



QUADRO METODOLÓGICO PARA AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DE
PROJETOS DE URBANIZAÇÃO, SOB A ÓTICA DA INTERAÇÃO ÁGUA E
CIDADE

Bruna Peres Battemarco

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.

Orientadores: Marcelo Gomes Miguez

Aline Pires Veról

Rio de Janeiro

Março de 2020

QUADRO METODOLÓGICO PARA AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DE
PROJETOS DE URBANIZAÇÃO, SOB A ÓTICA DA INTERAÇÃO ÁGUA E
CIDADE

Bruna Peres Battemarco

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

Orientadores: Marcelo Gomes Miguez

Aline Pires Veról

Aprovada por: Prof. Marcelo Gomes Miguez

Prof. Paulo Canedo de Magalhães

Prof. Rodrigo Rinaldi de Mattos

Prof. Alfredo Akira Ohnuma Júnior

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MARÇO DE 2020

Battemarco, Bruna Peres

Quadro Metodológico para Avaliação Quantitativa de Projetos de Urbanização, sob a Ótica da Interação Água e Cidade / Bruna Peres Battemarco – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2020.

XXVI, 201 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadores: Marcelo Gomes Miguez

Aline Pires Veról

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Civil, 2020.

Referências Bibliográficas: p. 170-185.

1. Quadro metodológico. 2. Avaliação Quantitativa. 3. Interação Água e Cidade. 4. Cátedra UNESCO de Drenagem Urbana em Regiões de Planície Costeira da UFRJ. I. Miguez, Marcelo Gomes *et al.* II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Civil. III. Título.

Para minha mãe, Jurema, minha maior incentivadora, com todo o meu amor.

Agradecimentos

Agradeço, primeiramente, a Deus, pela vida, pela saúde, pela força e pela oportunidade de crescer e sempre aprender.

Aos meus pais, Jurema e Vicente, que sempre fizeram o possível e o impossível para que eu pudesse alcançar meus sonhos e que me fizeram ser quem sou hoje, sendo minhas inspirações. Obrigada por serem meus maiores incentivadores! Obrigada, mãe, por me dar força, de onde quer que esteja, para seguir. Obrigada, pai, por não me deixar desanimar e por aturar meu mau humor, principalmente, na reta final.

À minha irmã, Thatiane, que sempre acreditou no meu potencial e me apoiou e apoia em todos os meus passos. A todos os meus tios e primos, que sempre manifestaram carinho e entusiasmo torcendo pelo meu sucesso.

A todos os meus queridos amigos, que estão sempre presentes, por todo o apoio, compreensão e torcida, em especial a Vivian, Larissa, Karla, Lanne, Vinicius, Nelson, Diego, Rennan, Carolina, Fellipe, Bianca, Lucas, Priscila e Natascha. Obrigada por sempre me impulsionarem a buscar o meu melhor, seja pessoal ou profissionalmente.

Aos meus parceiros de mestrado, em especial, Betina, Carol, Hugo, Morganna, Pedro e Priscila. Que bom ter vocês para dividir as alegrias e desesperos ao longo desse período.

À minha segunda família, toda a equipe LHC, com quem convivi tantos anos e aprendi muito. Muito obrigada a todos, especialmente, Anna Beatriz, Paula, Rodrigo e Virgílio pelo incentivo; Antonio, Matheus e Osvaldo por, além do auxílio com a modelagem matemática no momento em que mais precisei, todo o apoio e força durante todos esses anos; Ianic pela ajuda com dados necessários para a introdução da ecologia da paisagem na avaliação proposta; Francis por todo o suporte, disponibilidade de ajudar, dados fornecidos e ânimo, principalmente nessa reta final; e Fernanda por me ouvir, me dar força e me incentivar sempre.

A todos aqueles que participaram de forma direta ou indireta no trabalho desenvolvido nesta dissertação, em especial aos alunos Gustavo Lennon e Beatriz Amback da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UFRJ, que foram muito importantes nesse processo. Muito obrigada por todo apoio e dedicação! Agradeço também às alunas

Mylenna Linares e Ana Luzia Argôlo pela ajuda em diferentes momentos da confecção deste trabalho.

A João Paulo Fraga, amigo de DRHIMA e parceiro de profissão, pela força e pela disponibilidade em ajudar, principalmente pela definição do desenho da Alternativa de Urbanização 1 utilizada neste trabalho e pelo auxílio na modelagem matemática da mesma.

A Ronan Bezerra, graduando de Engenharia Civil, responsável pela definição da Alternativa 2 utilizada neste trabalho.

À Fundação Rio-Águas, pelo fornecimento dos dados necessários para a calibração do modelo matemático.

Aos meus queridos orientadores Marcelo Miguez e Aline Veról, por confiarem em mim durante esses nove anos de convivência, com quem aprendi a crescer profissionalmente e a gostar, cada vez mais, da questão da dinâmica da água no meio urbano. Obrigada, como sempre, pela disponibilidade de ouvir e aconselhar e, principalmente, pela dedicação na orientação deste trabalho. Vocês aceitam minhas loucuras e eu aceito as de vocês! Seguimos assim buscando sempre o melhor. Muito obrigada!

Ao Professor Paulo Canedo, membro da banca e inspiração profissional, não só pela disponibilidade em contribuir para este trabalho, mas também por todo aprendizado ao longo desses anos de convivência.

Aos Professores Alfredo Akira e Rodrigo Rinaldi, membros da banca, pela disponibilidade em contribuir para o trabalho desenvolvido e pela compreensão diante do momento em que vivemos.

À Cátedra UNESCO de Drenagem Urbana em Regiões de Planície Costeira (*UNESCO Chair for Urban Drainage in Regions of Coastal Lowlands*) da Universidade Federal do Rio de Janeiro, a qual este trabalho de pesquisa está vinculado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo suporte financeiro para o desenvolvimento da pesquisa.

A todos que fizeram parte dessa caminhada, o meu muito obrigada.

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

QUADRO METODOLÓGICO PARA AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DE
PROJETOS DE URBANIZAÇÃO, SOB A ÓTICA DA INTERAÇÃO ÁGUA E
CIDADE

Bruna Peres Battemarco

Março/2020

Orientadores: Marcelo Gomes Miguez

Aline Pires Veról

Programa: Engenharia Civil

Este trabalho propõe a definição de um quadro metodológico que permite avaliar projetos de urbanização em uma bacia hidrográfica, sob o ponto de vista de redução de vulnerabilidades e aumento de resiliência, com consequente redução de riscos, requalificação fluvial e ambiental no meio urbano e eficiência da infraestrutura urbana. Para tal fim, a base inicial deste quadro metodológico parte da utilização de modelagem matemática hidrodinâmica como ferramenta para obter dados do comportamento das inundações na bacia, em diferentes alternativas de projeto. Complementarmente, as várias dimensões analisadas para hierarquização de projeto são avaliadas através da aplicação de índices multicritério, a saber: Índice de Resiliência a Inundações (IRES), Índice de Vulnerabilidade a Inundações (IVI), Índice de Requalificação Fluvial Urbana (REFLU), Índice de Avaliação da Qualidade Ambiental (IAQA) e Índice de Eficiência da Infraestrutura Urbana (IEIU), que, em conjunto, abordam aspectos sociais, econômicos, infraestruturais e ambientais. Os índices IRES e REFLU são pré-existentes, enquanto os índices IVI, IAQA e IEIU são originais, desenvolvidos neste trabalho. Por fim, é proposta ainda a integração destas diversas dimensões através do Índice de Avaliação de Projeto (IAP), que fornece uma medida geral de referência, para facilitar a tomada de decisão na escolha da melhor e mais adequada alternativa de projeto. Uma demonstração da aplicação da metodologia proposta é realizada, considerando como estudo de caso Vargem Grande, bairro em expansão na Zona Oeste do município do Rio de Janeiro.

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

METHODOLOGICAL FRAMEWORK FOR QUANTITATIVE ASSESSMENT OF
URBANIZATION PROJECTS, CONSIDERING WATER AND CITY
INTERACTION

Bruna Peres Battemarco

March/2020

Advisors: Marcelo Gomes Miguez

Aline Pires Veról

Department: Civil Engineering

This work proposes a methodological framework that allows the evaluation of urbanization projects on a watershed, considering vulnerability reduction and increased resilience, thus reducing risks, as well as river and environmental restoration in the city and the efficiency of urban infrastructure. In order to map the watershed flood behavior in each scenario, as the first methodological step, a hydrodynamic mathematical modeling tool was used to support this task. Then the different dimensions considered in the project assessment were represented by multicriteria indexes, as follows: Flood Resilience Index (FResI), Flood Vulnerability Index (FVI), Urban River Restoration Index (URRIx), Environmental Quality Assessment Index (EQAI) and Urban Infrastructure Efficiency Index (UIEI). These indexes together approach social, economic, infrastructure, and environmental aspects. FVI, EQAI and UIEI are original contributions, while FResI and URRIx are pre-existing indexes. Finally, the Design Evaluation Index (DEI) is proposed, which groups the individual results obtained for each index, providing a general integrated measure that aims to support decision making in choosing the best and most suitable design alternative for the place of interest. An application demonstration of the proposed methodology is carried out considering a case study Vargem Grande, a developing neighborhood in the West Zone of the city of Rio de Janeiro.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Contexto e Motivação	1
1.2. Objetivos	3
1.3. Metodologia.....	4
1.4. Estudo de Caso: Vargem Grande, Rio de Janeiro, RJ	5
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1. Manejo de Águas Pluviais em Áreas Urbanas	7
2.1.1. Evolução das Abordagens em Drenagem Urbana	7
2.1.2. Água e as Cidades.....	10
2.1.3. Drenagem Urbana Sustentável	14
2.1.4. Cidades Sensíveis a Água	17
2.2. Risco e Gestão de Risco de Cheias Urbanas	19
2.2.1. Risco e suas Componentes	19
2.2.2. Resiliência e Cidades Resilientes a Inundações	26
2.2.3. Gestão de Riscos de Desastres	30
2.2.4. Gestão de Riscos de Cheias Urbanas	33
2.3. Planejamento Urbano e Aspectos Legais	37
2.3.1. Lei de Parcelamento do Solo Urbano	38
2.3.2. Estatuto da Cidade	40
2.3.3. Plano Diretor	41
2.3.4. Plano de Estruturação Urbana	45
2.3.5. Novo Código Florestal.....	53
2.4. Interface entre a Drenagem/Gestão de Risco de Inundações e o Planejamento Urbano	55
2.5. Índices	64
3. METODOLOGIA.....	67

3.1.	Ferramenta de Modelagem Matemática: MODCEL	69
3.2.	Índice de Resiliência a Inundações (IRES).....	71
3.2.1.	Subíndice Perigo (I _P).....	73
3.2.2.	Subíndice Exposição (I _E)	73
3.2.3.	Subíndice Susceptibilidade (I _S)	74
3.2.4.	Subíndice Valor Relativo (I _{VR}).....	74
3.2.5.	Subíndice Fator de Permanência (I _{FP}).....	75
3.3.	Índice de Vulnerabilidade a Inundações (IVI)	76
3.3.1.	IVI – Componente de Vulnerabilidade Social	77
3.3.2.	IVI – Componente de Vulnerabilidade Econômica e Infraestrutural	79
3.3.3.	IVI – Componente de Vulnerabilidade Ambiental.....	81
3.4.	Índice de Requalificação Fluvial Urbana (REFLU)	83
3.4.1.	Subíndice Estado Geral da Bacia (EGB)	83
3.4.2.	Subíndice Conectividades (C).....	85
3.4.1.	Subíndice Redução do Risco Hidráulico (RRH).....	87
3.5.	Índice de Avaliação da Qualidade Ambiental (IAQA).....	87
3.6.	Índice de Eficiência da Infraestrutura Urbana (IEIU).....	89
3.7.	Índice de Avaliação de Projeto (IAP)	89
4.	ESTUDO DE CASO: VARGEM GRANDE, RIO DE JANEIRO, RJ	90
4.1.	Aspectos Históricos	90
4.2.	Caracterização da Área de Estudo: Vargem Grande, RJ	92
4.2.1.	Unidade de Conservação: Parque Estadual da Pedra Branca.....	97
4.2.2.	Uso e Ocupação do Solo	98
4.2.3.	Relevo e Geomorfologia	99
4.2.4.	Hidrografia	101
4.2.5.	Caracterização da Área de Intervenção.....	107
4.3.	Alternativas Consideradas.....	109

4.3.1.	Alternativa de Urbanização 1 - PEU das Vargens.....	110
4.3.2.	Alternativa de Urbanização 2 - Parques Lineares	113
4.3.3.	Alternativa de Urbanização 3 - Parques com Bacias de Retenção	116
4.3.4.	Resumo das Alternativas.....	120
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	121
5.1.	Modelagem Matemática (MODCEL)	121
5.1.1.	Divisão de Células e Condições de Contorno	122
5.1.2.	Calibração	123
5.1.3.	Chuva de Projeto	125
5.1.4.	Modelagem das Alternativas de Projeto	126
5.1.5.	Resultados	127
5.2.	Índice de Resiliência a Inundações (IRES).....	133
5.2.1.	Subíndice Exposição.....	134
5.2.2.	Subíndice Susceptibilidade	136
5.2.3.	Subíndice Valor Relativo	137
5.2.4.	Subíndices Perigo e Fator de Permanência	143
5.2.5.	Resultados	144
5.3.	Índice de Vulnerabilidade a Inundações (IVI)	145
5.3.1.	IVI – Componente de Vulnerabilidade Social	145
5.3.2.	IVI – Componente de Vulnerabilidade Econômica e Infraestrutural	148
5.3.3.	IVI – Componente de Vulnerabilidade Ambiental.....	150
5.3.4.	Resultados	152
5.4.	Índice de Requalificação Fluvial Urbana (REFLU)	155
5.4.1.	Subíndice Estado Geral da Bacia (EGB)	156
5.4.2.	Subíndice Conectividades (C)	158
5.4.3.	Subíndice Redução do Risco Hidráulico (RRH).....	159
5.4.4.	Resultados	160

5.5. Índice de Avaliação da Qualidade Ambiental (IAQA).....	161
5.6. Índice de Eficiência da Infraestrutura Urbana (IEIU).....	162
5.7. Índice de Avaliação de Projeto (IAP).....	164
6. CONCLUSÕES	165
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	170
ANEXO.....	186

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: A evolução da prática de gestão de risco de inundação (SAYERS <i>et al.</i> , 2013)	8
Figura 2.2: Conceito Tradicional de Drenagem	10
Figura 2.3: Alterações no balanço hídrico provocadas pela urbanização (MIGUEZ <i>et al.</i> , 2016)	12
Figura 2.4: Efeito da urbanização no hidrograma da bacia (SCHUELER, 1987 <i>apud</i> VERÓL, 2013).....	12
Figura 2.5: Efeitos da urbanização (HALL, 1984 <i>apud</i> MIGUEZ <i>et al.</i> , 2016)	14
Figura 2.6: Conceito de Drenagem Urbana Sustentável	16
Figura 2.7: WSUD – Water Sensitive Urban Design (MORGAN <i>et al.</i> , 2013) (Traduzido pela autora).....	18
Figura 2.8: Função do Risco.....	21
Figura 2.9: Componentes do Risco (ZONENSEIN, 2007)	22
Figura 2.10: Componentes do Risco de Desastres em um Ambiente Urbano (ADB, 2016)	23
Figura 2.11: As componentes do risco de inundações (Adaptado de SAYERS <i>et al.</i> , 2013 <i>apud</i> REZENDE, 2018)	25
Figura 2.12: Ciclo de Gestão de Risco de Desastres	31
Figura 2.13: Processo de Gestão Integrada de Risco de Inundação Urbana (Adaptado de Jha <i>et al.</i> , 2012b).....	35
Figura 2.14: Macrozonas de Ocupação no Município do Rio de Janeiro segundo a Lei Complementar Nº 111 (RIO DE JANEIRO, 2011)	44
Figura 2.15: Limites dos Setores definidos no PEU das Vargens com destaque para a área de estudo (RIO DE JANEIRO, 2009).....	46
Figura 2.16: Zoneamento dos Setores E e G – PEU das Vargens (RIO DE JANEIRO, 2009)	47
Figura 2.17: Mapa Síntese – Principais Propostas do Plano Popular das Vargens (PLANO POPULAR DAS VARGENS, 2017 <i>apud</i> ROCHA, 2018)	52
Figura 2.18: Componentes prioritários em um plano (PELLEGRINO, 2000)	60
Figura 2.19: Proposta de Projeto Multifuncional na Praça Barão de Drummond, Vila Isabel (TEBALDI, 2014).....	62

