pôde-se concluir que tanto a macro quanto a microdrenagem são, nas condições atuais, insuficientes.

Além disso, a ocupação irregular do solo, com habitações também irregulares ao longo da calha secundária em trechos do rio, e o alto grau de impermeabilização da bacia, na situação atual, contribuem, também, para intensificar a questão das cheias na Bacia do Rio Pavuna.

Na situação passada anterior à implantação da barragem (cenário 2), verifica-se que a região com maior criticidade no que diz respeito à cotas de alagamento situava-se no trecho entre a Linha Férrea e o Campo de Gericinó. Observou-se que a principal causa dos alagamentos era devido ao extravasamento do rio nesta área. Em alguns pontos, o alagamento chegava a 1,25 m, para TR 25, 1,35 m de altura, para TR 50, e a valores acima de 1,50 m, para TR 100. Neste cenário, os escoamentos superficiais ainda não geravam muitos alagamentos sobre a bacia, ou seja, a microdrenagem na região, ainda que insuficiente em algumas poucas partes de bacia, não era uma questão prioritária a se tratar.

Na situação passada com Barragem (cenário 3), conclui-se que a barragem mostra resultados efetivos para a calha fluvial, reduzindo consideravelmente os alagamentos a jusante provenientes do extravasamento do rio. A redução ocorre não apenas para o evento com tempo de recorrência de 25 anos, para o qual a barragem foi dimensionada, como também para os casos com tempo de recorrência de 50 e 100 anos. Para TR 25 os pontos que apresentam algum alagamento e se estendem sobre a malha urbana não são consideravelmente críticos, uma vez que as cotas de alagamento são baixas bem como a densidade de domicílios nestas áreas.

Conclui-se, para o cenário 3, que a medida estrutural proposta foi uma solução de extrema eficiência na época, uma vez que reduziu consideravelmente as cotas de alagamento para todos os tempos de recorrência apresentados. Para TR 25 nota-se que cotas de alagamento não superam o valor de 0,36 m e, para TR 50 e 100 os valores de 0,59 e 0,84 m, todos esses alagamentos residuais ocorrendo em regiões ainda verdes e/ou praticamente desocupadas. Além disso, pode-se verificar que alguns pontos

próximos ao Campo de Gericinó tiveram redução de aproximadamente 70% no hidrograma de cheias para os três tempos de recorrência.

Ao comparar os três cenários iniciais, foi possível também concluir que as cotas de alagamento na proximidade da foz do Rio Acari, bem como o hidrograma da bacia tiveram um acréscimo expressivo na situação atual, para os três tempos de recorrência. Isto ocorre devido à urbanização descontrolada na região que gerou um excedente de escoamento superficial implicando no agravamento do alagamento nesta região ao longo dos anos, bem como pelo fato que a área de influência da barragem tem limite dado pelo próprio acréscimo de áreas de drenagem a jusante e a região da foz do Rio Acari se configura como limite para os efeitos positivos da barragem.

Em relação ao cenário alternativo de projeto, cenário 4, observou-se que as manchas apresentadas tiveram resultados bem similares aos da situação atual, no entanto, com algumas pequenas mudanças na faixa adjacente ao rio, para os três tempos de recorrência, em regiões mais próximas ao Campo de Gericinó e também da Linha Férrea. Nota-se que próximo ao Campo de Gericinó houve a redução em aproximadamente 65% no hidrograma de cheias e em relação às lâminas de alagamento verificou-se uma redução máxima em até 0,30 m nesta área para TR50.

Contudo, a partir das manchas apresentadas, é possível observar que os trechos que se apresentavam críticos na situação atual, continuam sendo críticos com a solução implantada, uma vez que a região ainda possui alagamentos ao longo da faixa fluvial que chegam a 0,64 m para TR25, 0,85 m para TR50 e 1,14 m para TR100.

Desta forma, pode-se dizer que a elevação da barragem em 30 cm juntamente com a redução do orifício de fundo para a área de 0,25 m² se mostrou capaz de reduzir parte das cotas de alagamento, principalmente, para eventos mais críticos de cheia, como é o caso de TR 50 e TR 100, porém sem ser decisivo para o controle de jusante. Esse resultado era esperado em função das observações anteriores que já mostraram que a falta de controle de uso do solo e a densificação da urbanização eram fatores importantes no agravamento de alagamentos. Destaca-se ainda que, mesmo nos casos em que a cota de alagamento do reservatório supera a cota do vertedor da barragem, de 19 m, como acontece para TR 50 e 100, o volume excedente vertido não consiste em um fator determinante dos alagamentos da região de jusante, uma vez que a área do espelho d'água do reservatório ainda permite um certo amortecimento, mesmo com vertimento.

Conclui-se assim, que o risco residual devido ao volume excedente vertido não compreende, neste caso, um risco grande, uma vez que o reservatório ainda parece cumprir uma função de amortecimento sobre o espelho d'água que gera vertimento.

A busca de otimização de uso do reservatório, com a elevação da cota de vertimento e redução do seu orifício de descarga, porém, abre um campo interessante a ser explorado (em trabalhos futuros) referente ao ganho de proteção associado a chuvas isoladas em cada uma das bacias, do Rio Sarapuí e do Rio Pavuna. A elevação do vertedouro facilita a comunicação entre os reservatórios, o que pode ser um fator útil quando a chuva for mais intensa em uma bacia e mais leve na outra, aumentando o volume disponível pelo compartilhamento destes reservatórios.

Em sequência, os resultados obtidos com a aplicação da Metodologia de Risco proposta permitiu que a quantificação comparativa do risco para todos os cenários simulados. Ainda que sendo uma análise preliminar de risco, uma vez que não considera importantes fatores em suas componentes, como é o caso da suscetibilidade dos receptores, resiliência e valor dos danos sofridos, dentre outros, esta análise foi suficiente para expandir a discussão sobre a criticidade de alagamentos na região.

A partir desta análise, foi possível verificar, em todos os cenários, que o problema de cheia na Bacia do Rio Pavuna é localizado, principalmente, na região adjacente ao rio, ou seja, ao longo de suas margens.

Na situação passada sem a barragem verifica-se que os locais com elevado risco situam-se próximo ao Campo de Gericinó (como era de se esperar), uma vez que nesta região verificou-se as maiores cotas de alagamento da bacia, bem como esta região já apresentava um alto adensamento populacional. A área urbanizada funcionava como planície de inundação do rio, amortecendo o hidrograma de cheia. Ou, para ser mais preciso, a área urbanizada, em parte, ocupava a planície natural de inundação do rio e sofria efeitos de seu extravasamento.

A criticidade do risco de cheias no cenário 2 (Passado sem a barragem) mostra que a instalação de medidas que controlassem as cheias era imprescindível. Em relação à classificação do risco neste cenário, notam-se diversos pontos com risco Alto e Médio-Alto para TR 25, 50 e 100. No trecho marginal que se estende desde a linha do

Metrô/SuperVia até o Campo de Gericinó a classificação do risco é predominantemente de Alto e Médio-Alto para TR 50 e 100.

Em sequência, a posterior instalação da barragem no cenário 3 para contenção de cheias teve uma resposta muito positiva, em termos de quantificação do risco, para a bacia como um todo e, principalmente, na região entre o Campo de Gericinó e a Linha Férrea. A eliminação do extravasamento do rio nesta área influenciou expressivamente na alteração da classe de risco na bacia. A classificação do risco se mantém predominantemente em Baixa no cenário 3 para os três tempos de recorrência. Em alguns poucos pontos, para TR50, verifica-se risco Médio Baixo. Já para TR100 há pouquíssimos pontos com risco Médio-Alto. Pode-se dizer que barragem foi uma medida muito eficaz na eliminação do risco para a época, uma vez que restaram poucos pontos preocupantes apenas na ocorrência de eventos mais extremos.

Por fim, ao analisar o risco na situação atual e compará-lo com os cenários passados, nota-se que, de modo geral, a região central, situada entre a Linha do Metrô/Supervia e a Foz do Rio Acari passou a apresentar uma classificação de risco superior aos cenários passados, tanto com como sem a barragem. Pontos em que no cenário passado, mesmo sem a barragem, praticamente não apresentavam qualquer risco e limitavam-se à classificação de risco Baixo passaram a ser visivelmente mais críticos na situação atual.