Figura 2.20: Possibilidades de Introdução de Medidas de Drenagem Urbana Sustentável no meio urbano – Escala da Calçada	63
Figura 3.1: Fluxograma de Processo de Decisão Proposto	68
Figura 3.2: Funcionamento esquemático de uma célula de escoamento (MIGUEZ <i>et al.</i> , 2018)	70
Figura 3.3: Curva de normalização para o I _{FP} , com interpolação linear entre limites. ...	76
Figura 3.4: Normalização do Indicador de Declividade - I _D (Subíndice Susceptibilidade)	79
Figura 3.5: Normalização do Indicador de Capacidade de Recuperação - I _{CR} (Subíndice Resiliência)	81
Figura 4.1: Divisões Administrativas Setoriais - Município do Rio de Janeiro. Elaborado pela autora com dados do IPP (2018).	93
Figura 4.2: Bairros na Região Administrativa XXIV – Barra da Tijuca. Elaborado pela autora com dados do IPP (2018).	93
Figura 4.3: Plano Piloto de Lúcio Costa, 1969 (FERNANDES, 2013).	95
Figura 4.4: Curva de Crescimento Populacional em Vargem Grande, Rio de Janeiro. Elaborado pela autora com base em dados do Data Rio.	96
Figura 4.5: Localização do Parque Estadual da Pedra Branca. Elaborado pela autora com dados do INEA (2011).	97
Figura 4.6: Mapa de Uso e Ocupação do Solo (2015) – Região Administrativa da Barra da Tijuca. Elaborado pela autora com dados do IPP.	98
Figura 4.7: Mapa de Geomorfologia – Região Administrativa da Barra da Tijuca. Elaborado pela autora com dados do INEA (2011).	100
Figura 4.8: Mapa Topográfico – Região Administrativa da Barra da Tijuca. Elaborado pela autora com dados do IPP (2013).	101
Figura 4.9: Sub-Bacia da Zona dos Canais, Rede Hidrográfica e Bacia Contribuinte ao Canal de Sernambetiba. Elaborado pela autora com dados do IPP (2018).	102
Figura 4.10: Evolução Histórica da Configuração Hidrográfica da Região em estudo. Mapas disponíveis no Arquivo Nacional.	104
Figura 4.11: Caracterização do Canal de Sernambetiba: (1) Rio Morto próximo à confluência com o Rio Vargem Grande; (2) Ocupações irregulares na margem direita do Rio Vargem Grande; (3) Confluência dos Rios Morto e Vargem Grande; (4) Foto aérea da planície à direita do Canal de Sernambetiba; (5) a (8) Canal de Sernambetiba e Estrada Vereador Alceu de Carvalho ao longo da sua margem esquerda; (9) e (10) Trecho final	

do Canal de Sernambetiba – Fotos da autora datadas de 02/08/2018. Elaborado por Gustavo Lennon.....	106
Figura 4.12: Localização da área de aplicação das alternativas no bairro de Vargem Grande. Elaborado pela autora.	108
Figura 4.13: Área de intervenção e seu entorno ambientalmente relevante (MIGUEZ et al., 2019).....	108
Figura 4.14: Estrutura Viária Existente e Prevista pela Prefeitura na Área de Intervenção. Elaborado por Gustavo Lennon.....	109
Figura 4.15: Setores de Planejamento na Área de Intervenção – PEU das Vargens. Elaborado por Gustavo Lennon.....	110
Figura 4.16: Alternativa de Urbanização 1 - PEU das Vargens - Concepção e Detalhes do Projeto. Elaborado por Gustavo Lennon.....	112
Figura 4.17: Previsão do projeto Corredor Verde Recreio completamente implementado em 2030 (REVISTA PARQUES CARIOCAS, 2015).....	114
Figura 4.18: Alternativa de Urbanização 2 - Parques Lineares - Concepção e Detalhes do Projeto. Adaptado por Gustavo Lennon a partir de Brito <i>et al.</i> (2017).	115
Figura 4.19: Dimensionamento da Bacia de Retenção do Rio Cascalho.....	117
Figura 4.20: Dimensionamento da Bacia de Retenção do Rio Bonito.	117
Figura 4.21: Dimensionamento da Bacia de Retenção do Dreno K.....	117
Figura 4.22: Vias consideradas e vias desconsideradas na Alternativa de Urbanização 3 - Parques com Bacias de Retenção. Elaborado por Gustavo Lennon.	118
Figura 4.23: Alternativa de Urbanização 3 - Parques com Bacias de Retenção - Concepção e Detalhes do Projeto. Elaborado por Gustavo Lennon.	119
Figura 5.1: Discretização da bacia de interesse em células e indicação dos locais de entrada das condições de contorno utilizadas (CC1, CC2 e CC3 – vazões de base; CC4 – nível). Elaborado pela autora.....	122
Figura 5.2: Condição de Contorno – Maré (YAMAMOTO, 2017)	123
Figura 5.3: Localização da Estação Telemétrica de Precipitação e Nível da Fundação Rio Águas – Canal Sernambetiba – Condomínio Maramar - Lat: 23°01’52,9”S e Long. 43°29’34,2”W (RIO DE JANEIRO, 2015b).....	123
Figura 5.4: Hietograma do Evento dos Dias 05/12/2013 e 06/12/2013 – Chuva Medida – Calibração. Elaborado pela autora com base em dados da Rio Águas.	124

Figura 5.5: Condição de Contorno – Calibração – Maré (m) – Período: 22h10 (05/12/2013) a 02h30 (06/12/2013). Elaborado pela autora com dados da tábua de maré.	124
Figura 5.6: Calibração – Comparação entre os níveis medidos na Estação Canal Sernambetiba – Condomínio Maramar e os níveis simulados no MODCEL.	125
Figura 5.7: Chuva de Projeto – TR 25 anos com duração de 125 minutos. Elaborado pela autora.	125
Figura 5.8: Divisão de Células para Cada Alternativa Considerada – Foco no Recorte de Estudo. Elaborado pela autora.	126
Figura 5.9: Mancha de Inundação – Situação Atual. Elaborado pela autora.	128
Figura 5.10: Mancha de Inundação – Alternativa 1 - PEU das Vargens. Elaborado pela autora.	129
Figura 5.11: Mancha de Inundação – Cenário Disfuncional da Alternativa 1 - PEU das Vargens – Longo Prazo. Elaborado pela autora.	130
Figura 5.12: Mancha de Inundação – Alternativa 2 - Parques Lineares. Elaborado pela autora.	131
Figura 5.13: Mancha de Inundação – Alternativa 3 - Parques com Bacias de Retenção. Elaborado pela autora.	132
Figura 5.14: Compatibilização entre células utilizadas na modelagem da Situação Atual e setores censitários do IBGE (2010).	133
Figura 5.15: Processo de Quantificação do Número Total de Domicílios para as Alternativas de Urbanização Consideradas.	135
Figura 5.16: Distribuição de Classe Social: Alternativa 2 - Parques Lineares.	139
Figura 5.17: Distribuição de Classe Social: Alternativa 3 - Parques com Bacias de Retenção.	139
Figura 5.18: Porcentagem da Edificação Danificada (PED)	141
Figura 5.19: Porcentagem do Conteúdo Danificado (PCD)	142
Figura 5.20: Resultados Médios da Aplicação do IRES para cada Alternativa.	144
Figura 5.21: Porcentagens de Área Correspondentes às Faixas de Resiliência.	145
Figura 5.22: Áreas consideradas como Reservação Natural – Alternativa 2 - Parques Lineares.	151
Figura 5.23: Áreas consideradas como Reservação Natural – Alternativa 3 - Parques com Bacias de com Bacias de Retenção.	152
Figura 5.24: Resultados da Aplicação do IVI para cada Alternativa.	152

Figura 5.25: Resultados da Aplicação do IVI por Alternativa e por Dimensão	153
Figura 5.26: Resultados da Aplicação do IVI para cada Dimensão da Vulnerabilidade	155
Figura 5.27: Divisão de Trechos para a Aplicação do REFLU	156
Figura 5.28: Resultados da Aplicação do REFLU por Trecho da Bacia	160
Figura 5.29: Resultados da Aplicação do REFLU por Alternativa	161
Figura 5.30: Resultados da Aplicação do IAQA para cada Alternativa	162

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Fases do desenvolvimento das águas urbanas (Adaptado de TUCCI, 2008)	10
Tabela 2.2: Impactos da urbanização sobre as inundações (CARNEIRO; MIGUEZ, 2011)	13
Tabela 2.3: Tipologia de danos decorrentes de inundações urbanas (MACHADO <i>et al.</i> , 2005)	24
Tabela 2.4: Parâmetros Urbanísticos – Setor E (RIO DE JANEIRO, 2009)	47
Tabela 2.5: Parâmetros Urbanísticos – Setor G (RIO DE JANEIRO, 2009)	48
Tabela 3.1: Indicadores – Índice de Vulnerabilidade a Inundações (IVI)	77
Tabela 3.2: Normalização do Indicador de Declividade (I_D)	78
Tabela 4.1: Extensão territorial das Áreas de Planejamento. Elaborado pela autora com dados do IPP (2018)	94
Tabela 4.2: População Residente na AP4, na Região Administrativa XXIV e seus Bairros – Crescimento 1991-2010. Elaborado pela autora com base em dados do Data Rio.	96
Tabela 4.3: Uso e Ocupação do Solo para o Bairro de Vargem Grande	99
Tabela 4.4: Resumo das Alternativas consideradas	120
Tabela 5.1: Condições de Contorno de Vazão (YAMAMOTO, 2017)	123
Tabela 5.2: Número Total de Células por Alternativa de Urbanização Considerada	126
Tabela 5.3: Volumes de Alagamento por Faixa de Nível d'água – Situação Atual	128
Tabela 5.4: Volumes de Alagamento por Faixa de Nível d'água – Alternativa 1 – PEU das Vargens e Cenário Disfuncional da Alternativa 1	130
Tabela 5.5: Volumes de Alagamento por Faixa de Nível d'água – Alternativa 2 – Parques Lineares e Alternativa 3 – Parques com Bacias de Retenção	132
Tabela 5.6: Classe Social - ABEP (2012) - ano base 2010	137
Tabela 5.7: Porcentagem de Área do Projeto Destinada a Cada Classe Social – Estimativa com base nos dados do Censo do IBGE (2010) para a área de estudo	138
Tabela 5.8: Áreas Reais (m^2) e CUB ($R\$/m^2$)	140
Tabela 5.9: Porcentagem da Edificação Danificada (Adaptado de Salgado, 1995)	140
Tabela 5.10: CUB do Conteúdo ($R\$/m^2$) em 1995 e seu valor corrigido pelo IPCA-E para 2010	141
Tabela 5.11: Porcentagem do Conteúdo Danificado (Adaptado de Salgado, 1995)	142

Tabela 5.12: Valores médios de renda domiciliar e renda mínima necessária por classe social (Adaptado de Guimarães (2016) e Rosa (2015)).....	143
Tabela 5.13: Faixas de Resiliência - IRES	145
Tabela 5.14: Variáveis utilizadas para o cálculo do indicador de alfabetização	147
Tabela 5.15: Variáveis utilizadas para o cálculo do indicador de condições do entorno	149
Tabela 5.16: Coeficientes de Escoamento Superficial Médios Utilizados	150
Tabela 5.17: Total de área com capacidade de reservação natural.....	151
Tabela 5.18: Coeficientes de Escoamento Superficial Médios	157
Tabela 5.19: Informações necessárias para a aplicação do IEIU	163
Tabela 5.20: Resultados obtidos com a aplicação do IEIU	163
Tabela 5.21: Tabela síntese dos resultados obtidos por índice e valor final do IAP	164

LISTA DE SIGLAS

$\%A_v$ – Porcentagem de Área Verde na Área Urbana Total de Análise

$\%A_{v,o}$ – Porcentagem de Área Ótima Destinada a Espaços Livres, Espaços Verdes e Instalações Públicas no Ambiente Urbano

A – Área da Mancha ou Fragmento

A_{armaz} - Área de Armazenagem Total na Bacia

A_b - Área a Montante da Barragem

ABEP – Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ADB - *Asian Development Bank*

AEIS - Área de Especial Interesse Social

A_{FMP} - Área destinada à Faixa Marginal de Proteção

AGROVARGEM - Associação dos Agricultores Orgânicos de Vargem Grande

$\text{Alag}_{\text{máx}}$ - Alagamento Máximo

AMAVAG - Associação de Moradores e Amigos de Vargem Grande

$A_{\text{O-FMP}}$ - Área ocupada inserida na Faixa Marginal de Proteção

A_p - Área Permeável da Bacia

AP4 - Área de Planejamento 4

APP - Área de Preservação Permanente

Ar - Área da Residência

A_{RN} - Área com capacidade de reservação natural/pública

A_S - Área da Bacia com Esgotamento Sanitário/Coleta de Lixo Adequados

A_T - Área total da unidade de análise considerada

ATE - Área Total Edificável

A_{total} - Área Total da Bacia

BMP - *Best Management Practices*

C – Subíndice Conectividades

CC – Condição de Contorno

CE – *Comunidad Europea*

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CIRF – *Centro Italiano per la Riqualificazione Fluviale*

CIRIA - *Construction Industry Research and Information Association*

C_1 - Indicador de Conectividade Longitudinal

CNM - Confederação Nacional de Municípios

CR - Capacidade de Recuperação

CRC - Custo de danos ao Conteúdo das residências

CRE - Custo de danos à edificação

CS – Indicador de Condições de Saneamento

C_t - Indicador de Conectividade Transversal

CUBC - Custo Unitário Básico do Conteúdo

CUBE - Custo Unitário Básico da Edificação

C_v - Indicador de Conectividade Vertical

DA - Número de domicílios com Acesso à Rede de Abastecimento de Água

DD - Densidade de Domicílios

DD_{ref} - Densidade de Domicílios de Referência

DE - Número de Domicílios com Acesso à Rede de Esgotamento Sanitário

DI - Número de Domicílios com Iluminação Pública no Entorno

DL - Número de Domicílios com Coleta de Lixo

DP - Densidade Populacional

DPav - Número de Domicílios com Pavimentação no Entorno

DP_{ref} - Densidade Populacional de Referência

DRI – *Disaster Risk Reduction*

E - Subíndice Exposição do Índice de Vulnerabilidade a Inundações

EGB – Subíndice Estado Geral da Bacia

ER - Escala de Resiliência

Ext – Extensão Total das Vias na Área de Interesse

FLEA – *Fluvial Ecosystem Assessment*

FMP - Faixa Marginal de Proteção

h - Altura da Lâmina d'Água

h_{ref} - Altura Referencial da Lâmina d'Água

I_A - Indicador Alfabetização

IAP - Índice de Avaliação de Projeto

IAQA - Índice de Avaliação da Qualidade Ambiental

IAT - Índice de Aproveitamento do Terreno

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

I_{CE} - Indicador Condições do Entorno

I_{CR} - Indicador Capacidade de Recuperação

I_D - Indicador Declividade do Terreno

I_{DD} - Indicador Densidade de Domicílios

I_{DP} - Indicador Densidade Populacional

I_E - Subíndice Exposição do Índice de Resiliência a Inundações

IEIU - Índice de Eficiência da Infraestrutura Urbana

IF – Índice de Forma

I_{FP} – Subíndice Fator de Permanência do Índice de Resiliência a Inundações

I_i - I-ésimo indicador que compõe o Índice de Requalificação Fluvial Urbana

INEA – Instituto Estadual do Ambiente

I_{O-FMP} - Indicador Ocupação na Faixa Marginal de Proteção

I_P - Subíndice Perigo do Índice de Resiliência a Inundações

IPCA-E - Índice de Preços ao Consumidor Amplo-Especial

IPP – Instituto Pereira Passos

IPTU - Imposto Predial e Territorial Urbano

IRC - Índice de Risco de Cheia

IRES - Índice de Resiliência a Inundações

IRI - Índice de Risco de Inundação

I_{RN} - Indicador Reservação Natural

I_S - Subíndice Susceptibilidade do Índice de Resiliência a Inundações

ISMFI - Índice de Susceptibilidade do Meio Físico a Inundações

I_{US} - Indicador Uso do Solo

IVI - Índice de Vulnerabilidade a Inundações

IVI_A - Índice de Vulnerabilidade a Inundações em seu Componente Ambiental

IVI_{EI} – Índice de Vulnerabilidade a Inundações em seu Componente Econômico e Infraestrutural

IVI_S - Índice de Vulnerabilidade a Inundações em seu Componente Social

I_{VR} - Subíndice Valor Relativo do Índice de Resiliência a Inundações

IVUC - Índice de Vulnerabilidade Urbana a Cheias

j – Número de subíndices que compõem o Índice de Avaliação de Projeto

K_i - K-ésimo subíndice que compõe Índice de Avaliação de Projeto

k_1, k_2, k_3 - Pesos associados aos subíndices E, S e R do Índice de Vulnerabilidade a Inundações

$L_{conexão}$ - Extensão de Margens Vegetadas

LID - *Low Impact Development*

L_{MNOC} - Extensão de Margens Não Ocupadas

L_{m_total} – Extensão Total das Margens (ambas as margens)

L_{nat} - Extensão de Margens e de Fundo Naturais

L_{total} – Extensão Total do Rio

m_1, m_2, m_3 - Pesos associados a cada uma das Parcelas do Índice de Resiliência a Inundações

MNOC – Indicador Margens Não Ocupadas pela Urbanização

MODCEL - Modelo de Células de Escoamento

n – Número total de indicadores que compõem o Índice de Requalificação Fluvial Urbana

n_1, n_2, n_3 - Pesos associados aos Subíndices I_P, I_E, I_S do Índice de Resiliência a Inundações

$N_{casas+apartamentos\ no\ térreo}$ - Somatório de Casas e Apartamentos no Térreo de Edifícios

NP - Número Total de Pessoas na Área de Interesse

$N_{total\ de\ residências}$ - Total de Residências de uma Determinada Área

OUC - Operação Urbana Consorciada

P – Indicador de Permeabilidade

p_i - Peso associado ao i -ésimo indicador do Índice de Requalificação Fluvial Urbana

PA – Número de Pessoas com Idade Igual ou Superior a 12 anos com Alfabetização

PAA - Projeto Aprovado de Alinhamento

PAL - Projeto de Alinhamento de Loteamento

PCD - Porcentagem do Conteúdo Danificado

PED - Porcentagem da Edificação Danificada

Per – Perímetro da Mancha ou Fragmento

PEU - Plano de Estruturação Urbana

PNPDEC - Política Nacional de Proteção e Defesa Civil

PUB-RIO - Plano Urbanístico Básico da Cidade do Rio de Janeiro

q_i - Peso associado ao k-ésimo subíndice do Índice de Avaliação de Projeto

R - Subíndice Resiliência do Índice de Vulnerabilidade a Inundações

RA - Região Administrativa

REFLU - Índice de Requalificação Fluvial Urbana

RRH – Subíndice Redução do Risco Hidráulico

S - Subíndice Susceptibilidade do Índice de Vulnerabilidade a Inundações

SMAC - Secretaria Municipal de Meio Ambiente

SUDS - *Sustainable Urban Drainage Systems*

t_{10} , t_{25} e t_{50} - tempos (em minutos) durante os quais uma área permanece inundada com mais de 10, 25 e 50 cm, respectivamente

T_{10} , T_{25} , T_{50} – Normalização dos tempos durante os quais o alagamento permanece acima de 10 cm, 25 cm e 50 cm, respectivamente

TD - Número Total de Domicílios na Área de Interesse

TP - Número Total de Pessoas Residentes na Área de Interesse

TR – Tempo de Recorrência

UNDP - *United Nations Development Programme*

UNISDR - *United Nations Office for Disaster Risk Reduction*

V_A - Volume de Alagamento Total na Bacia no Momento Máximo do Pico da Cheia

V_{total} - Volume total efetivo da precipitação

WSUD - *Water Sensitive Urban Design*

ZRU - Zona Residencial I

ZUM 1 – Zona Residencial I, Comercial I e Serviços I

ZUM 2 - Zona Residencial I e II, Comercial I e II e Serviços I e II

ZUM 3 - Zona Residencial I, II e III, Comercial I, II e III e Serviços I, II e III

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo, são apresentados o contexto e a motivação do trabalho desenvolvido nesta dissertação, bem como os seus objetivos geral e específicos. Também são descritos brevemente a metodologia utilizada e o estudo de caso definido para a demonstração da aplicação do quadro metodológico proposto.

1.1. Contexto e Motivação

Na atualidade, um dos principais desafios das cidades é lidar com o problema das cheias urbanas, agravado pelo próprio processo de urbanização. Os prejuízos causados são inúmeros, acumulando perdas econômicas e sociais diversas e interferindo nos setores de transporte, saneamento e saúde pública. Miguez *et al.* (2016) ressaltam os danos em infraestrutura e nas habitações, a degradação do ambiente natural e a desvalorização do ambiente construído, a propagação de doenças de veiculação hídrica, o empobrecimento da população com perdas sucessivas, entre outros.

A maneira de lidar com as inundações urbanas vem sofrendo uma mudança de paradigma. A abordagem tradicional defendia obras e medidas capazes de aumentar a resistência aos eventos, como uma tentativa de controlar as inundações. Em meados do século XX, uma primeira mudança na abordagem surgiu, buscando a utilização de medidas estruturais e não estruturais para evitar as inundações e reduzir os prejuízos causados pela sua ocorrência. No entanto, com o passar dos anos, à medida em que as populações e o desenvolvimento urbano cresciam, os prejuízos continuaram a aumentar e a necessidade de priorizar o investimento tornou-se cada vez mais crucial. Desta forma, uma nova abordagem foi necessária, capaz de não apenas identificar os riscos e as consequências associadas pela ocorrência do desastre, mas também de avaliar o significado relativo dos riscos enfrentados (SEYERS *et al.*, 2013). Nascia, desta forma, a gestão de risco de cheias urbanas. Essa mudança de paradigma leva a discussão a migrar da resistência para a resiliência às inundações, ou ainda, da proteção contra inundações para o conceito de gestão dos riscos de inundação (ROOS *et al.*, 2017). Com isso, em vez de apenas se defender contra as inundações, a sociedade passa a gerenciar os seus riscos, ao mesmo tempo em que minimiza os danos.

Com esta nova abordagem, torna-se mais clara a necessidade de integração setorial no processo de pensar as cidades. A urbanização abre dois caminhos possíveis: um que gera oportunidades para o desenvolvimento sustentável e outro que aumenta o risco aos desastres, a partir do momento que aumenta a exposição e a vulnerabilidade às inundações (UNISDR, 2017). Somam-se a isso, ainda, os possíveis efeitos das mudanças climáticas, cada vez mais discutidos, que representam uma ameaça ainda maior para as regiões costeiras, devido ao aumento do nível do mar.

Como ressaltado pela Estratégia Internacional para a Redução de Desastres - *UNISDR* (2017), existem muitas razões para os governantes priorizarem a resiliência como parte de sua agenda de desenvolvimento político e sustentável. A redução de riscos e a construção da resiliência salvam vidas, melhoram o desenvolvimento social e econômico e proporcionam desenvolvimento urbano equitativo, próspero e sustentável.

Cho e Chang (2017), em um levantamento das abordagens utilizadas para representação da vulnerabilidade às inundações, entre 2006 e 2016, verificaram o constante crescimento do número de pesquisas na última década, neste contexto. Além disso, destacaram o aumento do interesse de pesquisa sobre as inundações costeiras, devido ao aumento do nível do mar, e a crescente atenção à estimativa de custos potenciais de danos causados pelas inundações. Também indicaram a importância de uma abordagem abrangente da avaliação do risco de inundações e a crescente tendência no investimento em ferramentas de suporte à decisão, como, por exemplo, indicadores capazes de quantificar risco, resiliência e vulnerabilidade. Os autores também observaram o reconhecimento de que a população pode ter capacidade diferente para se preparar, responder e se recuperar dos riscos de inundação.

Nesse contexto, estão inseridos muitos dos trabalhos realizados pelos pesquisadores do Laboratório de Hidráulica Computacional da COPPE/UFRJ nas últimas décadas. A abordagem da quantificação de risco e de seus componentes foi utilizada primeiramente na Dissertação de Mestrado de Juliana Zonensein (2007), com a criação do Índice de Risco de Cheia (IRC). Desde então, vários trabalhos foram desenvolvidos acerca do tema com a formulação de índices a serem utilizados como ferramentas de suporte à decisão. A Escala de Resiliência e o Índice de Requalificação Fluvial Urbana (REFLU) foram elaborados na Tese de Doutorado de Aline Veról (2013). O Índice de Resiliência a Inundações (IRES) teve sua primeira versão em 2015 (TEBALDI *et al.*, 2015) e evoluiu

nos trabalhos de Rezende (2018) e de Bertilsson *et al.* (2019), mantendo a avaliação da resiliência urbana a inundações nas discussões entre os pesquisadores do laboratório. Em 2016, o Índice de Susceptibilidade do Meio Físico a Inundações (ISMFI) foi criado por Francis Miranda (2016) em sua Dissertação de Mestrado e em 2017 mais dois trabalhos foram desenvolvidos nesse contexto. O Índice de Risco de Inundação (IRI) foi idealizado por Claudia Rakel Pereira (2017), com foco no componente da vulnerabilidade social, e o Índice de Vulnerabilidade Urbana a Cheias (IVUC) foi criado por Gabrielly Silva (2017), em sua Tese de Doutorado. Todos esses índices avaliaram projetos sob um aspecto específico. Com isso, surgiu o interesse de realizar uma análise abrangente de alternativas de projeto, que fosse capaz de relacionar diferentes aspectos mediante a aplicação de alguns dos índices já desenvolvidos ao longo dos anos no ambiente do laboratório, bem como desenvolvendo outros índices, para oferecer um espectro integrado de avaliação e hierarquização de projetos. Além disso, a contextualização realizada reforça a motivação para o trabalho proposto, indicando que o conteúdo desta dissertação está inserido nas discussões mais atuais e tem grande potencial para fornecer insumos importantes para o meio científico e para a prática urbana.

1.2. Objetivos

O presente trabalho possui como objetivo geral elaborar um arcabouço conceitual quali-quantitativo que permita avaliar projetos de urbanização, sob o ponto de vista de redução de vulnerabilidade e aumento de resiliência, com consequente redução de riscos, requalificação fluvial e ambiental no meio urbano e eficiência da infraestrutura urbana, tendo Vargem Grande, bairro da Zona Oeste do município do Rio de Janeiro, como estudo de caso. Os objetivos específicos são:

- ✓ Reforçar a importância do planejamento urbano que considera o desenvolvimento sustentável para a construção de cidades mais resilientes a inundações;
- ✓ Analisar a resposta a eventos de inundações de uma bacia hidrográfica em processo de expansão urbana, com uso de ferramenta de modelagem matemática, para análise e compreensão de fatores de causa e efeito, na interação entre meio natural e ambiente construído;

- ✓ Avaliar de forma quantitativa a vulnerabilidade e a resiliência a inundações bem como a qualidade fluvial e ambiental de uma bacia em processo de urbanização, frente a diferentes alternativas de uso e ocupação do solo, mediante aplicação de índices multicritério;
- ✓ Apresentar uma metodologia que combine e utilize as diferentes ferramentas de suporte à decisão exploradas no item anterior, capazes de avaliar quantitativamente aspectos sociais, econômicos, infraestruturais e ambientais para auxiliar na hierarquização e suporte à decisão entre diferentes alternativas de projeto.

1.3. Metodologia

A metodologia utilizada nesta dissertação conta com:

- ✓ Revisão bibliográfica que abrange a discussão dos aspectos da drenagem urbana, da interface entre o planejamento urbano e as legislações ambientais pertinentes, da interface entre a drenagem urbana e o planejamento urbano, do risco e da resiliência a inundações e da gestão de risco de inundações, bem como da utilização de índices como ferramenta de suporte à decisão;
- ✓ Construção de um quadro lógico de avaliação de projeto, incluindo:
 - Aspectos de avaliação de risco de inundação, com destaque para a vulnerabilidade e a resiliência a inundações, a fim de considerar as tendências atuais de migração de uma postura de controle de inundações para outra de redução de riscos;
 - Aspectos de melhoria da qualidade ambiental nas cidades, com destaque para a incorporação do conceito de requalificação fluvial e de ecologia da paisagem na avaliação;
 - Aspectos de eficiência da infraestrutura urbana;
- ✓ Integração dos aspectos metodológicos considerados importantes (e listados no item anterior) em índices multicritério individuais, como: o Índice de Resiliência a Inundações (IRES), o Índice de Vulnerabilidade a Inundações (IVI), o Índice de Requalificação Fluvial Urbana (REFLU), o Índice de Avaliação da Qualidade Ambiental (IAQA) e o Índice de Eficiência da Infraestrutura Urbana (IEIU);
- ✓ Junção dos índices aplicados em um novo índice de caráter integrador, o Índice de Avaliação de Projeto (IAP);

- ✓ Utilização de um estudo de caso para validar a metodologia proposta;
- ✓ Realização de diagnóstico do estudo de caso, apoiado em simulação matemática, bem como definição e simulação matemática de alternativas de desenvolvimento urbano para a área de estudo;
- ✓ Análise dos resultados da aplicação dos índices propostos (obtidos da literatura e outros desenvolvidos de forma original) que, em conjunto, abordam aspectos sociais, econômicos, infraestruturais e ambientais nas alternativas consideradas;
- ✓ Aplicação do Índice de Avaliação de Projeto (IAP), que permite a comparação entre as alternativas de desenvolvimento urbano, visando facilitar a tomada de decisão na escolha da melhor e mais adequada para o local de interesse.

1.4. Estudo de Caso: Vargem Grande, Rio de Janeiro, RJ

O crescimento da cidade do Rio de Janeiro causou a saturação das regiões urbanas centrais, fazendo com que áreas periféricas, onde ainda existem espaços livres com valores de terra acessíveis, se tornassem o foco para a expansão da cidade. Essa expansão se deu, principalmente, para a Zona Oeste da cidade, onde está localizado o bairro de Vargem Grande, foco deste trabalho. Na região de Vargem Grande, especificamente, embora com investimento em infraestrutura de transporte devido às Olimpíadas Rio 2016, facilitando o acesso e, conseqüentemente, atraindo a ocupação nessa área, não houve investimento análogo em habitação e saneamento, o que poderia levar a pressões de ocupação informal, configurando um grande risco urbano e ambiental.

Vargem Grande está inserida na região da Baixada de Jacarepaguá, formada por planícies costeiras que dão lugar a encostas suaves no interior, com importância ambiental e urbana. Do ponto de vista ambiental, destaca-se a presença de áreas remanescentes de Mata Atlântica, com alta densidade de drenagem em um importante sistema de lagoas ligadas ao oceano. Destaca-se que a topografia da região favorece o escoamento rápido para as áreas baixas, que tendem a sofrer inundações. Do ponto de vista urbano, essa área é importante para absorver a expansão urbana, que deve ser feita com planejamento, considerando que os conflitos entre a ocupação urbana e as fragilidades ambientais provocam uma propensão à degradação dos ambientes natural e construído. Assim, é fundamental que o seu desenvolvimento urbano seja feito de modo sustentável, com a integração entre ambiente natural e construído, atuando na redução do perigo de modo a minimizar riscos futuros, aumentando assim a resiliência do local.

A proposta é, então, avaliar, de forma quantitativa, como a região se comporta sob o ponto de vista do risco e da resiliência a inundações, bem como da qualidade fluvial e ambiental frente a diferentes alternativas de uso e ocupação do solo:

- ✓ Alternativa de Urbanização 1 - PEU das Vargens: considera o desenvolvimento urbano segundo o Plano de Estruturação Urbana (PEU) das Vargens (RIO DE JANEIRO, 2009), mantendo uma ocupação mais rarefeita, com baixas densidades e lotes de 5000 m² em uma grande extensão da área de interesse. Embora esta alternativa busque respeitar limites ambientais, não se prepara para prováveis pressões futuras de expansão urbana;
- ✓ Alternativa de Urbanização 2 - Parques Lineares: prevê a destinação da área das Faixas Marginais de Proteção para a implantação de parques lineares como espaços multifuncionais, funcionando como áreas de lazer para a população e como áreas de amortecimento das cheias dos rios. Esses parques também promovem a integração do Parque Estadual da Pedra Branca até a Praia da Macumba, além de propor pequenos corredores verdes entre lotes;
- ✓ Alternativa de Urbanização 3 - Parques com Bacias de Retenção: prevê a destinação da área das Faixas Marginais de Proteção dos principais rios e canais da área de interesse para a implantação de parques. São propostas três bacias de retenção nas áreas dos parques para armazenamento dos volumes de cheia. Os parques também promovem a integração entre o novo loteamento com o Parque Estadual da Pedra Branca.

É importante destacar que as Alternativas de Urbanização 2 e 3 buscam conciliar as necessidades do ambiente natural com a necessidade de áreas para absorver a expansão urbana do município. Assim, ambas as alternativas preveem a redução dos lotes previstos no PEU das Vargens, com aumento das densidades, representando uma solução de maior alcance para o déficit habitacional da cidade do Rio de Janeiro e buscando garantir as áreas permeáveis com a definição de espaços públicos verdes. As Alternativas 2 e 3 consideram, portanto, uma abordagem mais sustentável e ambas têm a intenção de se configurarem como soluções efetivas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, são discutidos os conceitos utilizados para o embasamento teórico do trabalho proposto. São apresentados aspectos referentes ao manejo de águas pluviais em áreas urbanas e aos aspectos legais que envolvem o planejamento urbano, bem como uma discussão sobre risco, resiliência e gestão de risco de cheias urbanas.

Também são abordadas a possibilidade de integração entre o planejamento urbano, os sistemas de drenagem e a gestão de risco de inundações e a utilização de índices como ferramentas quantitativas de suporte à decisão.

2.1. Manejo de Águas Pluviais em Áreas Urbanas

Aspectos pontuais em manejo de águas pluviais em áreas urbanas são abordados neste tópico. Inicialmente, é apresentado um breve contexto histórico da evolução das abordagens utilizadas em drenagem urbana, seguida da descrição da relação entre a água e as cidades, destacando as alterações geradas no ciclo hidrológico pela própria urbanização e seus impactos. Também são discutidas as novas práticas de manejo de águas pluviais, que consideram o conceito de sustentabilidade e buscam recuperar etapas do ciclo hidrológico natural (drenagem urbana sustentável) e que consideram a água no desenho urbano (*Water Sensitive Urban Design - WSUD*).