Esta acentuação do risco é justificada pela ocupação desordenada da região, uma vez que nos pontos extremos de risco nota-se que não apenas a densidade da urbanização aumentou expressivamente, como também estes locais apresentam as cotas de alagamento mais altas de toda bacia.

No entanto, nota-se ainda que a região próxima ao Campo de Gericinó, que teve seu risco reduzido completamente com a construção da barragem, ainda se encontra com patamares aceitáveis de risco para a situação atual, possuindo apenas alguns pontos com risco Médio-Alto para TR100. Conclui-se, assim, que a Barragem de Gericinó pode não estar mais sendo efetiva (conforme projetado), apesar de estar ainda funcionando para controlar a bacia de montante, uma vez que a urbanização gerou condições de risco que mantêm a inundação como problema a jusante.

Além da acentuação do risco na região adjacente ao rio, pontos disseminados pela bacia, que anteriormente classificavam-se como sendo de Baixo risco, passaram a apresentar risco na faixa de Médio-Baixo. Este fato é justificado pelas falhas na microdrenagem, uma vez que a bacia não foi capaz de lidar com o acréscimo de escoamento superficial decorrente da intensa urbanização na região.

Em relação à solução proposta, cenário 4, cujo objetivo consiste em reduzir o risco de cheias na região e na otimização do funcionamento da barragem, pode-se verificar, ao comparar com a situação atual, algumas poucas mudanças na classificação do risco. As reduções do risco concentraram-se principalmente entre a Linha Férrea e o Campo de Gericinó. Para todos os tempos de recorrência, algumas áreas adjacentes ao rio que se apresentavam com risco Médio-Alto e Médio-Baixo, passaram a apresentar risco Médio-Baixo e Baixo, respectivamente. No entanto, apesar da mudança de classificação em algumas regiões, verifica-se que novas formas de defesa para reduzir o risco de cheias ainda são necessárias na bacia.

A partir deste quadro comparativo, foi possível concluir, através dos cenários simulados, que a falta de controle do uso e ocupação do solo da bacia tem grande contribuição no aumento do risco hidráulico associado ao Rio Pavuna.

Este trabalho permitiu refletir sobre a importância do controle do uso e ocupação do solo na região e confirma a hipótese de que, hoje, após o intenso processo de urbanização da Bacia do Rio Pavuna, a medida estrutural implantada está gradativamente perdendo sua eficiência ao longo dos anos no que se refere ao controle dos alagamentos a jusante, uma vez que no cenário Atual percebe-se a necessidade de aplicar medidas complementares para o controle de cheias, enquanto que, no cenário Passado, apenas a barragem já era suficiente para proteger de modo significativo a região a jusante, para a chuva com TR 25 anos.

Desta forma, a aplicação isolada de medidas estruturais, ao não considerar as incertezas futuras, incluindo a previsão de cenários futuros de ocupação bem como o risco residual das medidas estruturais propostas, pode levar, em longo prazo, à exigência de novas defesas de controle de cheias na região, tornando obsoleto o sistema estrutural proposto inicialmente para esse fim.

A necessidade de adoção de projetos estruturais complementados com medidas não-estruturais é, portanto, premente quando se deseja alcançar um projeto de controle de inundações com a validade espaço-temporal requerida. Tais medidas não-estruturais devem ter como principal objetivo regular as taxas de impermeabilização do solo, bem como a manutenção de importantes áreas naturais de amortecimento no sistema proposto.

Nesse sentido, é de fundamental importância que as instituições responsáveis pelo planejamento do uso e ocupação do solo na Bacia do Rio Pavuna atentem para essas questões, tomem conhecimento necessário das possíveis consequências relacionadas ao aumento das inundações da bacia e, a partir daí, revisem ou complementem o planejamento para essa região, que não culmine no agravamento das condições de escoamento durante as cheias. A regulamentação do uso do solo nas áreas com risco de inundação deve passar por um reforço do investimento em zoneamentos, regulamentos, restrições e/ou servidões que devem constar nos instrumentos de ordenamento do território, principalmente na escala local, como é o caso dos Planos Diretores Municipais.

No entanto, a adoção destas medidas de ordenamento do solo possui como principal desafio a necessidade de envolver a participação de diferentes atores. Existe uma grande dificuldade na aceitação pública no que se refere ao convívio com as enchentes, uma vez que há uma grande resistência em aceitar esse tipo de solução, especialmente quando alternativas estruturais também estão sendo cogitadas. Isso inclui, por vezes, manter recursos, sensibilização e preparação ao longo de décadas sem uma inundação, levando em conta que a memória do desastre tende a enfraquecer ao longo do tempo.

Além disso, este trabalho também permitiu discutir a importância da realização da análise de risco quando se pretende adotar um planejamento de controle de cheias que continue funcionando em longo prazo. A inevitável limitação do conhecimento científico a respeito dos sistemas de risco de cheias requer periódicas repetições da análise de risco, a fim de representar as mudanças inerentes do sistema e examinar os supostos efeitos das intervenções de redução do risco.

Conclui-se, enfim, que defender-se contra inundações exige robustas abordagens para que os projetos propostos para o combate às cheias não se tornem obsoletos em

longo prazo. As incertezas devem ser antecipadas e quantificadas e o planejamento de uso do solo desempenha um papel importante nesse processo.

8.2 Recomendações

Como recomendação, sugere-se, em estudos futuros, a aplicação de ferramentas mais robustas na análise de risco, ou seja, que permitam expressar diferentes percepções de risco de cheias, assim como as decisões dos gestores, consultores ou da população, considerando outros fatores também relevantes na componente da consequência como é o caso da suscetibilidade dos receptores, resiliência e valor dos danos sofridos, bem como na componente relacionada à probabilidade, como é o caso do tempo de permanência da área alagada, dentre outros.

Também é recomendado que sejam avaliadas novas soluções para a Bacia do Rio Pavuna, seguidas do adequado controle do uso e ocupação do solo, uma vez que as obras tradicionais realizadas tornaram-se insuficientes sendo assim necessária a adoção de novos planejamento para a defesa da região.

Além disso, um possível cenário hipotético seria também a análise e simulação da situação atual caso ações de ordenamento e planejamento do uso do solo tivessem sido adotadas juntamente com a instalação da barragem em 1990, a fim de verificar a eficiência de um conjunto de possíveis instrumentos de controle de uso e ocupação do solo e compará-los entre si.

Outra possibilidade de avaliação diz respeito à simulação de um cenário futuro de agravamento das chuvas, por efeito de mudanças climáticas, e que poderá introduzir ainda mais pressões ao sistema.

9. Referências Bibliográficas

- ABREU, M.A., Evolução urbana do Rio de Janeiro. IPP Rio de Janeiro-RJ, 147 p., 1987.
- AMARAL, B. S., 2012, *Requalificação fluvial como medida alternativa para a Mitigação de Cheias urbanas - estudo de caso do rio Dona Eugênia*. Projeto Final de Graduação. Escola Politécnica, UFRJ.
- ANDJELKOVIC, I., 2001, *Guidelines on Non-structural Measures in Urban Flood Management*. Technical Documents in Hydrology. UNESCO, Paris.
- ASCE - American Society of Civil Engineers. *Design and Construction of Sanitary and Storm Sewers*. New York, 1969.
- BAIRRO GRANDE RIO – São João de Meriti, Rio de Janeiro, RJ, 2010. Disponível em: <http://bairrogranderio.blogspot.com.br/2010/09/blog-post.html>. Acesso em: 29/05/2015.
- BALICA, S.F., 2012, *Applying the Flood Vulnerability Index as a Knowledge base for flood risk assessment*. Phd Thesis., UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.
- BAPTISTA, M., NASCIMENTO, N., BARRAUD, S., Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana. ABRH, 266 p. Porto Alegre, 2005.
- BARREIROS, M.A.F., ABIKO, A.K., 1998, *Reflexões sobre o parcelamento do solo urbano*. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil: São Paulo.
- BENCHIMOL, J.L., “A Modernização do Rio de Janeiro”. In: *O Rio de Janeiro de Pereira Passos, A Cidade em Questão II*. DELL BRENNNA, G. R. (Org.). Rio de Janeiro: Index, pp.599-611, 1985.
- BRASIL, 1934 - Decreto Nº 24.643, de 10 de julho de 1934, Código das Águas, Sedado Federal, 1934.
- BRASIL, 1979 – Lei Federal 6.766, de 19 de dezembro de 1979, Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências., Brasília, DF, 1979.
- BRASIL, 1988 - Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Congresso Nacional, Brasília, 05 outubro de 1988.