2.1.1. Evolução das Abordagens em Drenagem Urbana

De acordo com Sayers *et al.* (2013), as primeiras civilizações reconheceram a necessidade de conviver com as inundações, posicionando as infraestruturas críticas em regiões mais altas, fornecendo alertas de inundação àqueles que estavam em risco de serem inundados e fazendo opções de planejamento de uso do solo sensíveis a inundações. Com o passar dos anos, comunidades permanentes começaram a se estabelecer nas planícies de inundação devido às suas terras férteis, favorecendo a produção agrícola. Posteriormente, essas terras representariam um local com vantagem estratégica para o desenvolvimento econômico, com a possibilidade de exportar tal produção. A partir daí, cada vez mais a questão de proteção e controle das inundações começou a se fortalecer.

Até o final do Século XX, o principal meio de mitigar os impactos das inundações continuou sendo o controle físico das cheias (por meio da construção de diques, canais de desvio, barragens e estruturas relacionadas). À medida que as populações cresceram e as planícies de inundação foram desenvolvidas, as perdas por inundação continuaram a aumentar e a necessidade de agir de maneira diferente tornou-se mais significativa.

A partir de meados do Século XX, houve uma mudança de abordagem na maneira de lidar com as inundações. Principalmente na década de 1980, o surgimento do conceito de desenvolvimento sustentável apoiou a crescente preocupação associada às consequências ambientais do desenvolvimento, em particular nas planícies de inundação. Desta forma, esse conceito contribuiu para afastar as soluções de gestão de inundações das medidas estritamente estruturais, integrando-as, a partir desse momento, com medidas não-estruturais, focando na redução dos danos causados pelas inundações. Mesmo com esse avanço, ainda se reconhecia que era preciso lidar com as inundações de forma mais estratégica. Uma nova abordagem, que utilizasse o conceito de risco na tomada de decisões na prática e não apenas na teoria era necessária. Esta evolução é ilustrada da Figura 2.1.

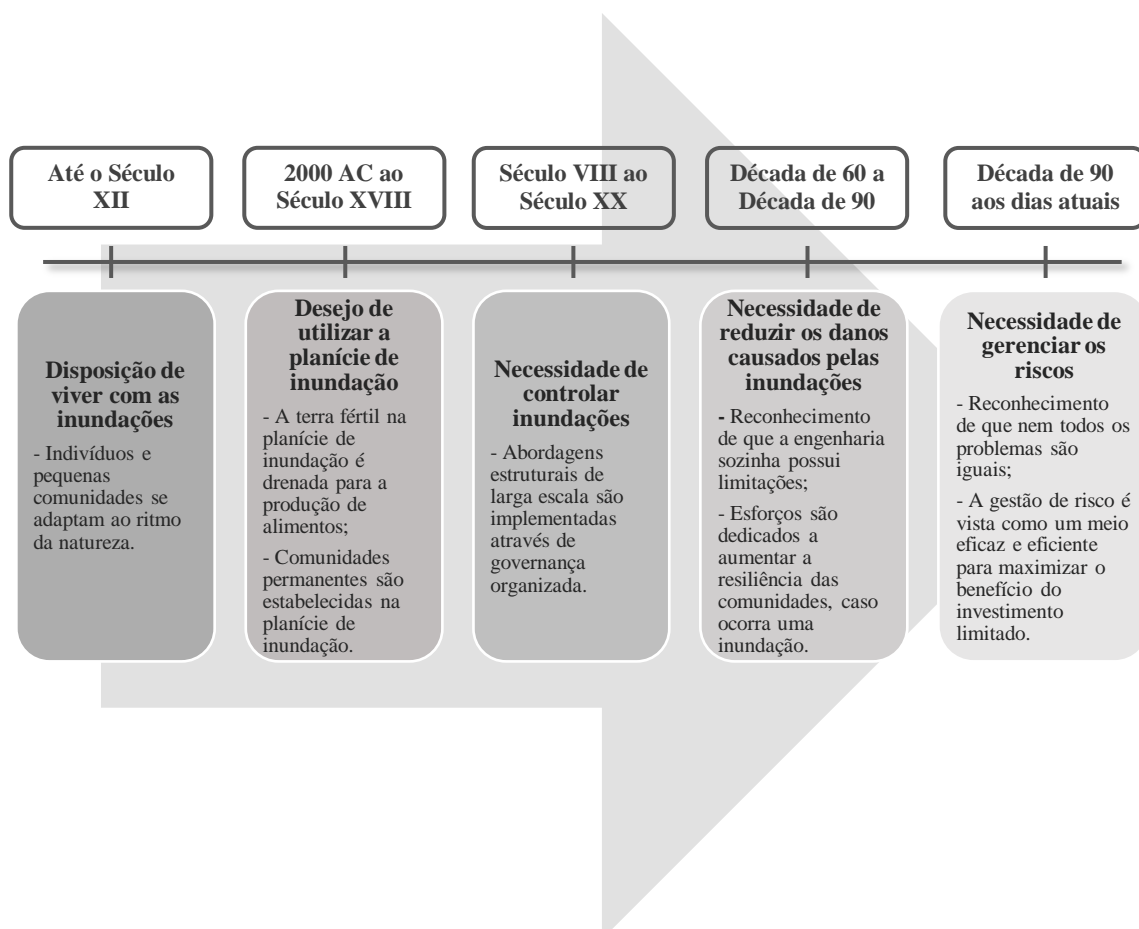


Figura 2.1: A evolução da prática de gestão de risco de inundação (SAYERS *et al.*, 2013)

O desenvolvimento das águas urbanas pode, ainda, ser dividido em fases. Segundo Tucci (2008), são quatro fases principais: *Pré-Higienista*, *Higienista*, *Corretiva* e *Desenvolvimento Sustentável*, cujas características e consequências são resumidas na Tabela 2.1.

Até o início do século XIX, as cidades possuíam más condições sanitárias e era a concepção miasmática que prevalecia na medicina para explicar as doenças e epidemias (fase *pré-higienista*). A partir de meados do século XIX, os engenheiros tornam-se atores principais da cidade e começam a realizar grandes trabalhos de saneamento. Inicia-se, então, a fase *higienista*, por meio da melhoria da circulação das águas, com a canalização das águas servidas, e dos ares, com o alargamento das ruas (CHASLES, 2016).

O crescimento populacional após a segunda Guerra Mundial, seguido de urbanização acelerada, levou o ambiente urbano ao colapso novamente devido à poluição do ar e dos cursos d'água, com o lançamento dos efluentes sem tratamento. Investimentos em tratamento de esgoto doméstico e industrial foram realizados, recuperando em parte a qualidade da água dos corpos hídricos. Também se verificou a insustentabilidade de continuar com obras de drenagem que aumentassem o escoamento em razão da urbanização. Começou a se utilizar então, sistemas de amortecimento ao invés da canalização, que transfere problemas para jusante. Essa fase é conhecida como *corretiva*. A última fase, denominada *desenvolvimento sustentável*, tem como foco o investimento em uma política baseada no tratamento das águas pluviais urbanas e rurais, na conservação do escoamento pluvial e no tratamento dos efluentes em nível terciário. No que diz respeito ao uso do solo urbano, nesta fase, busca-se implementar a urbanização preservando os caminhos naturais do escoamento e priorizando a infiltração (TUCCI, 2008).

Tabela 2.1: Fases do desenvolvimento das águas urbanas (Adaptado de TUCCI, 2008)

Fase	Características Predominantes	Consequências
Pré-higienista: até século XIX	Esgoto em fossas ou na drenagem, sem coleta ou tratamento e água da fonte mais próxima, poço ou rio.	Doenças e epidemias, grande mortalidade e inundações.
Higienista: a partir da metade do século XIX	Transporte de esgoto distante das pessoas e canalização do escoamento.	Redução das doenças, mas rios contaminados, impactos nas fontes de água e inundações.
Corretiva: entre 1970 e 1990	Tratamento de esgoto doméstico e industrial, amortecimento do escoamento.	Recuperação dos rios, restando poluição difusa, obras hidráulicas e impacto ambiental.
Desenvolvimento sustentável: depois de 1990	Tratamento terciário e do escoamento pluvial, novos desenvolvimentos que preservam o sistema natural.	Conservação ambiental, redução das inundações e melhoria da qualidade de vida.

2.1.2. Água e as Cidades

A presença de água sempre foi um fator importante no desenvolvimento da cidade. Preocupações sobre água potável, esgotamento sanitário e inundações urbanas, entre outros, sempre foram um impulso para os esforços de tornar as cidades mais saudáveis. Neste contexto, surge o conceito tradicional de drenagem, definida por Miguez *et al.* (2016) como o “conjunto de elementos, interligados em um sistema, destinados a recolher as águas pluviais precipitadas sobre uma determinada região, conduzindo-as, de forma segura, a um destino final” (Figura 2.2).



Figura 2.2: Conceito Tradicional de Drenagem

A ocupação urbana, por sua vez, altera características importantes no processo natural das cheias dos rios, aumentando sua intensidade e frequência e tornando maior o seu risco associado, no que diz respeito à presença de pessoas, construções e atividades econômicas.

Como ressaltado por Tucci (1993), enquanto a população de maior poder aquisitivo tende a habitar os locais mais seguros, a população carente ocupa as áreas de alto risco de inundação, provocando problemas sociais que se repetem por ocasião de cada cheia. Além disso, a baixa frequência de inundações em locais inundáveis que contaram com medidas de proteção (como diques, por exemplo) transmite uma falsa sensação de segurança à população, fazendo com que o risco seja desprezado e esses locais sejam ocupados (WESSELINK *et al.*, 2016; MIGUEZ *et al.*, 2015). No entanto, deve-se ressaltar que essas áreas ainda estão expostas a riscos de inundações que excedem a capacidade de projeto. São os chamados riscos residuais (LUDY; KONDOLF, 2012). Destaca-se que as áreas hoje desocupadas devido a inundações sofrem considerável pressão para serem ocupadas. Com a ocupação da planície de inundação dos rios urbanos, as águas das cheias procuram novos caminhos, atingindo regiões não alagadas anteriormente.

As inundações urbanas vão desde problemas localizados de microdrenagem, alagando ruas e afetando pedestres e o tráfego, até a inundação de grande parte da cidade, quando ambos os sistemas de micro e macrodrenagem falham. Como apresentado por Carneiro e Miguez (2011), estes problemas podem acarretar prejuízos materiais aos edifícios e seus conteúdos, danos à infraestrutura urbana, a necessidade de realocação de pessoas, a proliferação de doenças de veiculação hídrica, a deterioração da qualidade da água, entre outros.

Bacias não urbanizadas são caracterizadas por possuírem um sistema natural de controle do escoamento, formado pela vegetação, por solos permeáveis e depressões naturais, contribuindo para a retenção temporária e aumento da infiltração e da evapotranspiração (RAMOS *et al.*, 2017). A urbanização provoca, então, mudanças significativas na situação natural de equilíbrio das cheias. O solo vegetado natural é substituído por uma superfície impermeável, aumentando o escoamento superficial e reduzindo a infiltração, como ilustrado esquematicamente na Figura 2.3. Além disso, esse escoamento leva um tempo menor de percurso até o corpo hídrico de descarga. Em resumo, a modificação introduzida pela urbanização nas bacias hidrográficas tende a aumentar e adiantar o pico da cheia, além de reduzir o escoamento de base devido à diminuição da recarga do lençol freático pela infiltração, conforme apresentado na Figura 2.4 (WHEATER; EVANS, 2009).

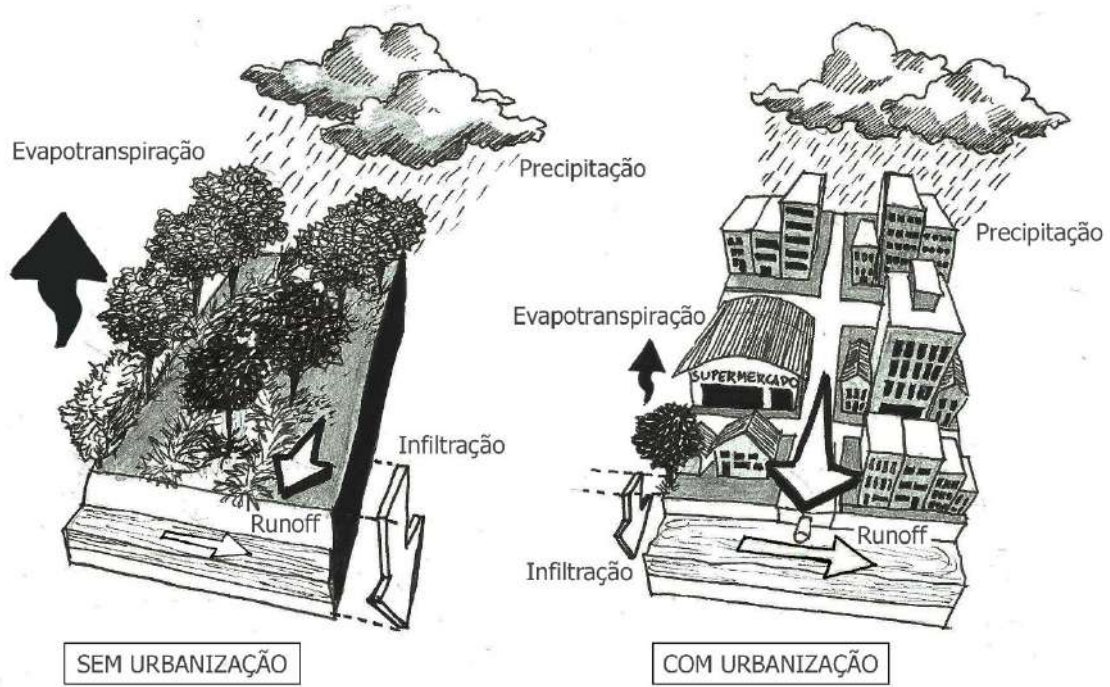


Figura 2.3: Alterações no balanço hídrico provocadas pela urbanização (MIGUEZ *et al.*, 2016)

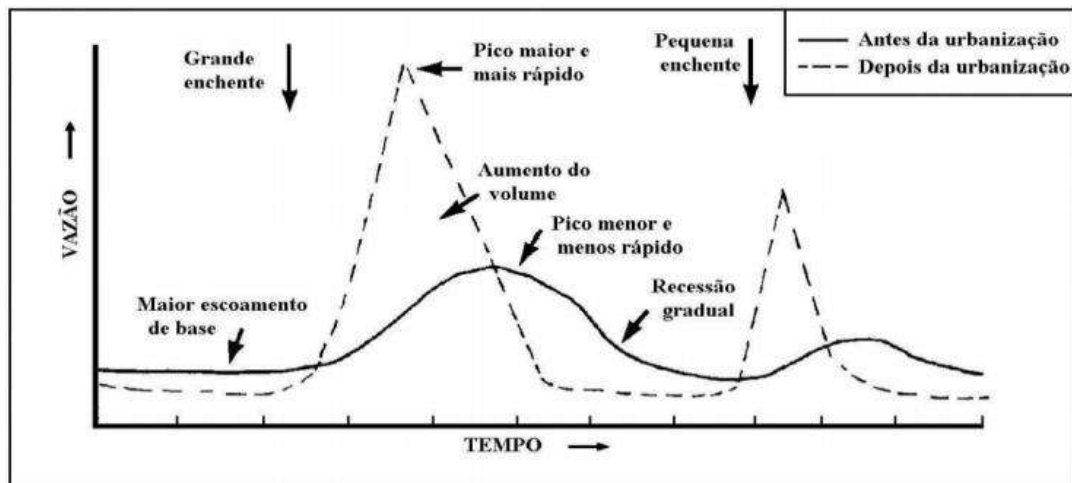


Figura 2.4: Efeito da urbanização no hidrograma da bacia (SCHUELER, 1987 *apud* VERÓL, 2013).

A Tabela 2.2 resume os diferentes impactos da urbanização sobre uma bacia hidrográfica.

Tabela 2.2: Impactos da urbanização sobre as inundações (CARNEIRO; MIGUEZ, 2011)

Ação da urbanização	Efeitos
Remoção da vegetação natural	Aumento dos volumes de escoamento superficial e das vazões de pico; maiores velocidades de escoamento; crescimento dos processos de erosão e consequente sedimentação em canais e galerias de drenagem.
Aumento das taxas de impermeabilização	Aumento dos volumes de escoamento superficial e das vazões de pico; menos depressões superficiais, permitindo menores retenções; menos irregularidade nas superfícies de escoamento e maiores velocidades de escoamento.
Construção de redes de drenagem artificial	Significativo crescimento das velocidades de escoamento e antecipação do pico das cheias.
Ocupação de áreas ribeirinhas e planícies de inundação	População diretamente exposta a inundações periódicas em áreas naturais de inundação; ampliação das áreas alagáveis, com a diminuição do espaço natural que deveria estar disponível para o armazenamento temporário e acomodação das cheias;
Ocupação desordenada de encostas e favelização	Acréscimo dos volumes superficiais de escoamento, somados a grande quantidade de resíduos sólidos e lixo produzidos pelas encostas ocupadas; obstrução parcial ou total de dispositivos de drenagem; degradação da qualidade da água; população exposta a riscos de deslizamento.
Disposição de resíduos sólidos e de águas residuais na rede de drenagem	Degradação da qualidade da água; degradação do ambiente natural e construído, proliferação de doenças; sedimentação na rede de canais e obstrução das captações de água de chuva.
Interferências recíprocas entre redes de infraestrutura: pontes estreitas sobre rios, tubulações de água cortando galerias, entre outros, configurando singularidades locais que restringem o escoamento.	Redução pontual da capacidade de escoamento dos condutos afetados, gerando remansos e alagamentos a montante.

A partir da Figura 2.5, que mostra a relação entre os diversos processos que ocorrem com a urbanização, pode-se perceber que esses processos se referem principalmente ao aproveitamento de recursos hídricos, ao controle de poluição e ao controle de inundações.

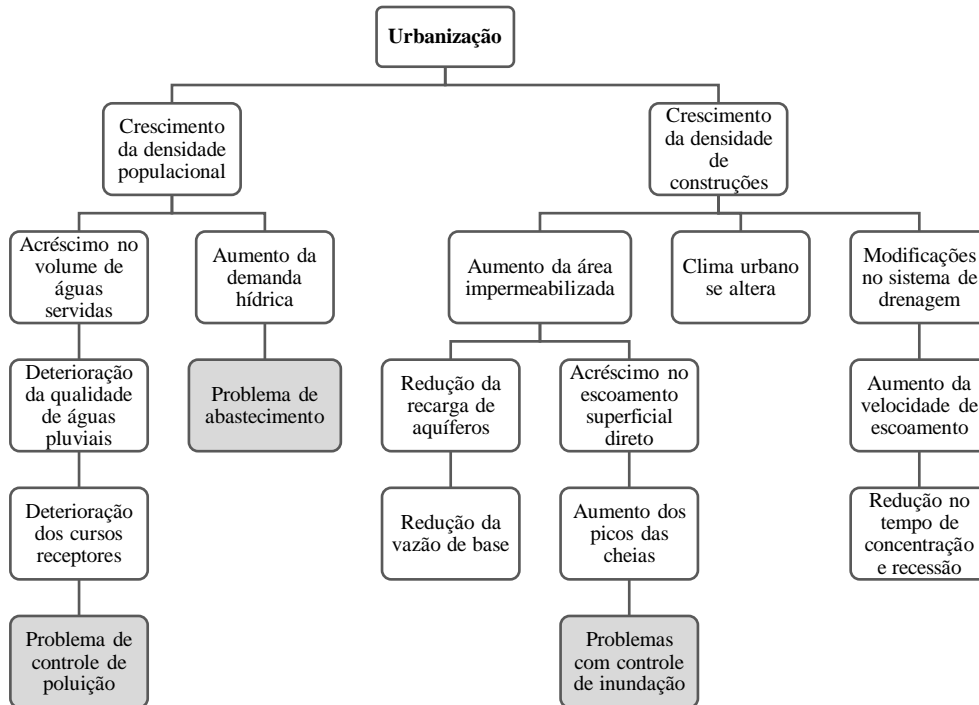


Figura 2.5: Efeitos da urbanização (HALL, 1984 *apud* MIGUEZ *et al.*, 2016)

2.1.3. Drenagem Urbana Sustentável

A perspectiva da sustentabilidade associada à drenagem urbana introduz uma nova abordagem para as ações, pautada no reconhecimento da complexidade das relações entre os ecossistemas naturais, o sistema urbano artificial e a sociedade (POMPÊO, 2000).

A partir dessa abordagem, o problema das inundações urbanas passa a ser avaliado de forma mais sistêmica. Tratar o problema em sua causa, com atuações distribuídas sobre a paisagem urbana, para reduzir e retardar picos de cheia, permitindo também a recarga do lençol freático, a fim de restaurar condições aproximadas do escoamento natural, se torna uma questão mais importante. Como exemplos de atuação, podem ser citados reservatórios de retenção em lotes, praças, parques ao longo dos rios, medidas de infiltração, como pavimentos permeáveis, trincheiras, valas, jardins de chuva, ações de reflorestamento e manutenção de áreas verdes, entre outros. Tais medidas podem ainda integrar o ambiente urbano de forma harmônica, configurando áreas de lazer em tempo seco e, assim, assumir características multifuncionais, com o bônus da melhoria do ambiente em que ela se insere (MIGUEZ *et al.*, 2016).

Como ressaltado por Rodríguez-Rojas *et al.* (2016), em nível internacional, a gestão sustentável da drenagem urbana tem assumido um papel cada vez mais importante, no que diz respeito à melhoria ambiental dos espaços urbanos, à redução das inundações, à redução dos custos operacionais e à expansão das redes urbanas de saneamento.

Com a integração entre os conceitos de drenagem urbana e de desenvolvimento sustentável, novas maneiras de tratar os problemas de cheias urbanas se desenvolveram, entre elas o Desenvolvimento de Baixo Impacto ou LID, sigla que vem do termo em inglês *Low Impact Development* e os Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável ou simplesmente SUDS, do original em inglês *Sustainable Urban Drainage Systems*.

De acordo com Coffman *et al.* (1998), LID são projetos que visam criar uma “paisagem funcional” capaz de incorporar características de projeto que buscam simular as funções de infiltração e armazenamento da bacia pré-urbanizada. Desta forma, o problema é considerado de forma integrada, aliando o resgate às características naturais do ciclo hidrológico ao incremento de valor à própria cidade. São práticas do LID, por exemplo, a minimização do uso de áreas impermeáveis para reduzir impactos, a maximização do tempo de concentração para se aproximar das condições pré-urbanização, a melhoria da qualidade da água escoada para o corpo d’água receptor e o controle do escoamento na fonte, impedindo a transferência dos escoamentos para jusante.

Os SUDS, segundo Fletcher *et al.* (2015), consistem em uma gama de tecnologias e técnicas utilizadas para drenar as águas pluviais de uma maneira que é mais sustentável do que as soluções convencionais. Em nível de reabilitação, há a possibilidade de adaptar áreas existentes, como jardins, praças ou pavimentos, por exemplo, em espaços multifuncionais que ajudam no gerenciamento do escoamento. Além disso, esses sistemas podem ser utilizados como uma ferramenta de prevenção, se considerados desde o início do processo de planejamento urbano, através da reserva de espaço para a instalação dessas técnicas. Os SUDS ajudam a minimizar os efeitos prejudiciais das inundações em locais a serem desenvolvidos e em locais já consolidados (MORA, 2017). Alguns componentes desse sistema são, entre outros, de acordo com o Manual de Sistema de Drenagem Urbana Sustentável (2015) publicado pela CIRIA (*Construction Industry Research and Information Association*), os telhados verdes, os pavimentos permeáveis, os jardins de chuva e as bacias de infiltração, de retenção e de detenção, por exemplo.

Assim como o LID, os SUDS também são baseados na filosofia de se aproximar das condições pré-urbanização. No entanto, as duas abordagens apresentam diferenças nas técnicas empregadas. Enquanto os SUDS baseiam-se principalmente na aplicação de dispositivos em diferentes escalas, principalmente local, o LID utiliza-se de ferramentas de planejamento prévio da urbanização. Enquanto as técnicas de SUDS atuam na correção e, eventualmente, na prevenção dos problemas de drenagem, as técnicas de LID se aplicam ao planejamento de novos sistemas de forma integrada ao desenvolvimento do projeto arquitetônico, paisagístico, viário, entre outros (CANHOLI, 2015).

Além do LID e dos SUDS, também aparece outro conceito que defende a sustentabilidade dos projetos de controle de inundações. São as Melhores Práticas de Gerenciamento ou BMPs, do inglês *Best Management Practices*.

Conforme definido por *Atlanta Regional Commission* (2001), BMP é um conjunto planejado de ações implementadas na bacia, com o objetivo de tratar o escoamento de águas pluviais e/ou mitigar os impactos da urbanização. Ou seja, as BMP's não somente focam na quantidade de água, mas também em aspectos de qualidade das águas. De acordo com Fletcher *et al.* (2015), as BMP's associam métodos não estruturais (por exemplo, boa manutenção e manutenção preventiva) a implementações estruturais (como sistemas de biorretenção ou infraestrutura verde) para alcançar o objetivo geral de prevenção da poluição, visando a melhoria ambiental e da qualidade de vida urbana.

A partir das discussões apresentadas, pode-se perceber que, com o surgimento de práticas a fim de promover uma solução que busca recuperar parte do ciclo hidrológico natural, o conceito de drenagem urbana incorpora também atividades de infiltração, sempre que possível, e de armazenagem, configurando assim o conceito de drenagem urbana sustentável (Figura 2.6).

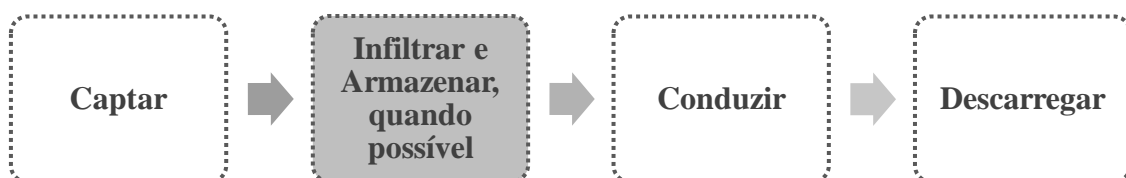


Figura 2.6: Conceito de Drenagem Urbana Sustentável

Destaca-se que a Lei Nacional de Saneamento, Nº 11.445/2007 (BRASIL, 2007), em seu art. 3º já reconhece as etapas introduzidas pela abordagem sustentável, definindo a drenagem e o manejo das águas pluviais como o “conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de drenagem urbana de águas pluviais, de transporte, *detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias*, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas nas áreas urbanas”.

2.1.4. Cidades Sensíveis a Água

Todas as técnicas apresentadas no item anterior, no contexto da drenagem urbana sustentável, foram evoluindo até o surgimento de um novo conceito, inicialmente desenvolvido na Austrália, chamado de *Water Sensitive Urban Design*, ou somente WSUD.

Como ressaltado por Rodríguez *et al.* (2014), esse conceito vai além dos SUDS, pois além de integrar esses sistemas nas cidades, também incorpora uma série de critérios gerais que auxiliam no planejamento de uma ocupação do solo mais sustentável, de acordo com os processos hidrológicos.

WSUD (Figura 2.7), segundo Morgan *et al.* (2013), é o processo de integração entre o gerenciamento do ciclo da água e o ambiente construído através do planejamento e do desenho urbano. Para a sua aplicação, dois princípios são essenciais. O primeiro é que todos os elementos do ciclo da água e suas interrelações devem ser considerados concomitantemente, para alcançar um resultado que sustente um ambiente natural saudável, atendendo às necessidades humanas. Isso inclui gerenciar: a demanda e a oferta de água potável, as águas residuais e a poluição, os cursos d'água e os recursos hídricos e as inundações e caminhos da água. Já o segundo, é que a consideração do ciclo da água deve ser feita no início e durante todo o processo de planejamento e desenho urbano. Com isso, as soluções de gerenciamento de água buscam atender às expectativas e aspirações para o projeto de locais de sucesso, tais como celebrar o caráter local, o meio ambiente e a comunidade, otimizar o custo-benefício da infraestrutura e da forma construída, melhorar a qualidade de vida das comunidades e fornecer segurança e resiliência de recursos no futuro (MORGAN *et al.*, 2013).

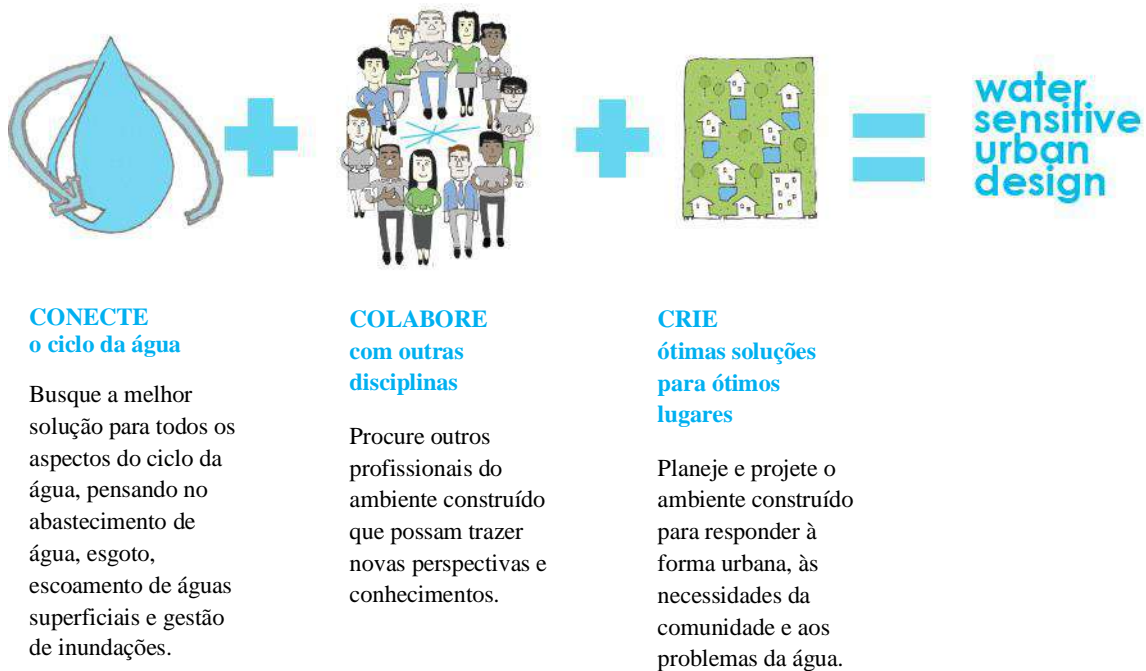


Figura 2.7: WSUD – Water Sensitive Urban Design (MORGAN *et al.*, 2013) (Traduzido pela autora)

Lloyd *et al.* (2002) citam os objetivos do WSUD, de acordo com a publicação “*Urban Stormwater: Best Practice Environmental Management Guidelines*” (Victorian Stormwater Committee, 1999), como sendo:

- ✓ Proteger e melhorar os sistemas de água natural nos empreendimentos urbanos;
- ✓ Integrar o tratamento de águas pluviais na paisagem, incorporando corredores de uso múltiplo para maximizar o valor visual e recreacional dos empreendimentos;
- ✓ Proteger a qualidade da água drenada dos empreendimentos urbanos;
- ✓ Reduzir os escoamentos superficiais e os picos de vazão dos empreendimentos urbanos, empregando medidas de retenção locais e minimizando as áreas impermeáveis; e
- ✓ Agregar valor, minimizando os custos de desenvolvimento da infraestrutura de drenagem.

Pode-se dizer, então, que o WSUD traz “sensibilidade à água” ao desenho urbano, pois visa garantir que a água receba sua devida importância dentro do processo de desenho urbano. Um novo paradigma na gestão integrada do ciclo urbano da água é definido a partir das palavras “sensível à água”, integrando as várias disciplinas de engenharia e ciências ambientais associadas à prestação de serviços de água, incluindo a proteção de ambientes aquáticos em áreas urbanas. Além disso, destaca-se que valores comunitários necessariamente governam as decisões de desenho urbano e, portanto, as práticas de gestão da água. Desta forma, o WSUD é um conceito interdisciplinar que integra as ciências sociais e físicas (WONG, 2006).

Segundo Wong e Brown (2009), uma cidade sensível à água pode ser caracterizada por três atributos principais: (i) acesso a uma diversidade de fontes de água sustentada por uma diversidade de infraestrutura centralizada e descentralizada; (ii) prestação de serviços ecossistêmicos para o ambiente construído e natural; e (iii) capital sociopolítico para sustentabilidade e comportamentos sensíveis à água.

Em resumo, “Cidades Sensíveis à Água” são, então, aquelas que consideram a água no seu processo de desenvolvimento urbano e desenho da paisagem, favorecendo, assim, uma maior aproximação e convívio entre a população e o ambiente natural.

2.2. Risco e Gestão de Risco de Cheias Urbanas

Neste item, são apresentadas as conceituações de risco e dos aspectos que o compõem, além da discussão acerca da resiliência e da construção de cidades mais resilientes a inundações. Posteriormente, o ciclo de gestão de risco de desastres é descrito, segundo suas etapas e, ao final, o processo de gestão de risco de cheias urbanas, em particular, é discutido.

2.2.1. Risco e suas Componentes

A palavra *risco* possui inúmeros conceitos dependendo do contexto em que está inserida. Esta diversidade de definições normalmente cria interpretações errôneas, o que dificulta a análise de risco (ZONENSEIN, 2007).

Segundo o dicionário online Michaelis (MICHAELIS, 2018):

“Risco: possibilidade de perigo, que ameaça as pessoas ou o meio ambiente; probabilidade de prejuízo ou de insucesso em determinado empreendimento, projeto, coisa etc. em razão de acontecimento incerto, que independe da vontade dos envolvidos; incidente que acarreta indenização, em contratos de seguro; em situação de risco, responsabilidade sobre a perda ou o dano.”