BRASIL, 1965 – Lei Federal 4.771, de 15 de setembro de 1965, Código Florestal, 1965.

BRASIL, 1997 – Lei Federal 9.433, de 8 de janeiro de 1997, Lei das Águas, Senado Federal, 1997.

BRASIL, 2001 – Lei Federal 10.257 de 10 de julho de 2001, Estatuto da Cidade, Senado Federal, 2001.

BRASIL, 2002 - Resolução CONAMA Nº 303/2002 - "Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente". - Data da legislação: 20/03/2002.

BRASIL, 2002 - Resolução CONAMA Nº 302/2002 - "Dispõe sobre os parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente de reservatórios artificiais e o regime de uso do entorno" - Data da legislação: 20/03/2002.

BRASIL, 2007 – Lei Federal 11.445, de 5 de janeiro de 2007, Lei de Saneamento, Senado Federal, 2007.

BRASIL, 2003 - Ministério das Cidades, DF, 2003. Disponível em: <http://www.cidades.gov.br/>. Acesso em: 29/05/2015.

BRASIL, 2004 – Ministério das Cidades, Manual de Drenagem Urbana Sustentável, Brasília, DF, 2004.

BRASIL – Ministério das Cidades, Glossário de Drenagem Urbana Sustentável, Brasília. Disponível em: <<http://www.cidades.gov.br/secretarias-nacionais/saneamento-ambiental/biblioteca/GlossarioSaneamento060206.pdf/view>>. Acesso em: 10/06/2014.

BRASIL – Ministério da Integração Nacional, 2006, Manual para Apresentação de Propostas, Programa 1138 – Drenagem Urbana Sustentável. Brasília - DF.

BRASIL, 1999 – Lei Federal 9.785, de 29 de janeiro de 1999, Altera o Decreto-Lei nº 3.365, de 21 de junho de 1941 (desapropriação por utilidade pública) e as Leis nºs 6.015, de 31 de dezembro de 1973 (registros públicos) e 6.766, de 19 de dezembro de 1979 (parcelamento do solo urbano), Brasília, DF, 1999.

BRASIL, 2012 – Lei Federal 12.608 de 10 de abril de 2012, Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC, Senado Federal, 2012.

BROWN, R., KEATH, N., WONG, T., 2008, “Transitioning to Water Sensitive Cities: Historical, Current and Future Transition States”. In: *Proceedings of the 11th International Conference on Urban Drainage*, Edinburgh, Scotland, UK.

BURBY, R. J., DEYLE, R. E., GODSCHALK, D. R., OLSHANSKY, R. B., 2000. “Creating hazard resilient communities through land-use planning.”, *Natural Hazard Planning Review*, v.1, n.2, pp. 99–106.

BURIAN, S.J.; EDWARDS, F.G., 2002, Historical perspectives of urban drainage, Global Solutions for Urban Drainage, In: *Proceedings of the 9th International Conference on Urban Drainage*, Portland, September 2002.

CABRAL, J.J.S.P.; MASCARENHAS, F.B.; CASTRO, M.A.H.; MIGUEZ, M. G.; PEPLAU, G.R.; BEZERRA, A.A.; In: RIGHETO, A.M., 2009, *Manejo de Águas Pluviais Urbanas*, Projeto PROSAB, Natal, RN: ABES. Cap. 3, p. 112-148.

CALABI, D. *História do urbanismo europeu: questões, instrumentos, casos exemplares*. Milão. São Paulo: Perspectiva, 2012.

CANCIN, R, 2009, “Escola de Chicago - contexto histórico: Pesquisas centradas no meio urbano.” *Especial para a Página 3 Pedagogia & Comunicação* Disponível em: <http://educacao.uol.com.br/disciplinas/sociologia/.htm>. Acesso em:18/09/2015.

CANHOLI, A.P., 2005, *Drenagem urbana e controle de enchentes*, Oficina de Textos, ISBN 8586238430, São Paulo, Brazil.

CHOW, V.T., 1959, *Open-channel Hydraulics*. New York: McGraw-Hill, 661pg, 1959.

CARNEIRO, P. R. V.; MIGUEZ, M. G., *Controle de Inundações em Bacias Hidrográficas Metropolitanas*. Ed. Anablume, 302 p., São Paulo, 2012.

CONNECTICUT STORMWATER QUALITY MANUAL (2004), *Hydrologic sizing criteria for stormwater treatment practices*. Chapter 7, 2004.

CARNEIRO, P.R.F., 2008, *Controle de Inundações em Bacias Metropolitanas, Considerando a Integração do Planejamento do Uso do Solo à Gestão*

dos Recursos Hídricos. Estudo de Caso: Bacia dos Rios Iguaçu/Sarapuí na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

CARVALHO, S. N., 2001, *Estatuto da Cidade: aspectos políticos e técnicos do plano diretor*. São Paulo em Perspectiva, n.15, v.4, 2001, p.130-135. Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/spp/v15n4/10379.pdf> Acesso em:14/05/2015.

CEMBRANO, G., J. QUEVEDO, M. SALAMERO, V. PUIG, J. FIGUERAS e J. MARTÍN., 2004, *Optimal Control of Urban Drainage Systems: A Case Study*. Control Engineering Practice 12, p. 1-9.

CHAMPS, J. R. “Manejo das águas pluviais urbanas: o desafio da integração da sustentabilidade”. In: *Conceitos, características e interfaces dos serviços públicos de saneamento básico. Coletânea - Lei Nacional de Saneamento Básico*, v.2, Brasília. Ministério das Cidades – Secretaria Nacional de Saneamento Básico, pp. 334-344, 2009. Disponível em:www.cidades.gov.br. Acesso em: 22 de agosto de 2014.

CHOW, V.T., “ Hydrologic Studies of Floods in the United States.” International Association Science Hydrology, nº 42, 134-170, 1956.

COFFMAN, L. *et al.*, 1998, Low-Impact Development: Hydrologic Analysis and Design. In: LOUCKS, Eric D (Comp.). Water Resources and the Urban Environment. Illinois: Asce,. p. 1-35

COPPETEC, 2009, *Plano Diretor de Recursos Hídricos, Recuperação Ambiental e Controle de Inundações da Bacia do Rio Iguaçu-Sarapuí*, Laboratório de Hidrologia e Estudos do Meio Ambiente, COPPE/UFRJ.

COPPETEC, 2007, COPPETEC (2007) - *Relatório de Estudos Integrados para Avaliação de Projeto de Intervenção na Calha do Rio Acari*. Laboratório de Hidráulica Computacional, COPPE/UFRJ.

CORDERO, A., “As enchentes no Vale do Itajaí têm solução?”, *Dynamis – Revista Tecno-Científica*, Blumenau, vol. 1 no. 1, pp. 29-35, set/out., 1992.

CORDERO, A., LEON, A. T. e MEDEIROS, P. A., “Medidas de Controle de Cheias e Erosões.”, *Revista de Estudos Ambientais*, Blumenau, v.1, n.2, 27-45, 1999.

COSTA, H. S.M., 2001, “Desenvolvimento Urbano Sustentável: uma Contradição de Termos?”. *Curso de Gestão Urbana e de Cidades*. EG/ FJP WBI LILP ESAF IPEA. Belo Horizonte, Brasil. 14 a 25 de maio de 2001. Escola de Governo da Fundação João Pinheiro.

COSTA, B. P, 2008, “Reforma Urbana”, *Conan*, EDIÇÃO 97, AGO/SET, 2008. Disponível em: <http://fmauriciograbois.org.br/>. Acesso em: 18/09/2015.

COSTA, G. M.; MENDONÇA, J. G. (Org.). Belo Horizonte: Editora C/Arte, p. 31-65, 2008. Disponível em <http://www.ufpa.br>, Acesso em 16 de maio de 2012.