De acordo com Zonensein (2007), em engenharia, o risco relaciona-se tanto com a probabilidade de ocorrência de um evento, quanto com a expectativa de perdas causadas por ele. Isto pode ser verificado ao se fazer um breve levantamento de definições existentes.

Conforme o Manual da Defesa Civil (2009), risco é a “relação entre a probabilidade de que uma ameaça de evento adverso ou acidente determinado se concretize, com o grau de vulnerabilidade do sistema receptor a seus efeitos”.

A Estratégia Internacional para a Redução de Desastres - *UNISDR* (2009), assim como Jha *et al.* (2012a), define risco como a combinação da probabilidade de um evento ocorrer e suas consequências negativas e ressalta que a palavra risco possui duas conotações distintas. Acrescenta que, na linguagem popular, geralmente a ênfase é dada ao conceito de probabilidade ou de possibilidade de algo. Já no contexto técnico, frequentemente a ênfase é dada nas consequências, em termos de “perdas possíveis” em relação a uma causa, lugar e tempo específicos. É importante destacar que as pessoas não necessariamente compartilham as mesmas percepções sobre o significado e as causas dos diferentes riscos existentes.

Para Samuels e Gouldby (2009) e Sayers *et al.* (2013), risco pode ser entendido, simplificadaamente, a partir de dois componentes: a *probabilidade* de um evento ocorrer e a *consequência* associada à ocorrência desse evento. CETESB (2011) considera o risco como uma medida de danos à vida humana, que resulta da combinação entre a frequência de ocorrência de um ou mais cenários acidentais e a magnitude dos efeitos físicos associados a tais cenários.

Em resumo, para a comunidade científica, o risco é usualmente considerado como função de um *perigo* (referente à probabilidade de ocorrência de um determinado evento) e das suas *consequências*, conforme Figura 2.8.



Figura 2.8: Função do Risco

Nesse contexto está inserido o risco de inundações, definido pela Diretiva Europeia de Inundações (CE, 2007) em seu artigo 2º como “a combinação da probabilidade de inundações e das suas potenciais consequências prejudiciais para a saúde humana, o ambiente, o patrimônio cultural e as atividades econômicas”.

Schanze (2006), Merz *et al.* (2010) e Tingsanchali (2012) definem risco de inundação como sendo o resultado da interação entre o *perigo* e a *vulnerabilidade*.

O perigo de inundação, segundo Merz *et al.* (2010), representa a probabilidade e a intensidade de altos fluxos fluviais e inundações resultantes e depende dos processos físicos de geração da inundação. Tingsanchali (2012) ressalta que o perigo de inundação depende da magnitude do evento, que considera a altura de alagamento, a velocidade do escoamento e a duração do evento.

Com relação à componente referente às consequências, Schanze (2006) destaca que a vulnerabilidade depende da exposição de elementos em risco a um perigo de inundação. Merz *et al.* (2010), por sua vez, ressaltam que a vulnerabilidade é responsável por representar os processos sociais, sendo composta pela *exposição*, pela *susceptibilidade* e pela *capacidade de resposta*, aqui entendida como *resiliência*. A *exposição* compreende os ativos que podem ser afetados pelas inundações, incluindo o ambiente construído, o ambiente natural e os seres humanos e seus sistemas socioeconômicos. A *susceptibilidade* representa o grau em que o sistema é danificado por determinadas inundações e a *capacidade de resposta* descreve a capacidade do sistema de responder e de se recuperar de uma inundação.

Para Tingsanchali (2012), a vulnerabilidade pode ser definida como as condições determinadas por fatores físicos, sociais, econômicos e ambientais que aumentam a susceptibilidade de uma comunidade aos impactos do perigo.

Outros autores destacam a componente *exposição* da *vulnerabilidade*, como por exemplo Koks *et al.* (2015), que definem o risco a inundações como uma função do *perigo*, da *exposição* e da *vulnerabilidade*. Desta forma, é capaz de combinar aspectos do evento natural e do sistema socioeconômico exposto a danos.

Tebaldi *et al.* (2015) também compartilham dessa definição, destacando que as consequências, inseridas no contexto do risco, são entendidas como *Exposição*, que representa a presença de bens e pessoas na área afetada, e como *Vulnerabilidade*, melhor entendida a partir de dois aspectos: o primeiro é a *Susceptibilidade*, em que a população e os objetos expostos são danificados durante um evento de cheia; o segundo é o *Valor*, onde há a quantificação dos impactos monetários potenciais (Figura 2.9).

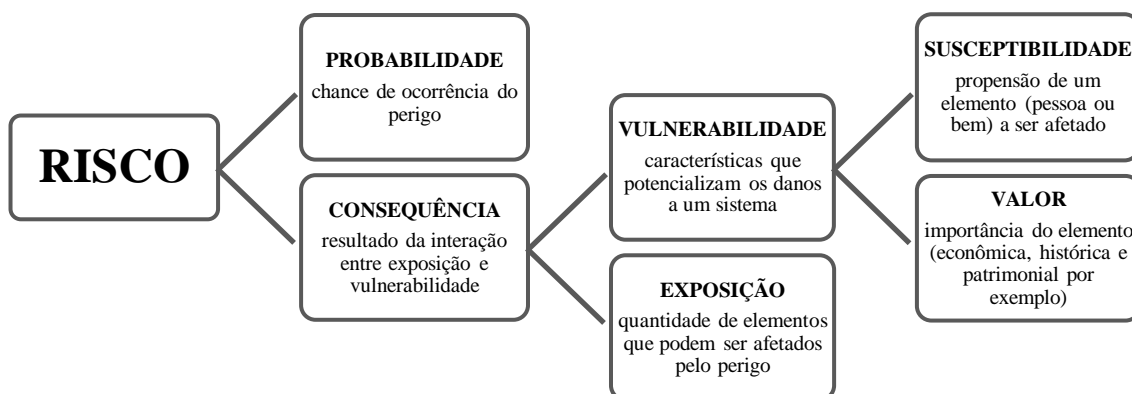


Figura 2.9: Componentes do Risco (ZONENSEIN, 2007)

Um ponto a ser destacado é que, muitas vezes, risco é confundido com perigo (ou ameaça). Ainda que tenham relação, os termos possuem significados diferentes. Segundo CETESB (2011), o perigo é referente a uma ou mais condições físicas ou químicas que têm potencial para causar danos às pessoas, à propriedade e ao meio ambiente.

Conforme ressaltado por Miguez *et al.* (2016), o perigo, no caso das inundações, é associado à ocorrência dos próprios eventos de chuva intensa, transformados em vazão com a passagem pela bacia, tomados como referência e associados a certo tempo de recorrência, ou seja, a certa frequência que, por sua vez, se traduz em uma possibilidade de ocorrência.

A ocorrência de um evento perigoso não necessariamente gera risco. Só haverá risco se houver danos. Como destacado por Samuels e Gouldby (2009), um perigo não conduz automaticamente a um resultado prejudicial. No entanto, a identificação do perigo representa a possibilidade de ocorrência do dano, sendo o dano real dependente da exposição ao perigo e das características do receptor. Ou seja, se uma região natural não possuir elementos de valor expostos a possíveis danos, não haverá risco com a passagem de uma cheia.

Nesse sentido, a Figura 2.10 apresenta, de forma esquemática, exemplos de risco de desastres em um ambiente urbano.

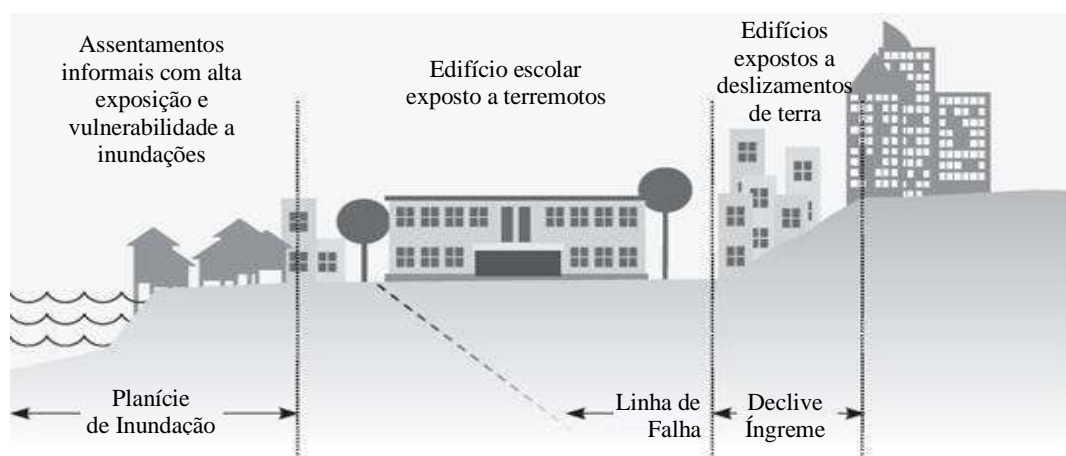


Figura 2.10: Componentes do Risco de Desastres em um Ambiente Urbano (ADB, 2016)

Os danos estão associados, no contexto das inundações, às consequências que a passagem de uma cheia pode causar, sendo possível classificá-los em tangíveis e intangíveis e em diretos e indiretos. Os danos tangíveis são aqueles cujo valor econômico associado é bem definido, como por exemplo, os danos físicos a construções, considerando sua estrutura e conteúdo. Já os danos intangíveis, são aqueles de difícil estimativa monetária, como danos à saúde, fatalidades e impactos ambientais, por exemplo. Os danos diretos referem-se basicamente à deterioração física de bens e pessoas, sendo resultantes do contato direto com a água da inundação. Já os principais danos indiretos, por sua vez, decorrem de perturbações físicas e econômicas do sistema produtivo, além de custos emergenciais, podendo afetar áreas significativamente maiores do que aquela diretamente afetada pela inundação (MIGUEZ *et al.*, 2016). A Tabela 2.3 apresenta os tipos de danos segundo o setor afetado pelas inundações. Destaca-se que os danos intangíveis diretos para todos os setores apresentados, segundo Machado *et al.* (2005), são as perdas de vidas humanas.

Tabela 2.3: Tipologia de danos decorrentes de inundações urbanas (MACHADO *et al.*, 2005)

Setor	Danos Tangíveis		Danos Intangíveis
	Diretos	Indiretos	Indiretos
Habitacional	Danos físicos à construção, à estrutura e ao seu conteúdo.	Custos de limpeza, alojamento, medicamentos.	Estado psicológico de estresse e ansiedade; danos a longo prazo à saúde.
Comércio e Serviços	Danos físicos à construção, à estrutura e ao seu conteúdo. Perdas e danos ao estoque.	Custos de limpeza. Lucro cessante. Desemprego. Perda de banco de dados.	Estado psicológico de estresse e ansiedade; danos a longo prazo à saúde.
Industrial	Danos físicos à construção, à estrutura e ao seu conteúdo. Perdas e danos ao estoque.	Custos de limpeza. Lucro cessante. Desemprego. Perda de banco de dados.	Estado psicológico de estresse e ansiedade; danos a longo prazo à saúde.
Serviços públicos e infraestrutura	Danos físicos à construção, à estrutura e ao seu conteúdo. Danos físicos ao patrimônio.	Custos de limpeza e de interrupção de serviços. Custos de serviços de emergência.	Estado psicológico de estresse e ansiedade; danos a longo prazo à saúde. Inconvenientes de interrupção de serviços.
Patrimônio histórico cultural	Danos físicos ao patrimônio.	Custos de limpeza e de interrupção de serviços.	Inconvenientes de interrupção de serviços.

O risco de inundações possui certas particularidades quando comparado ao risco de desastres. Normalmente, a parcela referente à probabilidade de ocorrência de um evento com potencial de causar danos (perigo) não é passível de intervenção para redução do risco (REZENDE, 2018). No entanto, como destacado por Roos *et al.* (2017), as inundações são vistas como gerenciáveis, capazes de serem resolvidas com soluções de engenharia. Neste caso, o risco de inundações abre a possibilidade de gerenciar riscos reduzindo não só os danos causados pelo evento, mas também o perigo, já que apesar de relacionado com a probabilidade de ocorrência de uma chuva intensa, é materializado por sua consequência, a inundação.

Desta forma, como ressaltado por Rezende (2018), o conceito de risco de inundação compreende mais componentes, abrindo a parcela relacionada ao perigo. Conforme apresentado na Figura 2.11, Sayers *et al.* (2013) definem a probabilidade de ocorrência da inundação não só como a probabilidade de ocorrência do evento inicial (a fonte da inundação, como o caso das chuvas), mas também como a probabilidade de que a água chegue a determinado local da planície de inundação, levando em consideração a performance do sistema de drenagem (caminho entre a fonte e o atingido). Além disso, adicionam à vulnerabilidade uma componente referente à habilidade do sistema em se recuperar após um evento, chamada *resiliência* (assim como Merz *et al.* (2010), com a introdução da componente *capacidade de resposta*).

Com esta forma de representação, é possível uma melhor percepção das possíveis ações para redução do risco, que podem modificar tanto o perigo, através de medidas estruturais, como os danos, por meio da adoção de medidas de redução de exposição e de vulnerabilidade (REZENDE, 2018).

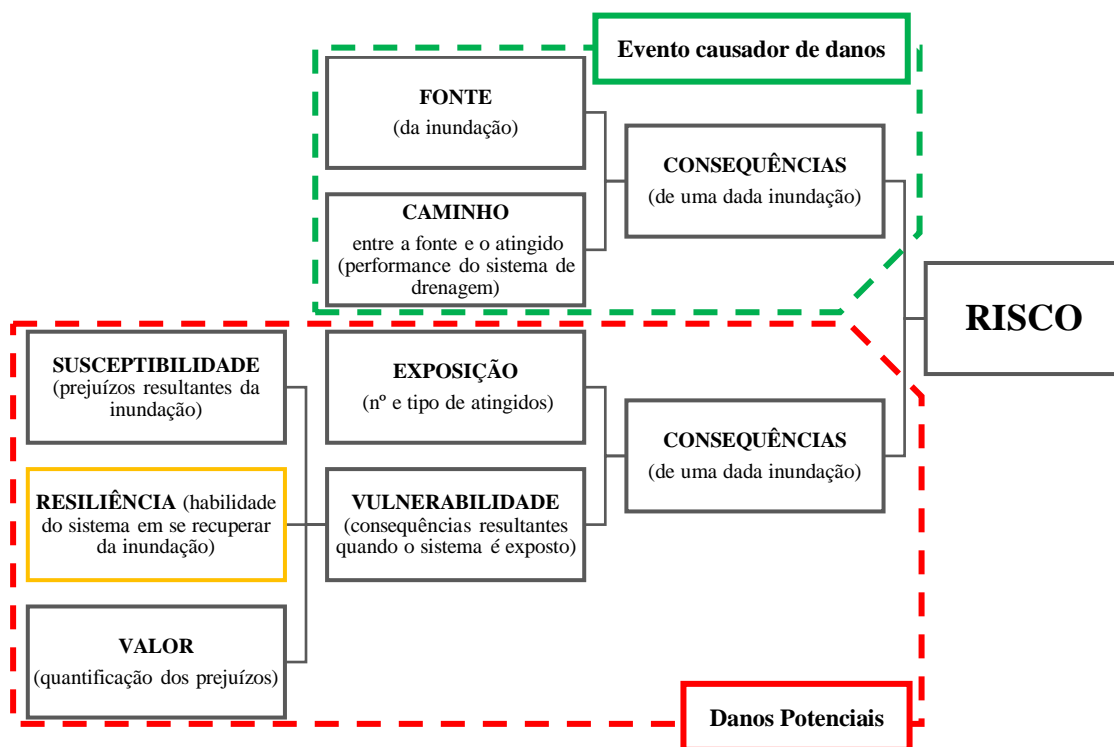


Figura 2.11: As componentes do risco de inundações (Adaptado de SAYERS *et al.*, 2013 *apud* REZENDE, 2018)

2.2.2. Resiliência e Cidades Resilientes a Inundações

No sentido contrário à materialização do risco, surge o conceito de *Resiliência*. Muitos autores a tratam como uma componente da vulnerabilidade, como apresentado anteriormente. Com isso, já que se refere à habilidade do sistema em se recuperar da inundação, o aumento da resiliência contribui para a redução da vulnerabilidade.

De acordo com McBain *et al.* (2010), resiliência, no contexto de infraestrutura, pode ser definida como a habilidade de um bem ou conjunto de bens de continuar a fornecer seus serviços essenciais, mesmo quando ameaçados por eventos incomuns (como inundações de grande porte), assim como a sua velocidade de recuperação e sua habilidade para retornar ao funcionamento normal quando cessada a ameaça. É importante destacar que esta é uma visão parcial, visto que o conceito de resiliência a desastres em seu pleno significado está intimamente ligado a aspectos sociais (MIGUEZ; VERÓL, 2016).

Liao (2012), por exemplo, define a resiliência urbana às inundações como a capacidade da cidade de tolerar eventos de inundação e se reorganizar caso ocorram ruptura socioeconômica e danos físicos, além de prevenir a perda de vidas e prejuízos e de manter a sua identidade socioeconômica.