CRUZ, M.A.S.; SOUZA, C.F. & TUCCI, C.E.M., 2007, *Controle da drenagem urbana no Brasil: avanços e mecanismos para sua sustentabilidade*. Anais XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. São Paulo, SP.

CRUZ, D. A. M., “As Faces do Planejamento Urbano.” *Revista Pegada, Mundo do Trabalho*, v.12, n.2, pp.81-94, 2011. Disponível em <http://www.revista.fct.unesp.br>, Acesso em 16 de agosto de 2014.

CRUZ, D. A. M., “Discurso e Planejamento Urbano no Brasil.” *XIII-Encuentro de Geógrafos de América Latina, San José, Costa Rica*, 2011. Disponível em <http://pt.scribd.com>, Acesso em 16 de agosto de 2014.

CSIRO,1999, *Urban Stormwater Best Practice Environmental Management Guidelines*, Victorian Stormwater Committee, CSIRO publishing, 1999.

CYMBALISTA, R., 2005, “Cidade e moradia: desafio da gestão democrática das políticas urbana e habitacional no Brasil”, *Mobilização cidadã e inovações democráticas nas cidades*. São Paulo: Instituto Pólis. Edição Especial Fórum Social Mundial.

CYMBALISTA, R., 2006, ”A TRAJETÓRIA RECENTE DO PLANEJAMENTO TERRITORIAL NO BRASIL: apostas e pontos a observar”, *Revista Paranaense de Desenvolvimento*, Curitiba, n.111, p.29-45, 2006.

DEFRA/EA, 2003, “Risk to People”, In: *Flood and Coastal Defence R&D Programme, Technical Report FD2317*, Londres, Reino Unido.

DIRETIVA 2007/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Outubro de 2007, relativa à avaliação e gestão dos riscos de inundações. Disponível em: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX:32007L0060>. Acesso em: 29/5/2015.

DOUBEN, N., RATNAYAKE, R.M.W., 2005, “Characteristic data on river floods and flooding; facts and figures. In Floods, from Defence to Management”. In: *Proceedings of the 3rd International Symposium on Flood Defense*, 2005, Nijmegen, the Netherlands, Alphen J. van, van Beek E, Taal M (eds). Taylor & Francis/Balkema Publishers: Leiden, the Netherlands, pp11-27.

FARIA, R., SCHVARSBERG, B., *Políticas urbanas e regionais no Brasil*. FAU-UnB, Brasília: 2011. Disponível em: <http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNPU/Biblioteca/PlanelamentoUrbano/PolíticasUrbanasRegionaisBrasil.pdf>, Acesso em: 20/08/2014.

FERNANDES, E, 2013, "Política Urbana na Constituição Federal de 1988 e Além: Implementando a Agenda da Reforma Urbana no Brasil". Disponível em: <http://www12.senado.gov.br>. Acesso em: 18/09/2015.

FCTH, 1999, *Diretrizes Básicas para Projetos de Drenagem Urbana no Município de São Paulo*. Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica. São Paulo: Prefeitura do Município de São Paulo.

FELTRIN, T. F.; RAIA JUNIOR, A. A., “Lei 12.608/12 Instrumento de auxílio à gestão da logística humanitária no enfrentamento de desastres causados por fenômenos naturais.” In: *Anais do IX Convibra Administração – Congresso Virtual Brasileiro de Administração*. 2012. 13p.

FERREIRA, J. S. W., 2005, “A cidade para poucos: breve história da propriedade urbana no Brasil”. Em: *Anais do Simpósio “Interfaces das representações urbanas em tempos de globalização”*. Bauru: UNESP; SESC, 21 a 26 de agosto.

FINOTTI, R.F., FINKLER, R., SILVA M. D'A., CEMIN, G., 2009, *Monitoramento de Recursos Hídricos em Áreas Urbanas*. Caxias do Sul, RS:EDUCS, 2009. 272 p.:23 cm (Gestão e tecnologias ambientais). ISBN 978-85-7061-554-1.

FISRWG – Federal Interagency Stream Corridor Restoration Working Group. *Stream Corridor Restoration: Principles, Processes and Practices*. USA, 2001.

FLOODSITE, 2009, *Integrated Flood Risk Analysis and Management Methodologies*. Disponível em: <<http://www.floodsite.net>>. Acesso em 10/08/2013.

GÓES, H.A (1934). Saneamento da Baixada Fluminense Ministério da Viação e Obras Públicas Rio de Janeiro-RJ, 100 p

GÓES, H. A., 1939, *O Saneamento da Baixada Fluminense*. Rio de Janeiro: Diretoria de Saneamento da Baixada Fluminense.

GOULDBY, B., SAMUELS, P., *Language of Risk – Project definitions*. In: Floodsite Report T32-04-01, 2005.

GÓES, H.A (1934). Saneamento da Baixada Fluminense Ministério da Viação e Obras Públicas Rio de Janeiro-RJ, 100 p.

GREGÓRIO L. S., BRANDÃO A. M. P. M., 2007, “O Processo de Urbanização e Os Impactos Climato - Ambientais Nos Recursos Hídricos: estudo aplicado ao município de São João de Meriti/RJ.”. *XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos – ABRH*. 2007.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2000. *Censo Demográfico 2000*.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. *Censo Demográfico 2010*.

INEA – Estudos Regionais da Baixada Fluminense, Baía de Guanabara, 2013.

ISO/IEC Guide 51:1999, Safety Aspects – Guidelines for their inclusion in standards.

JHA, A. K.; BLOCH, R.; LAMOND, J., 2012, *Cities and Flooding. A Guide to Integrated Urban Flood Risk Management for the 21st Century*. Washington, D.C.: The World Bank.

JUNIOR, J.C.F., 2004, “Limites e Potencialidades do Planejamento Urbano: Uma discussão sobre os pilares e aspectos recentes da organização espacial das cidades

brasileiras.” In: *Estudos Geográficos*, Rio Claro, 2004. Disponível em http://www.uesc.br/cursos/pos_graduacao/especializacao/planejamento/arquivos/ferrari_junior_jose_carlos.pdf. Acesso em: 15/15/2015.

KELMAN, J.; MOREIRA, J. C. & MAGALHÃES, P. C. Controle de Enchentes Urbanas - O Caso da Baixada Fluminense. In: Seminário Regional sobre Gestão Ambiental Urbana, Instituto de Desarrollo Económico del Banco Mundial (IDE), Rio de Janeiro, 1995.

KELMAN, I., 2002, *Physical Flood Vulnerability of Residential Properties in Coastal, Eastern England*. Ph.D., University of Cambridge, Reino Unido, 2002.

LABHID – Laboratório de Hidrologia, 1996, *Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia dos Rios Iguaçu/Sarapuí: Ênfase no Controle de Inundações*. Laboratório de Hidrologia/COPPE/UFRJ, SERLA, Rio de Janeiro, Brasil.

LIMA, R. K.; VALLADARES, L. P. A, “Escola de Chicago: entrevista com Isaac Joseph.” *Revista Brasileira de Informação Bibliográfica em Ciências Sociais*. Rio de Janeiro, v. 49, p. 3-13, 2000.

SILVA, L. H. P., 2012, “Pflieger, Géraldine, *De la ville aux réseaux/dialogues avec Manuel Castells*”, *Revista Crítica de Ciências Sociais*, 91|2010, colocado online no dia 29 Novembro 2012. Disponível em: <http://rccs.revues.org/4472>. Acesso em: 18/09/2015.

LEOPOLD, L.B., 1968, *Hydrology for Urban Land Planning - A Guidebook on the Hydrologic Effects of Urban Land Use*, U.S. Geological Survey Circular 554, United States Department of Interior, Washington, 18 p.

LINDH, G., “Urbanization a hydrological headache”. *Ambio* 1, v1, n6, pp 185 – 201, 1972.

MACHADO, C. J. S., “Recursos Hídricos e cidadania no Brasil: limites, alternativas e desafios”. *Ambiente e Sociedade*, v.VI, n.2, jul./dez. 2003, pp. 121-136.

MACHADO, M.L.; NASCIMENTO, N.; BAPTISTA, M., 2005, “Curvas de danos de inundação versus profundidade de submersão: desenvolvimento de metodologia”. *Revista de gestión del agua de América Latina*, v.2, n.1, pp.35-52.

MCKISSOCK, G., JEFFRIES, C., D'ARCY, B.J., 1999, *An assessment of drainage best management practices in Scotland*. J CIWEM 1999;B:47-51

MARICATO, E., “Reforma urbana: limites e possibilidades – uma trajetória incompleta.” In: Globalização, fragmentação e reforma urbana; o futuro das cidades brasileiras na crise. Rio de Janeiro, Civilização Brasileira, parte 3, pp. 309-25, 1994.

MARICATO, E. “As ideias fora do lugar e o lugar fora das ideias”. In: *A cidade do pensamento único: desmanchando consensos*. 3º ed. Rio de Janeiro: Editora Vozes, pp121-192, 2000.

MARICATO, E., 2008, *Brasil, cidades: alternativas para a crise urbana*. 3. ed. Petrópolis - RJ: Vozes, 2001.

MARICATO, E., 1996, *Metrópole na periferia do capitalismo – desigualdade, ilegalidade e violência*. São Paulo, Hucitec: 1996

MARICATO, E., 1976 *A produção da casa (e da cidade) no Brasil industrial*. São Paulo: Alfa Ômega, 1976.

MARICATO, E., “O Ministério das cidades e a política nacional de desenvolvimento urbano.” In: *políticas sociais – acompanhamento e análise - IPEA*. 2006. pp:211 – 220

MARICATO, E., 2007, “O Ministérios das Cidades e a política urbana no Brasil.” *AU. Arquitetura e Urbanismo*, v.156, p.64-65, 2007.

MARICATO, E., “O Ministério das Cidades e a política nacional de desenvolvimento urbano : Cidades brasileiras: a matriz patrimonialista.” In: *Políticas Sociais - IPEA*, v. 12, p. 211-220, 2006.

MARICATO, E. “Metrópole, legislação e desigualdade”. *Estudos avançados*, v.17, n.48, 2003. In: MARQUES, E.; TORRES, H. G. (Orgs.) *São Paulo: segregação, pobreza e desigualdades sociais*. São Paulo: Editora Senac. 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ea/v17n48/v17n48a13.pdf>. Acesso em 20/08/2014.

MARINS, M. F. *Proposta de Requalificação Fluvial para Controle de Cheias Urbanas. Estudo de caso: Centro Histórico de Paraty, Rios Perequê-Açu e Mateus Nunes, RJ*. Dissertação de M.Sc. - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2013.

MARTIN, C., RUPERD, Y., LEGRET, M., 2007, *Urban stormwater drainage management: The development of a multicriteria decision aid approach for best management practices*. European Journal of Operational Research, 181(2007), 338-349.

MASCARENHAS, F. C. B.; MIGUEZ, M. G., *Modelação Matemática de Cheias Urbanas Através de Um Esquema de Células de Escoamento*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre - RS - Brasil, v. 4, n. 1, p. 119-140, 1999.

MIGUEZ, M. G.. *Modelo Matemático de Células de Escoamento para Bacias Urbanas*. Tese de D.Sc. - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2001.

MIGUEZ, M.G., MAGALHÃES, L.P.C., 2010, *Urban Flood Control, Simulation and Management: an Integrated Approach*., *Methods and Techniques in Urban Engineering*, Armando Carlos de Pina Filho and Aloisio Carlos de Pina (ED.), ISBN:978-953-307-096-7, InTech, Disponível em : www.intechopen.com. Acesso em 13/04/2015.

MIGUEZ, M. G., MASCARENHAS, F. C. B.; MAGALHÃES, L. P. C., "Multifunctional Landscapes for Urban Flood Control: The Case of Rio de Janeiro". In: *Flood Prevention and Remediation*, ed. WIT Press Journals, Southampton, 2012.

MIGUEZ, M.G., VERÓL, A.P., CARNEIRO, P.R.F., 2012. *Sustainable Drainage Systems: An Integrated Approach, Combining Hydraulic Engineering Design, Urban Land Control and River Revitalisation Aspects*. In: *Drainage Systems*, Muhammad Salik Javaid, p. 21-51, In-Tech, ISBN 978-953-51-0243-4, Vukovar, Croatia.

MINISTÉRIO PÚBLICO-RS. *O plano diretor como instrumento de política urbana*. Ministério Público do Estado do Rio Grande do Sul. Disponível em: . Acesso em: 08 jul. 2013.

MODCEL - Modelo de Células de Escoamento. *Modelação de Cheias Urbanas – Manual do Usuário do Modelo de Células de Escoamento*. UFRJ, 2003.

MONTE-MÓR, R. L. M. "Do Urbanismo à Política Urbana: Notas sobre a Experiência Brasileira". In: *Planejamento Urbano no Brasil: trajetórias, avanços e perspectivas*.

MONTE-MÓR, R. L. M, “As teorias urbanas e o planejamento urbano no Brasil”. In: DINIZ & CROCCO (eds.), *Economia Regional e Urbana: contribuições teóricas recentes* (pp. 61-85). Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006.

MOREIRA H. F., “O plano diretor e as funções sociais da cidade.”, CPRM, 2008.

MORENO, J., 2002, *O Futuro das Cidades*. São Paulo: Editora SENAC, 2002.

NAKANO, K. “O Estatuto da Cidade entre o Local e o Nacional”. In: *Políticas Urbanas e Regionais no Brasil*. Brasília: UNB, pp51-91, 2011. Disponível em <http://www.cidades.gov.br>, Acesso em 16 de maio de 2012.

NASCIMENTO, N. O.; BAPTISTA, M. B., 2009, “Técnicas Compensatórias em Águas Pluviais”. In: A. M. Righetto (org.) *Manejo de Águas Pluviais Urbanas*. Rio de Janeiro: ABES, v. 4, p. 150-198.

NETO, F. A. M. “A Regulação no setor de saneamento”. In: *Conceitos, características e interfaces dos serviços públicos de saneamento básico. Coletânea -Lei Nacional de Saneamento Básico v.1*, Brasília. Ministério das Cidades – Secretaria Nacional de Saneamento Básico, pp. 165-192, 2009. Disponível em: www.cidades.gov.br. Acesso em: 22 de agosto de 2015.

NETO, A C., 2009, *Sistemas urbanos de drenagem*. Disponível no site www.ana.gov.br. Acesso 01/12/2015.

OLOGUNRIOSA, E. T., ABAWUA, M. J., 2005, “Flood Risk Assessment: A Review.” *Journal of Applied Sciences and Environmental Management* (ISSN: 1119-8362), v.9, n.1, pp. 57-63. World Bank assisted National Agricultural Research Project (NARP) - University of Port Harcourt.

PAIVA, I. e SILVA, D. (2006) – “Risco de cheia, vulnerabilidade e vias de mitigação. O Baixo Mondego e as cheias de 2000/01 enquanto caso de estudo”. Actas do V Congresso Ibérico de Gestão e Planeamento da Água, Faro 4 a 8 de Dezembro.

PAIVA, I. M. R., 2006, "Risco de cheia, vulnerabilidade e vias de mitigação. O Baixo Mondego e as cheias de 2000/2001 enquanto caso de estudo", In: *V Congresso Ibérico de Gestão e Planeamento da Água, Faro*.

PASSOS, H. S., 2010, *Zoneamento urbano de Rio Verde: uma proposta para ordenamento do uso do solo*. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional) - Faculdade Alves Faria, Goiânia, GO.

PERES, G.(1993). Os Caminhos do Ouro. Register Duque de Caxias-RJ, 70 p Petak, W., Atkisson, A., 1982, *Natural Hazard Risk Assessment and Public Policy*. 1 ed, Springer-Verlag.

PLATE, E. J., 1994, "Risk management and assessment for natural hazards." *UN World Conference on Natural Disaster Reduction, Technical Committee F - Warning Systems*, 26 May 1994., pp. 21 – 33, Germany.

PLATE, E. J., 2002, "Flood risk and flood management", *Journal of Hydrology*, v.267, pp. 2-11.

POMPÊO, H. R. L., 2001, *Drenagem Urbana Sustentável*, Revista Brasileira de Recursos Hídricos: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p.15-23.