Segundo a Estratégia Internacional para a Redução de Desastres - *UNISDR* (2009) e Jha *et al.* (2012a), resiliência é a capacidade de um sistema, comunidade ou sociedade exposta a um perigo de resistir, absorver, adaptar e recuperar de seus efeitos de maneira rápida e eficaz, incluindo a preservação e a restauração de suas estruturas e funções básicas.

Destaca-se que, muitas vezes, resiliência a inundações é confundida com resistência a inundações, sendo útil a distinção entre os dois conceitos. Segundo Miguez e Veról (2016), geralmente, a resistência a inundações representa uma capacidade definida para evitar enchentes, associada a estratégias de controle de inundação. Já a resiliência a inundações, é referente à capacidade de um local de se adaptar para enfrentar eventos de inundação, com pequenas perdas e melhoria na recuperação. A situação ideal é fornecer soluções que sejam resistentes e resilientes, ou seja, soluções que visam evitar inundações relacionadas a um horizonte pré-definido, mas também que buscam minimizar os danos caso ocorra uma inundação excepcional.

Pode-se concluir, então, que projetos urbanos que considerem e respondam aos riscos causados pelas cheias, capazes de minimizá-los, podem aumentar a resiliência. A construção de cidades mais resilientes às inundações pode ser feita a partir de técnicas que racionalizam a relação da água com as edificações e com o espaço urbano.

Como ressaltado por Veról (2013), o aumento da resiliência das cidades pode ser obtido a partir de dois caminhos:

- ✓ Afastando a cidade do contato com a água das cheias, ou ainda, preparando-a para um melhor convívio com as cheias, a partir de um zoneamento de inundações, por exemplo, evitando a construção em áreas passíveis de alagamento e garantindo espaço para a passagem e amortecimento das cheias, ou pelo aumento da resistência das edificações, utilizando o conceito de construção “à prova de inundação”; ou
- ✓ Diminuindo a geração de escoamentos provocados pela transformação da chuva em vazão e reorganizando os padrões de escoamento das vazões resultantes. Esse caminho de ação utiliza medidas de infiltração e armazenamento, com a incorporação de medidas de controle na fonte, pela implantação de medidas de armazenamento e infiltração nos espaços públicos, como paisagens multifuncionais e infraestruturas verdes, e por ações de requalificação fluvial, por exemplo.

De acordo com a Estratégia Internacional para a Redução de Desastres - *UNISDR* (2017), em uma cidade resiliente:

- ✓ Existe forte liderança e coordenação e as responsabilidades na gestão do risco de desastres são claramente definidas, o que inclui o engajamento efetivo das partes interessadas, políticas e estratégias bem definidas e a distribuição de tarefas;
- ✓ A cidade está atualizada a respeito dos perigos, ou seja, as avaliações de risco são rotineiramente preparadas como base para o planejamento urbano e para o desenvolvimento de longo prazo;
- ✓ Existe um plano financeiro adequado que complementa e promove mecanismos de apoio às atividades de resiliência;

- ✓ O planejamento urbano é baseado em informações atualizadas sobre os riscos, com foco nos grupos mais vulneráveis, além de serem aplicados e reforçados códigos de obra realistas e compatíveis com os riscos existentes, a fim de reduzir efetivamente o risco da estrutura;
- ✓ Os ecossistemas naturais são identificados, protegidos e monitorados para sustentar e salvaguardar suas funções de proteção como amortecedores naturais;
- ✓ Todas as instituições relevantes para a resiliência de uma cidade são fortalecidas para ter as capacidades necessárias para executar seus papéis;
- ✓ A conexão social e a cultura da ajuda mútua são fortalecidas a partir da comunidade, da educação e de canais de comunicação multimídia;
- ✓ Existe uma estratégia para proteger, atualizar e manter a infraestrutura crítica para garantir que os serviços continuem funcionando e para aumentar a resiliência contra os perigos e os impactos da mudança climática;
- ✓ A resposta eficaz aos desastres é assegurada pela criação e atualização regular de planos de preparação, conectando-se a sistemas preventivos de alerta e aumentando as capacidades de emergência e de gerenciamento por meio de exercícios de preparação pública; e
- ✓ As estratégias de recuperação, reabilitação e reconstrução pós-desastre estão alinhadas com o planejamento a longo prazo e proporcionam um ambiente urbano melhorado após os eventos de desastre.

É importante destacar que a questão da resiliência urbana é algo bastante discutido no mundo. Acordos internacionais, como exemplificado a partir de dados do Conselho Mundial da Água (2018), consideram a construção de cidades resilientes para a redução do risco de desastres como uma de suas áreas de atuação.

O Marco Sendai para a Redução de Desastres, adotado na Terceira Conferência Mundial da Organização das Nações Unidas em março de 2015, defende que a água deve ser um componente fundamental do fortalecimento da resiliência em qualquer ambiente urbano e que o processo de avaliação e planejamento de riscos deve levar em conta questões hídricas em todas as etapas e com todas as partes interessadas. Além disso, ressalta a adaptação e aplicação a contextos locais de metodologias comuns para a construção de cidades resilientes.

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, resultados da Cúpula das Nações Unidas para a adoção da agenda de desenvolvimento pós-2015 realizada em setembro de 2015, destacam a importância de fortalecer a resiliência nas cidades. Conforme o Objetivo 11.5, infraestruturas e sistemas resilientes aliados à preparação para desastres são essenciais em áreas urbanas para que as cidades resistam e se recuperem de choques e tensões.

O Acordo de Paris, adotado na Conferência Climática de Paris em dezembro de 2015, aborda a resiliência associada aos efeitos das mudanças climáticas. O acordo reconhece que, com o aumento do nível do mar e a imprevisibilidade dos padrões climáticos, principalmente as cidades costeiras serão afetadas e que as autoridades locais e regionais podem adotar medidas imediatas para avaliar e aumentar seu nível de resiliência.

A Nova Agenda Urbana, aprovada pela Conferência das Nações Unidas sobre Habitação e Desenvolvimento Urbano Sustentável (Habitat III) em outubro de 2016, destaca a necessidade de as cidades planejarem e incorporarem a resiliência de forma integral, levando em conta todas as partes interessadas, sobretudo grupos em maior situação de vulnerabilidade e risco devido à sua localização (assentamentos informais) e/ou recursos disponíveis.

Visto esse quadro global de desenvolvimento, uma das recomendações do Conselho Mundial da Água (2018) para as autoridades locais e regionais é fazer um planejamento de risco (associado a resiliência hídrica urbana). Isso significa que as cidades devem fazer um planejamento ativo de riscos e fortalecer a resiliência, principalmente em relação aos riscos associados à questão da água, como as inundações. A intensificação e a constante mudança dos perigos naturais significam que as cidades devem considerar aspectos que vão além dos riscos tradicionais e se preparar para impactos novos e mais intensos (CONSELHO MUNDIAL DA ÁGUA, 2018).

Como pode ser observado, a construção de cidades resilientes às inundações está diretamente relacionada ao sucesso de estratégias de gestão de risco de cheias urbanas, que aparecem como fundamentais ao processo.

2.2.3. Gestão de Riscos de Desastres

Segundo a Estratégia Internacional para a Redução de Desastres – *UNISDR* (2018), a gestão de riscos de desastres envolve a aplicação de medidas para prevenir novos riscos, reduzir riscos de desastres existentes e gerenciar riscos residuais, contribuindo para o fortalecimento da resiliência.

O gerenciamento de risco envolve três momentos do ciclo de vida de um desastre: o antes, o durante e o pós-desastre.

O antes corresponde à fase pré-desastre, que engloba atividades referentes às etapas de *Prevenção*, para evitar que ocorram danos maiores no impacto dos desastres, *Mitigação*, para diminuir o impacto, já que algumas vezes não é possível evitar sua ocorrência, *Preparo*, para organizar e planificar as ações de resposta, e *Alerta*, para notificar formalmente a presença iminente de um perigo. No momento de ocorrência do desastre, são executadas atividades de *resposta* durante o período de emergência ou imediatamente depois de decorrido o evento. Também são iniciadas ações com a finalidade de restaurar os serviços básicos e de reparar a infraestrutura vital na comunidade afetada. A fase pós-desastre, por sua vez, envolve todas as atividades que se orientam ao processo de recuperação a médio e longo prazo. Esta fase se divide em duas etapas, *recuperação* (ou reabilitação) e *reconstrução*, e busca restabelecer os serviços vitais indispensáveis e o sistema de abastecimento da comunidade atingida, reparar a infraestrutura afetada e restaurar o sistema produtivo com vista a revitalizar a economia (ARAÚJO, 2012).

Como destacado por Jha *et al.* (2012b), uma estratégia abrangente de gestão de risco de desastres é baseada em cinco pilares: (a) identificação, avaliação e monitoramento do risco; (b) redução do risco a partir de medidas de prevenção e mitigação; (c) financiamento de risco de desastres e seguros; (d) preparação para emergências; e (e) resposta pós-desastre, recuperação e reconstrução, que acarretam na redução do risco de eventos futuros.

Pode-se constatar, então, que a gestão de riscos de desastres funciona como um ciclo. No Brasil, a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC (BRASIL, 2012a) abrange ações do ciclo da gestão de risco de desastres, divididas em cinco etapas: Prevenção, Mitigação, Preparação, Resposta e Recuperação (Figura 2.12).



Figura 2.12: Ciclo de Gestão de Risco de Desastres

2.2.3.1. Prevenção

Prevenção refere-se ao conjunto de medidas com o objetivo de impedir ou evitar que eventos naturais ou gerados pelo homem causem desastres (ARAÚJO, 2012). Mais especificamente, a prevenção trata do conjunto de atividades que procura avaliar quais áreas são perigosas, a fim de evitar a ocupação e o uso dessas áreas, sendo uma ação de zoneamento e planejamento, de caráter não estrutural (MIGUEZ *et al.*, 2018a).

Segundo a Confederação Nacional de Municípios – CNM (2015), esta etapa é a mais importante na gestão de riscos e monitoramento de desastres, pois é o momento de elaboração de planos e dos exercícios simulados, destinados ao desenvolvimento e aperfeiçoamento do sistema de autodefesa, além do trabalho ininterrupto de capacitação e aperfeiçoamento de agentes. Também são realizadas outras tarefas voltadas para a população, como ações de orientação e conscientização.

2.2.3.2. Mitigação

Mitigação refere-se à ação de redução da vulnerabilidade, ou seja, ao resultado da aplicação de um conjunto de medidas que visam reduzir o risco e eliminar a vulnerabilidade física, social e econômica (ARAÚJO, 2012). Esta etapa ocorre quando uma determinada área da cidade já se encontra exposta ao perigo (MIGUEZ *et al.*, 2018a).

Como ressaltado por Silva (2017), na maioria das situações, não é possível prevenir todos os impactos adversos das ameaças, mas é possível limitar consideravelmente sua escala e severidade. Desta forma, medidas preventivas acabam se transformando em ações de mitigação, o que leva a, algumas vezes, os termos prevenção e mitigação serem usados indistintamente.

2.2.3.3. Preparação

Preparação refere-se ao conjunto de medidas e ações tomadas a fim de reduzir a perda de vidas humanas e outros danos, organizando oportunamente e eficazmente as ações de resposta e recuperação (ARAÚJO, 2012).

Segundo a CNM (2015), a etapa de preparação corresponde ao exato momento em que os eventos adversos estão na iminência de ocorrerem. Desta forma, é importante que todos estejam cientes de suas obrigações (órgãos públicos, população e demais agentes voluntariados), pois trata-se de uma fase bastante delicada, já que consiste no acionamento de alertas e alarmes criados na fase de prevenção e que foram exaustivamente testados. Algumas atividades típicas da etapa de preparação são: desenvolvimento institucional, desenvolvimento de recursos humanos, desenvolvimento científico e tecnológico, planejamento operacional de contingência, monitoramento, alerta e alarme, mobilização e aparelhamento e apoio logísticos, por exemplo (MIGUEZ *et al.*, 2018a).

2.2.3.4. Resposta

Resposta refere-se ao conjunto de ações realizadas durante um desastre tendo por objetivo salvar vidas, reduzir o sofrimento e diminuir as perdas na propriedade ou no meio ambiente (ARAÚJO, 2012).

Segundo Jha *et al.* (2013), a etapa de resposta pode durar de horas a semanas, dependendo da escala, do tipo de desastre e da capacidade das áreas afetadas. Nesta etapa, os trabalhos atuam diretamente nos efeitos da ocorrência do desastre e são desenvolvidos com emprego coordenado de pessoal treinado dos vários órgãos envolvidos, conforme planos preestabelecidos (CNM, 2015).

Esta fase compreende atividades de socorro às populações em risco, de assistência às populações afetadas, que depende de atividades logísticas, assistenciais e de promoção da saúde, e de reabilitação dos cenários dos desastres, compreendendo atividades de avaliação de danos, vistoria e elaboração de laudos técnicos, limpeza e reabilitação dos serviços essenciais, por exemplo (MIGUEZ *et al.*, 2018a).

2.2.3.5. Recuperação/Reconstrução

Esta última fase engloba ações de recuperação e de reconstrução. Recuperação (ou ainda reabilitação) refere-se ao processo de recuperação a curto prazo dos serviços básicos e ao início do reparo do dano físico, social e econômico (ARAÚJO, 2012). Segundo Jha *et al.* (2013), a fase de recuperação pode durar meses, dependendo da magnitude e da escala do desastre. Nesta fase, as funções sociais e econômicas são restauradas, a partir da utilização de medidas temporárias. Envolve a transferência de comunidades alojadas em estruturas temporárias para moradias semipermanentes, a reabertura de escolas e a restauração da organização comunitária.

A reconstrução, por sua vez, refere-se ao processo de recuperação a médio e longo prazo do dano físico, social e econômico, a um nível de desenvolvimento igual ou superior ao existente antes do desastre (ARAÚJO, 2012). Ou seja, assim como ressaltado por Miguez *et al.* (2018a), essa fase é composta por um conjunto de atividades que vão além das obras de reconstrução em si, avançando para o restabelecimento da economia, do bem-estar da população e do moral social. É a etapa mais longa e onerosa, já que é o período dos investimentos visando o retorno da área atingida à normalidade, a partir de obras para reparo dos danos (CNM, 2015). Ao fim desta etapa, o ciclo de gerenciamento de risco de desastres é fechado, tendo novo início na etapa de prevenção a novos desastres.

2.2.4. Gestão de Riscos de Cheias Urbanas

Segundo Sayers *et al.* (2013), a gestão de riscos de cheias consiste no processo de coleta de dados e informações, análise e avaliação de riscos, avaliação de opções e tomada, implementação e revisão de decisões para reduzir, controlar, aceitar ou redistribuir os riscos de inundação. Trata-se de um processo contínuo de análise, ajuste e adaptação de políticas e ações tomadas para reduzir o risco, incluindo a modificação da probabilidade de inundação e sua gravidade, bem como a vulnerabilidade e a resiliência daqueles que se encontram ameaçados.

Schanze (2006) destaca que a estrutura das atividades que envolvem o gerenciamento de riscos de inundação pode ser feita a partir de três tarefas básicas, cada uma com seus componentes específicos. São elas: *análise de risco*, *avaliação dos riscos* e *redução dos riscos*. Segundo o autor, a *análise de risco* fornece informações sobre riscos de inundações anteriores, atuais e futuros e a *avaliação dos riscos* lida com sua percepção e avaliação. A *redução dos riscos*, por sua vez, é dedicada a intervenções com potencial para diminuir os riscos. É importante destacar que a gestão de risco de cheias reconhece que os riscos não podem ser extinguidos, mas sim reduzidos.

As medidas que envolvem a gestão de risco de cheias urbanas podem ser definidas como estruturais e não estruturais. As medidas estruturais estão envolvidas com obras de engenharia, enquanto as medidas não estruturais podem ser categorizadas em quatro objetivos básicos: (a) planejamento e gerenciamento de emergência, inclusive alerta e evacuação, (b) maior preparação, com campanhas de conscientização, (c) planejamento do uso do solo, que contribui tanto na mitigação quanto na adaptação a inundações urbanas, e (d) aceleração da recuperação e uso do pós-inundação, para aumentar a resiliência urbana a inundações (JHA *et al.*, 2012b).

Como ressaltado por Miguez *et al.* (2018a), é importante que a gestão de risco de cheias seja uma gestão integrada, a fim de que seus elementos constituintes sejam trabalhados de forma sistêmica e dinâmica, com a consideração da inter-relação e da integração entre eles. O processo de gestão integrada de risco de cheias contempla cinco etapas, que abrangem desde a compreensão do perigo de inundação e a identificação das medidas mais adequadas, até o planejamento, implementação e avaliação final da estratégia e de suas medidas. As etapas são descritas nos estágios apresentados a seguir, conforme Jha *et al.* (2012b), e o processo é ilustrado na Figura 2.13.