PROGRAMA NACIONAL DE CAPACITAÇÃO DAS CIDADES, 2013, *Um Breve Histórico do Planejamento Urbano no Brasil*. Curso: Reabilitação urbana com foco em áreas centrais. Modulo 1 – Unidade 1. Disponível em: www.capacidades.gov.br. Acesso em: 22/08/2014.

Programa das Nações Unidas Para Assentamentos Humanos (UN-HABITAT), 2007.

PORTO, O. M. *Trajetórias e efeitos das políticas públicas de saneamento na baixada fluminense*-. Dissertação de M.Sc. - IPPUR/UFRJ, Rio de Janeiro, 2001.

PRATT C., KALY, U., MITCHELL, J., 2004, Manual: How to use the Environmental Vulnerability Index (EVI). In: SOPAC Technical Report 383. SOPAC, UNEP.

PROGRAMA NACIONAL DE CAPACITAÇÃO DAS CIDADES, 2013, *Um Breve Histórico do Planejamento Urbano no Brasil*. Curso: Reabilitação urbana com foco em áreas centrais. Modulo 1 – Unidade 1. Disponível em: www.capacidades.gov.br. Acesso em: 22/08/2014.

REZENDE, O. M., *Avaliação de Medidas de Controle de Inundações em um Plano de Manejo Sustentável de Águas Pluviais Aplicado à Baixada Fluminense*. Dissertação de M.Sc. - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2010.

RIBA, 2009, “Climate Change Toolkit Designing for flood Risk”, *Royal Institute of British Architects*. Disponível em: <http://www.architecture.com/>. Acesso em: 10 de janeiro de 2015.

RIBEIRO, A. C.; SILVA, M, L, P; VAZ, L, F, 2013, *Leituras da Cidade*. Anpur/Letra Capital, 2012, ISBN 978-85-7785-192-9.

RILEY, A. L., 1998, *Restoring Streams in Cities, a Guide for Planners, Policymakers, and Citizens*. Washington D.C., USA: Island Press.

ROCHA, J., 1998, *O Risco das Inundações e a sua Gestão*. Uma Visão Nacional e uma Visão Europeia. Lisboa. Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

RUBY, E., 2006, “How Urbanization Affects the Water Cycle California water and land use partnership”, *OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment California, USA)*. Disponível em www.oehha.ca.gov. Acesso em: 10/08/2015.

SAMUELS, P., “Flood Risk Analysis and Management – Achieving Benefits from Research”, *European Conference on Floods*, GOCE-CT-2004-505420, Viena, Áustria, 2006.

SANT'ANNA, M. J. G., 2002, “A Cidade como Objeto de Estudo: diferentes olhares sobre o urbano.” *ComCiência*, SBPC/Labjor, v. 1, 2002. Disponível em: <http://www.comciencia.br/reportagens/cidades/cid24.htm>. Acesso em: 17/09/2015.

SANT'ANNA, M. J. G. (2003). “A concepção de cidade em diferentes matrizes teóricas das Ciências Sociais.” *Revista Rio de Janeiro*, n. 9, p. 91-99, jan./abr. Disponível em: http://www.forumrio.uerj.br/documentos/revista_9/009_091.pdf. Acesso em: 17/09/2015.

SANTOS, C. N., 1986, *Está na hora de ver as cidades como elas são de verdade*. Rio de Janeiro, Ibm, 1986.

SAULE JÚNIOR, N.; UZZO, K., 2009, A trajetória da reforma urbana no Brasil. Disponível em: < <http://www.redbcm.com.br> >. Acesso em: 18/09/2015.

SAYERS P., GALLOWAY, G., PENNING-ROUSELL, E., SHEN F., WEN K., CHEN Y., LE QUESNE T., 2013, *Flood Risk Management : A strategic approach*. Paris, UNESCO. (ISBN 978-92-3-001159-8)

SECCHI, B., 2006, *Primeira Lição de urbanismo*. São Paulo, Editora Perspectiva, 2006.

SECCHI, B., Entrevistado por Adalberto Retto e Christian Traficante. Portal Vitruvius, 2004. Disponível em <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/entrevista/05.018/3330> . Acesso em 14/05/2015.

SECCHI, L., 2010, *Políticas públicas: conceitos, esquemas de análise, casos práticos*. São Paulo: Cengage Learning, 2010.

SECCHI, M. C., “Restauração, renovação, revitalização, requalificação, reabilitação.” *Revista do Grupo Requalificação Urbana - Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias Arquitetura e Urbanismo CEATEC* . PUC CAMPINAS, 2005.

SERLA/HIDROCONSULT, 1991 – “*Projeto de Macro e Mesodrenagem das Bacias dos Rios Sarapu e Pavuna/Meriti – Barragem de Laminação de Cheias de Gericinó*”, Projeto Hidráulico Final, Memória Técnica.

SERLA/SONDOTÉCNICA, 1991- “*Procedimentos para Reavaliação das Vazões e Linhas d'água para os Projetos de Macrodrenagem das Bacias*”, SN-98-PR-HG-01-0A.

SCHANZE, J., “Flood Risk Management – A Basic Framework.”, in: Schanze, J., Zehman, E., Marsalek, J. (Eds.), 2006, *Flood Risk Management: Hazards, Vulnerability and Mitigation Measures*, chapter 1, pp. 1-20, 2006.

SCHNEIDER, S.H., (Editor), 1996: *Encyclopaedia of Climate and Weather*. Oxford University Press.

SCHUBART, H. O. R., “O zoneamento ecológico - econômico e a gestão dos recursos hídricos”. In: MUÑOZ, H. R. (Org.). *Interfaces da gestão de recursos hídricos: desafios da lei das águas de 1997*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos, 2000, v. 1, pp. 155-175.

SCHUELER, T. *Controlling urban runoff: a practical manual for planning and designing urban BMPs*. Metropolitan Washington Council of Governments. Washington, DC, 1987.

SCHUELER, T. *Environmental Land Planning Series: Site Planning for Urban Stream Protection*. Prepared by the Metropolitan Washington Council of Governments and the Center for Watershed Protection, Silver Spring, Maryland, 1995

SCHUELER T., H. HOLLAND, 2000: *The Practice of Watershed Protection*. Center for Watershed Protection (CWP).

SCHVARSBERG, B. “Planejamento Urbano no Brasil pós 1988: panorama histórico e desafios contemporâneos”. In: *Políticas Urbanas e Regionais no Brasil*. Brasília: UNB, pp16-32, 2011. Disponível em <http://www.cidades.gov.br>, Acesso em 16 de maio de 2012.

SILVA, L.C. da., 2010, 23°. *Manejo de rios degradados: uma revisão conceitual*. 23°Revista Brasileira de Geografia Física.

SILVA, J. M. ; ARAUJO, M. L.M. , 2003, Estatuto da Cidade e o Planejamento Urbano-Regional. *Revista Paranaense de Desenvolvimento*, v. 105, p. 57-74, 2003.

SILVEIRA, A. L. L., 1998, “Hidrologia Urbana no Brasil”, In: *Drenagem Urbana, Gerenciamento, Simulação, Controle*. Porto Alegre: ABRH Publicações nº 3, Editora da Universidade, 1998.

SILVEIRA, A. L. L., 2000, Hidrologia urbana no Brasil. In: *Avaliação e controle da drenagem urbana*. Porto Alegre: Ed. Da Universidade. P. 511-525.

SMITH, K., 1996, *Environmental Hazards: Assessing Risk and Reducing Disaster*, 2nd ed. Routledge, London/ U.S.A./ Canada.

SIMMONS, D. L., REYNOLDS R. J., 1982. “Effects of Urbanization on Base Flow of Selected South-Shore Streams”, *Water Resources Bulletin*, Long Island, New York, 804, Vol. 18, No. 5.

SONDOTÉCNICA, 1990. Disponível em: www.sondotecnica.com.br. Acesso em: 10/08/2015.

SOUZA, V. C.B., GOLDENFUM, J. A., 1999, “Trincheiras de Infiltração como Elemento de Controle do Escoamento Superficial: Um Estudo Experimental”. In: *Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 13, 1999, Belo Horizonte. Belo Horizonte: ABRH. 11p.

SOUZA, F.C., TUCCI, C.E.M., POMPÊO, C.A., 2005, “Diretrizes para o Estabelecimento de Loteamentos Urbanos Sustentáveis”, In: *Anais do VI Encontro Nacional de Águas Urbanas*, Belo Horizonte, MG.

SOUZA, M.F.; COELHO, M.M.L.P.; MOURA, P.M.; BAPTISTA, M.B., 2013, “Custos de manutenção de bacias de retenção para controle de cheias na cidade de Belo Horizonte-MG.” In: *Anais do XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Bento Gonçalves (RS), Novembro de 2013.

TEIXEIRA, E. C., 2002, O Papel das Políticas Públicas no Desenvolvimento Local e na Transformação da Realidade. AATR-BA.

TINGSANCHALI, T., 2012, “Urban Flood Disaster Management”. In: *Procedia Engineering*, 32: 25-37. Nak Pathom, Thailand. Elsevier publication.

TORONTO AND REGION CONSERVATION, 2006, Water Budget Discussion Paper, Gartner Lee Ltd, Toronto, 37p., Disponível em: <http://www.sustainabletechnologies.ca/>. Acesso em: 10/08/2015.

TUCCI, C. E. M., *Gestão de Águas Pluviais Urbanas* – Ministério das Cidades – Global Water Partnership - World Bank – Unesco 2005.

TUCCI, C. E. M., *Inundações Urbanas*. 1 ed. Porto Alegre: ABRH/RHAMA, 2007.

TUCCI, C. E. M., *Modelos Hidrológicos*. 2 ed. Porto Alegre: ABRH/UFRGS, 2005.

TUCCI, C. E. M., “Gerenciamento da Drenagem Urbana”. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 7, nº: 1, jan./mar., p.5-27, 2002. Disponível em <http://www.rhama.net>, Acesso em 20 de maio de 2014.

TUCCI, CARLOS E.M., 1997, *Água no meio urbano*. Capítulo 14 do Livro *Água Doce*. IPH/UFRGS. 40p.

ULTRAMARI, C., “Significados do Urbanismo”, *Revista do Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAU/USP*, v. 16, p. 166-185, 2009.

US EPA United States Environmental Protection Agency, 2004, *The Use of Best Management Practices (BMPs) in Urban Watersheds*, by Muthukrishnan, S.; Madge, B.; Selvakumar, A.; Field, R.; Sullivan, D. EPA/600/R-04/184S.

VASCONCELLOS, E. Al., 2001, *Transporte urbano, espaço e equidade: análise das políticas públicas*. São Paulo: Annablume, 2001.

VAZ, J. C., 2006, “Desenvolvimento Urbano: Legislação de Uso e Ocupação do Solo.” *Instituto Polis. Banco Federativo/BNDS*. (Publicado originalmente como dica nº 77 em 1996). Disponível em <<http://www2.fpa.org.br/formacao/pt-no-parlamento/textos-e-publicacoes/legislacao-deuso-e-ocupacao-do-solo>>. Acesso em: 15/02/2013. São Paulo: Fundação Perseu Abramo, 2006.

VERÓL, A. P. *Requalificação Fluvial Integrada ao Manejo de Águas Urbanas para o Desenvolvimento Sustentável da Cidade*. Tese de Doutorado - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2013.

VILLAÇA, F., “Uma contribuição para a história do planejamento urbano no Brasil”. In: *O processo de urbanização no Brasil*. Organizado por DEÁK, C. e SCHIFFER, S. R., São Paulo: Edusp/FUPAM, p. 170-243, 1999.

VILLAÇA, F., Efeitos do espaço sobre o social na metrópole brasileira. In: Souza, M. A. A. de, e outros. *Metrópole e globalização*. São Paulo: Cedesp, 1999.

VILLAÇA, F., *As ilusões do Plano Diretor*. São Paulo: Publicação em meio digital. Disponível em: <http://www.usp.br/fau/fau/galeria/paginas/index.html>. Acesso: 20/08/2014

VILLAÇA, F., 1998, *Espaço intra-urbano no Brasil*. São Paulo: Studio Nobel/FAPESP, 1998.

VILLAÇA, F., 1999 *Uma contribuição para a história do planejamento urbano no Brasil*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1999.

VIANA, L. F., 2001, “Metamorfoses Urbanas: Possibilidades para um urbanismo social”. 2001. (Apresentação de Trabalho/Outra). Disponível em http://www.abrapso.org.br/siteprincipal/images/Anais_XVENABRAPSO/590.%20meta%20morfozes%20urbanas.pdf. Acesso em 15/10/2014

VILLAÇA, F., *As ilusões do Plano Diretor*. São Paulo: Publicação em meio digital disponível no site <http://www.usp.br/fau/fau/galeria/paginas/index.html>, agosto de 2005.

VSC, 1999, *Urban Stormwater: Best Practice Environmental Management Guidelines*. Victorian Stormwater Committee. CSIRO Publishing eBook edition, Melbourne.

WARD, S.V., 1994, *Planning and Urban Change*, Paul Chapman, London. Sage.

WARD, J. V., 1989, "The four-dimensional nature of lotic ecosystems". *J. North Am. Benthol. Soc.*, v.8, pp.2-8.

WARD, J. V., 1998, "Riverine Landscapes: Biodiversity patterns, disturbance regimes and aquatic conservation", *Biological Conservation*, v.83, n.3, pp.269-278.

WARD, P.J.; PAUW, W.P.; VAN BUUREN, M.W.; MARFAI, M.A., 2013, "Governance of flood risk management in a time of climate change: the cases of Jakarta and Rotterdam", *Environmental Politics*. v.22, n.3, pp.518-536.

WMO - World Meteorological Organization, 2008, *Urban Flood Risk Management- A Tool for Integrated Flood Management*, Version 1.0. Flood Management Tools - Associated Programme on Flood Management (APFM). Technical Document No. 11.

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

WONG T.H.F. (ed.), ALLEN R., BERINGER J., BROWN R.R., CHAUDHRI V., DELETIC A., FLETCHER T.D., GERNJAK W., HODYL L., JAKOB C., REEDER M., TAPPER N. AND WALSH C., 2011, *blueprint2011 – Stormwater management in a Water Sensitive City*. Melbourne, Australia: Centre for Water Sensitive Cities.

ZONENSEIN, J., 2007, *Índice de Risco de Cheia como Ferramenta de Gestão de Enchentes*. Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Engenharia Civil, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 105 p.

ZONENSEIN, J.; MIGUEZ, M. G.; MAGALHÃES, L. P. C.; VALENTIN, M.G.; MASCARENHAS, F. C. B., 2008, "Flood Risk Index as an Urban Management Tool". In: *Proceedings of the 11th International Conference on Urban Drainage*. Edinburgh, Scotland, UK.

10. Anexo 1

Tabela 10.1: Parâmetros de separação da chuva efetiva na área modelada por células.

célula	2010	1990	Proporção
1001	5527	401	0.07
1002	0	0	-
1003	1728	135	0.08
1004	721	721	1.00
1005	1319	1319	1.00
1006	1053	1053	1.00
1007	6211	5793	0.93
1008	3626	3626	1.00
1009	3576	2920	0.82
1010	3172	1498	0.47
1011	199	36	0.18
1012	0	0	-
1013	4693	2816	0.60
1014	4325	3266	0.76
1015	2848	2848	1.00
1016	5568	2170	0.39
1017	4138	3889	0.94
1018	2888	1511	0.52
1019	1108	1108	1.00
1020	3294	1743	0.53
1021	1	1	1.00
1022	0	0	-
1023	3527	3348	0.95
1024	3342	1563	0.47
1025	5419	3362	0.62
1026	3617	3617	1.00
1027	1	1	1.00
1028	1967	1762	0.90
1029	1	1	1.00
1030	4437	4437	1.00
1031	1	1	1.00
1032	0	0	-
1033	1016	1016	1.00
1034	1817	1081	0.60
1035	357	18	0.05
1036	3496	3496	1.00
1037	357	9	0.03
1038	4635	3796	0.82
1039	372	9	0.02
1040	5307	4246	0.80

célula	2010	1990	Proporção
1154	3551	3551	1.00
1155	4953	3764	0.76
1156	4980	4113	0.83
1157	3620	2809	0.78
1158	4227	3183	0.75
1159	4772	3197	0.67
1160	5014	3171	0.63
1161	1746	1746	1.00
1162	4508	2234	0.50
1163	3663	3254	0.89
1164	4141	3395	0.82
1165	4115	3494	0.85
1166	4783	3347	0.70
1167	4178	3013	0.72
1168	4348	3738	0.86
1169	5092	2689	0.53
1170	5007	4433	0.89
1171	4968	2024	0.41
1172	3674	3001	0.82
1173	4370	561	0.13
1174	4573	3214	0.70
1175	0	0	-
1176	4355	4349	1.00
1177	0	0	-
1178	5626	5041	0.90
1180	6018	4473	0.74
1181	6451	2184	0.34
1182	4228	2790	0.66
1184	0	0	-
1191	3103	3103	1.00
1192	4482	3766	0.84
1201	4302	2904	0.68
1202	5465	4031	0.74
1211	4416	3681	0.83
1212	5417	3928	0.73
1214	3187	1186	0.37
1216	4124	4051	0.98
1218	2527	2033	0.80
1221	3450	3450	1.00
1222	4245	3585	0.84

1041	878	120	0.14
1042	2264	1359	0.60
1043	966	966	1.00
1044	4967	3790	0.76
1045	384	66	0.17
1046	4550	3542	0.78
1047	3344	2914	0.87
1048	4364	2892	0.66
1049	2678	2209	0.82
1050	3929	3929	1.00
1051	2810	2428	0.86
1052	2349	2349	1.00
1053	2776	2776	1.00
1054	3587	3587	1.00
1055	4452	3477	0.78
1056	4050	4050	1.00
1057	5214	4638	0.89
1058	3614	3614	1.00
1059	4616	4616	1.00
1060	4186	3575	0.85
1061	2700	2700	1.00
1062	2275	2119	0.93
1063	4652	4201	0.90
1064	2947	2820	0.96
1065	4562	1737	0.38
1066	3878	3769	0.97
1067	3722	2907	0.78
1068	4656	4656	1.00
1069	2280	2280	1.00
1070	6015	4061	0.68
1071	1372	1372	1.00
1072	7122	5162	0.72
1073	3344	3012	0.90
1074	5717	4406	0.77
1075	2114	2114	1.00
1076	5712	3475	0.61
1077	4112	3170	0.77
1078	5331	3645	0.68
1079	4141	3706	0.90
1080	6004	5325	0.89
1081	1482	1482	1.00
1082	3950	2299	0.58
1083	3373	2334	0.69
1084	5069	3990	0.79
1085	5657	3785	0.67

1224	5040	3969	0.79
1226	4969	4774	0.96
1228	3862	3336	0.86
1229	4799	4005	0.83
1230	3331	3331	1.00
1231	3731	3731	1.00
1232	4846	3629	0.75
1233	3825	2477	0.65
1235	4454	171	0.04
1237	3839	1048	0.27
1239	2418	2268	0.94
1240	1031	285	0.28
1241	3215	2327	0.72
1242	3825	2149	0.56
1243	202	89	0.44
1244	7830	4940	0.63
1245	209	88	0.42
1246	2000	793	0.40
1247	265	177	0.67
1249	230	141	0.61
1250	2652	2578	0.97
1251	4131	2788	0.67
1252	5111	4381	0.86
1253	321	194	0.60
1254	4213	3777	0.90
1255	6864	5511	0.80
1256	5942	4085	0.69
1257	0	0	-
1258	4883	4883	1.00
1260	3050	3050	1.00
1261	3560	3560	1.00
1262	6495	5080	0.78
1264	6859	5430	0.79
1266	5876	4664	0.79
1268	5387	4401	0.82
1270	1844	359	0.19
1271	5209	4186	0.80
1272	5742	3811	0.66
1274	1562	268	0.17
1276	2528	496	0.20
1278	5052	1586	0.31
1281	5228	1837	0.35
1282	3569	0	-
1284	4680	3163	0.68
1286	3426	3221	0.94

1086	4867	3564	0.73
1087	4260	723	0.17
1088	802	802	1.00
1089	4837	2455	0.51
1090	264	117	0.44
1091	3441	3441	1.00
1092	3733	3733	1.00
1093	4162	9857	2.37
1094	1519	652	0.43
1095	1782	1334	0.75
1096	3540	2432	0.69
1097	7638	7638	1.00
1098	2367	820	0.35
1099	13888	8333	0.60
1100	475	65	0.14
1101	2875	2875	1.00
1102	3923	3923	1.00
1103	5803	2283	0.39
1104	264	117	0.44
1105	4488	4488	1.00
1106	470	470	1.00
1107	3796	2996	0.79
1108	2427	1370	0.56
1109	4797	3926	0.82
1110	1838	1838	1.00
1111	2868	2868	1.00
1112	7107	4152	0.58
1113	3306	1394	0.42
1114	3284	3284	1.00
1115	2485	2206	0.89
1116	4827	4827	1.00
1117	5591	2747	0.49
1118	6453	5150	0.80
1119	4278	1962	0.46
1120	5284	3249	0.61
1121	4933	4805	0.97
1122	5876	5745	0.98
1123	7563	343	0.05
1124	4018	3766	0.94
1125	5329	1825	0.34
1126	6361	3884	0.61
1127	4223	1946	0.46
1128	5825	4277	0.73
1129	4680	1760	0.38
1130	5666	3931	0.69

1301	8228	7074	0.86
1302	3441	3441	1.00
1311	4953	3917	0.79
1312	6860	4775	0.70
1321	4615	4259	0.92
1322	5056	5056	1.00
1331	4720	4550	0.96
1332	6098	6098	1.00
1335	3362	3362	1.00
1341	4723	3853	0.82
1342	2357	2357	1.00
1343	3185	3185	1.00
1348	3920	3834	0.98
1351	14174	8230	0.58
1352	5282	2727	0.52
1361	4489	4354	0.97
1362	6606	483	0.07
1371	5484	4192	0.76
1372	4764	1662	0.35
1373	3978	539	0.14
1382	1710	1710	1.00
1392	2114	1938	0.92
1402	5789	4909	0.85
1461	2385	1698	0.71
1462	1213	628	0.52
1471	5100	2695	0.53
1472	1657	636	0.38
1481	5054	4574	0.91
1482	2363	319	0.13
1491	5393	2823	0.52
1492	2076	15	0.01
1493	2567	1727	0.67
1501	3294	2491	0.76
1502	2894	2337	0.81
1503	2628	2231	0.85
1512	9804	3735	0.38
1522	1533	1533	1.00
1531	3957	735	0.19
1532	5674	3342	0.59
1551	0	0	-
4601	4703	19	-
4602	307	0	-
4701	6511	491	0.08
4702	344	0	-
4801	4665	518	0.11

1131	7155	800	0.11
1132	6299	2922	0.46
1133	4659	2589	0.56
1134	2975	2734	0.92
1135	3789	1818	0.48
1136	3563	3563	1.00
1137	3547	3547	1.00
1138	5221	5221	1.00
1139	3612	3612	1.00
1140	5679	4396	0.77
1141	5680	5644	0.99
1142	5124	3701	0.72
1143	2983	2449	0.82
1144	5733	4337	0.76
1145	5069	1862	0.37
1146	5992	4460	0.74
1147	3375	1768	0.52
1148	5508	4572	0.83
1149	3357	2513	0.75
1150	5394	4255	0.79
1151	3160	2402	0.76
1152	5607	2250	0.40
1153	3762	1626	0.43

4802	552	36	0.06
4901	970	158	0.16
4902	849	22	0.03
5001	193	93	0.48
5002	781	80	0.10
5101	0	0	-
5102	0	0	-
5201	0	0	-
5202	0	0	-
5301	0	0	-
5302	0	0	-
5401	1055	1055	1.00
5402	3598	685	0.19
5501	1282	385	0.30
5502	0	0	-
5601	3710	172	0.05
5602	0	0	-
5701	4067	603	0.15
5702	0	0	-
5801	4809	4809	1.00
5802	0	0	-
5803	2997	300	0.10
5804	0	0	-