- ✓ Estágio 1: Compreender o perigo é essencial para projetar medidas e soluções que podem prevenir ou limitar os danos decorrentes dos eventos de cheia;
- ✓ Estágio 2: Uma abordagem de gestão integrada de risco de inundações consiste em uma combinação de medidas de gestão que, vistas como um todo, podem reduzir com sucesso o risco de cheias urbanas;
- ✓ Estágio 3: A gestão de risco de cheias urbanas requer o desenvolvimento de uma estratégia de longo prazo abrangente que deve estar ligada ao planejamento urbano e às políticas e práticas de gestão;

- ✓ Estágio 4: A gestão integrada é uma intervenção multissetorial e multidisciplinar que deve estar sob a responsabilidade de diversos organismos governamentais e não-governamentais;
- ✓ Estágio 5: A avaliação é importante para melhorar o projeto, bem como a implementação de medidas de gestão de risco de cheias tanto estruturais como não-estruturais.

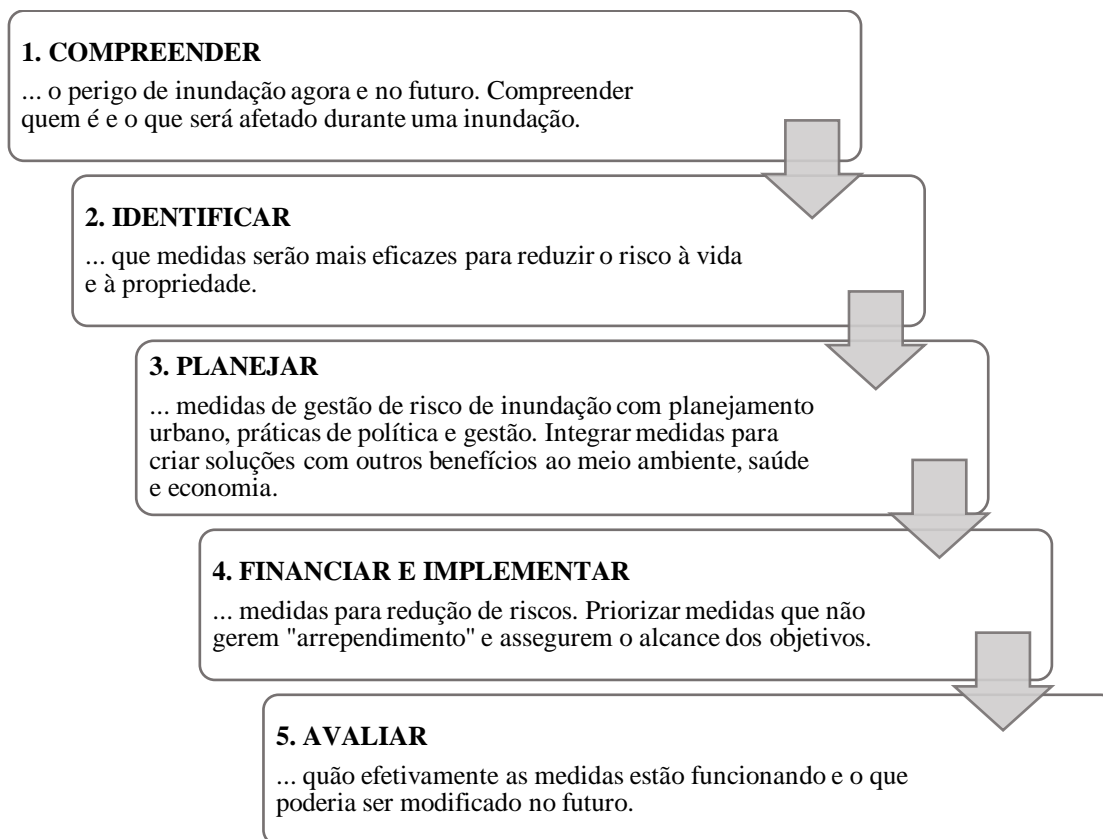


Figura 2.13: Processo de Gestão Integrada de Risco de Inundação Urbana (Adaptado de Jha *et al.*, 2012b)

Ainda que já seja algo bastante discutido nos últimos anos, o bom gerenciamento dos riscos de inundação ainda possui uma série de desafios. As múltiplas causas e incertezas hidrológicas associadas às mudanças climáticas e morfológicas são desafiadoras para a avaliação do risco de inundação, por exemplo. Além disso, as alterações no uso do solo dificultam não só o processo de avaliação dos riscos, como também do desempenho de projetos de controle de inundação já implementados. Outro ponto a ser destacado é que o potencial de ocorrência de novos riscos é muitas vezes ignorado no processo de planejamento (SHAH *et al.*, 2018).

De acordo com Sayers *et al.* (2013), há nove princípios a serem seguidos para o bom gerenciamento de riscos de cheias:

- ✓ Aceitar que a proteção absoluta não é possível e planejar acidentes, ou seja, aceitar que falhas são quase que inevitáveis, colocando assim o foco no aprimoramento da resiliência;
- ✓ Promover algumas inundações como desejáveis, pois abrir espaço para a água de cheia mantém os ecossistemas vitais e reduz as chances de inundações em outros lugares;
- ✓ Basear as decisões em uma compreensão do risco e da incerteza, visto que um compromisso entre os riscos reduzidos, as oportunidades promovidas e os recursos necessários para alcançá-los é fundamental. Também deve ser explicitamente reconhecida a incerteza nos dados e modelos utilizados;
- ✓ Reconhecer que o futuro será diferente do passado, pois mudanças climáticas, sociais ou no uso do solo, por exemplo, podem influenciar profundamente o risco de inundação, fazendo uso assim de estratégias adaptativas;
- ✓ Implementar um conjunto possível de ações, não confiando em uma única alternativa, incluindo medidas para reduzir a probabilidade de ocorrência do evento e medidas para reduzir as consequências das inundações;
- ✓ Utilizar recursos limitados de forma eficiente e justa para a redução dos riscos;
- ✓ Ser claro sobre as responsabilidades para governança e ação;
- ✓ Comunicar o risco e suas incertezas de forma ampla e eficaz, permitindo assim uma melhor preparação e garantia de apoio às medidas de mitigação, quando necessário; e
- ✓ Refletir o contexto local e integrar o planejamento de inundações com outros processos de planejamento.

Destaca-se que a gestão de riscos de cheias urbanas deve abordar as ações envolvidas nas etapas de gerenciamento de risco de desastres descritas no item anterior: *Prevenção, Mitigação, Preparação, Resposta e Recuperação/Reconstrução*, assim como ressaltado por Miguez *et al.* (2018a).

2.3. Planejamento Urbano e Aspectos Legais

Segundo Ultramari (2009), o planejamento urbano é vinculado ao entendimento mais tradicional da cidade: aquele que a planeja, que define o seu futuro, quais os caminhos a seguir, as prioridades a adotar, os espaços a ocupar e a não ocupar, as obras a serem realizadas. Com isso, possui uma abordagem ampla, de caráter multidisciplinar, visto que se ocupa de planos setoriais diversos, regulação e controle do uso do solo e atividades relacionadas, como por exemplo a garantia do atendimento a serviços (educação, saúde e segurança) e infraestruturas básicas (redes de água, esgoto, drenagem, pavimentação, transporte).

Desenvolvimento Sustentável é definido no Relatório Brundtland (1987), com título “Nosso Futuro Comum”, como o “desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações em satisfazer suas próprias necessidades”. Neste contexto, sustentabilidade é entendida como um tripé, que descreve a relação e a interdependência entre a economia, o meio ambiente e a equidade social, sendo entendidas como igualmente importantes (ROMERO-LANKAO *et al.*, 2016).

O passo inicial para o planejamento urbano que considera o desenvolvimento sustentável é compreender os aspectos legais envolvidos. No Brasil, a legislação mostra uma significativa preocupação em fornecer instrumentos capazes de orientar os diferentes níveis institucionais no caminho para construir uma cidade sustentável (MIGUEZ *et al.*, 2012).

A Lei Nº 6766/1979, de Parcelamento do Solo Urbano (BRASIL, 1979), por exemplo, define normas gerais para o ordenamento do espaço urbano. A Constituição Federal de 1988 (BRASIL, 1988), por sua vez, representa um marco normativo para a questão da política urbana no Brasil, pois pela primeira vez inclui um capítulo específico acerca do tema. Os artigos 182 e 183 previam uma série de instrumentos para a garantia, no âmbito de cada município, do direito à cidade, da defesa da função social da cidade e da propriedade e da democratização da gestão urbana. No entanto, a regulamentação de tal capítulo só se deu treze anos depois, com a Lei Federal Nº 10.257/2001, conhecida como Estatuto da Cidade (BRASIL, 2001).

O Estatuto da Cidade foi o responsável pela criação de uma série de instrumentos que introduziram várias mudanças no planejamento urbano. Dentre elas, pode-se destacar as alterações na elaboração do Plano Diretor, principal ferramenta de gestão do território municipal.

Ainda na esfera municipal, pode-se citar também o Plano de Estruturação Urbana (PEU), que reconhece as particularidades de bairros ou conjunto de bairros dentro do município do Rio de Janeiro, definindo critérios urbanísticos específicos para a área considerada. Ressalta-se que o PEU surge como Projeto de Estruturação Urbana em 1977, através do Decreto Nº 1.269, que aprova o Plano Urbanístico Básico da Cidade do Rio de Janeiro (PUB-RIO), sendo, portanto, anterior ao Estatuto da Cidade. O Projeto de Estruturação Urbana passa a ser chamado de Plano de Estruturação Urbana somente a partir do Plano Diretor Municipal de 2011, aprovado pela Lei Complementar Nº 111/2011 (RIO DE JANEIRO, 2011).

Destaca-se ainda o Código Florestal (BRASIL, 2012b), que, dentre suas abordagens, conta com um viés de proteção ambiental, por meio da delimitação de Áreas de Preservação Permanente (APP), por exemplo.

2.3.1. Lei de Parcelamento do Solo Urbano

O parcelamento do solo urbano conta com uma legislação específica para sua regulamentação, a Lei Nº 6.766 de 19 de dezembro de 1979. Esta lei incorporou em seu texto alguns requisitos urbanísticos com o objetivo de ordenar melhor as novas áreas urbanas. Com isso, apresentou um caráter inovador, diferente do decreto que a antecedeu, ao demonstrar preocupação com a ordenação do espaço urbano, determinando indicadores mínimos de áreas públicas, de áreas e testadas de lotes e de faixas não edificáveis, estabelecendo também as condições de salubridade para a implantação de novos loteamentos (BARREIROS; ABIKO, 1998).

Destaca-se que as normas definidas na Lei Federal 6.766/79 possuem caráter geral, possibilitando os Estados, o Distrito Federal e os Municípios estabelecerem normas complementares para a adequação às peculiaridades regionais e locais. Além disso, a redação original da Lei Federal 6.766/79 sofreu alterações ao longo dos anos pelas Leis Nº 9.785/1999, Nº 10.932/2004, Nº 11.445/2007, Nº 12.424/2011, Nº 12.608/2012 e Nº 13.465/2017.

Em seu Art. 3º, a lei define que o parcelamento do solo só será permitido para fins urbanos em zonas urbanas, de expansão urbana ou de urbanização específica assim definidas pelo plano diretor ou aprovadas por lei municipal. Também impõe restrições ao não permitir o parcelamento do solo em terrenos (a) alagadiços e sujeitos a inundações, antes de tomadas as providências necessárias para assegurar o escoamento das águas; (b) que tenham sido aterrados com material nocivo à saúde pública, sem que sejam previamente saneados, (c) com declividade igual ou superior a 30%, salvo se atendidas exigências específicas das autoridades competentes, (d) onde as condições geológicas não aconselham a edificação, ou ainda (e) em áreas de preservação ecológica ou naquelas onde a poluição impeça condições sanitárias suportáveis, até a sua correção.

De acordo com o seu Art. 4º, em sua última versão (BRASIL, 1979):

“Art. 4º. Os loteamentos deverão atender, pelo menos, aos seguintes requisitos:

I – as áreas destinadas a sistemas de circulação, a implantação de equipamento urbano e comunitário, bem como a espaços livres de uso público, serão proporcionais à densidade de ocupação prevista pelo plano diretor ou aprovada por lei municipal para a zona em que se situem;

II – os lotes terão área mínima de 125 m² [...] e frente mínima de 5 (cinco) metros, salvo quando o loteamento se destinar a urbanização específica ou edificação de conjuntos habitacionais de interesse social, previamente aprovados pelos órgãos públicos competentes;

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;

IV – as vias de loteamento deverão articular-se com as vias adjacentes oficiais, existentes ou projetadas, e harmonizar-se com a topografia local.

§ 1º A legislação municipal definirá, para cada zona em que se divida o território do Município, os usos permitidos e os índices urbanísticos de parcelamento e ocupação do solo, que incluirão, obrigatoriamente, as áreas mínimas e máximas de lotes e os coeficientes máximos de aproveitamento [...]”.

O controle do parcelamento do solo é um dispositivo muito importante, a ser utilizado para organizar a ocupação do solo e para assegurar uma distribuição adequada de lotes, vias e equipamentos públicos para a garantia da qualidade ambiental (MOTA, 1980).

2.3.2. Estatuto da Cidade

Instituído pela Lei Federal Nº 10.257 de 10 de julho de 2001, o Estatuto da Cidade (BRASIL, 2001) veio regulamentar os artigos 182 e 183 da Constituição Federal de 1988 (BRASIL, 1988), após treze anos. São 58 artigos distribuídos em cinco capítulos, que pretendiam oferecer os pilares da política urbana nacional e as diretrizes e os instrumentos para a atualização da agenda da reforma urbana. Desta forma, as cidades e a propriedade privada poderiam cumprir a sua função social e o poder público poderia promover a gestão urbana em bases participativas, garantindo meios e recursos para produzir cidades socialmente justas, economicamente eficientes e ambientalmente sustentáveis (COSTA; FAVARÃO, 2016).

O Estatuto da Cidade introduziu três novidades, de forma geral, conforme ressaltado por Ferreira (2009) *apud* Marguti *et al.* (2016): (a) a regulamentação de uma série de instrumentos de natureza jurídica e urbanística voltados a induzir as formas de uso e ocupação do solo; (b) a possibilidade da regularização de posses urbanas de áreas ocupadas para fins de moradia e (c) a instituição de formas de controle e participação direta do cidadão na elaboração dos planos diretores.

De acordo com Bassul (2002), no Estatuto da Cidade, a finalidade da política urbana é traduzida em quatro conjuntos de objetivos: promover a gestão democrática das cidades, oferecer mecanismos para a regularização fundiária, combater a especulação imobiliária, e assegurar a sustentabilidade ambiental, social e econômica dos núcleos urbanos. Desta forma, a fim de implementar as diretrizes gerais da política urbana, conta com uma série de instrumentos, como por exemplo, a gestão democrática, o plano diretor, o IPTU progressivo no tempo, o parcelamento, edificação ou utilização compulsórios, a outorga onerosa do direito de construir e as operações urbanas consorciadas, entre outros.

A criação e aplicação dos instrumentos previstos no Estatuto da Cidade introduziram uma série de mudanças no planejamento urbano. Em 2003, foi criado o Ministério das Cidades com a finalidade de tratar da política de desenvolvimento urbano, contemplando a ausência de marcos institucionais para as políticas setoriais urbanas. Em 2005, em uma iniciativa fomentada pelo Ministério das Cidades, foi lançada a campanha nacional “Plano Diretor Participativo: Cidade de Todos”, que previa a revisão e/ou elaboração dos planos diretores municipais, principal ferramenta de gestão do território.

Destaca-se que, a partir da Medida Provisória Nº 870 de 1º de janeiro de 2019 (BRASIL, 2019), o Ministério das Cidades é fundido com o Ministério de Integração Nacional, transformando-se, atualmente, no Ministério do Desenvolvimento Regional.

2.3.3. Plano Diretor

O Plano Diretor é o instrumento básico da política municipal de desenvolvimento e expansão urbana. Seu objetivo é ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e garantir o bem-estar de seus habitantes. Tal instrumento tem se constituído basicamente como um definidor das diretrizes de planejamento e gestão territorial urbana, ou seja, do controle do uso, ocupação, parcelamento e expansão do solo urbano (BRAGA, 2001).

De acordo com Rezende e Ultramari (2007), o Plano Diretor Municipal focaliza esforços em questões de interesse recorrente no cenário urbano nacional, porém não de forma generalizada e única, já que possui a obrigatoriedade de discutir, por exemplo, questões específicas do uso e ocupação do solo, tais como o combate a vazios urbanos e a subutilização de imóveis.

Segundo a publicação Curso Básico: Plano Diretor e Estatuto da Cidade (2005) *apud* Silva (2017) as funções do Plano Diretor são:

- ✓ Propiciar o crescimento e desenvolvimento econômico local em bases sustentáveis, ou seja, crescer de maneira que os recursos utilizados no crescimento não sejam exauridos ou depredatórios, “guardando reservas de recursos” para o futuro;
- ✓ Garantir o atendimento às necessidades dos cidadãos quanto à qualidade de vida e justiça social;
- ✓ Garantir que a propriedade urbana sirva aos objetivos sociais que lhe são previstos (que seja usada em benefício da maioria);
- ✓ Fazer cumprir as determinações do Estatuto da Cidade.

O Estatuto da Cidade definiu as bases para a elaboração dos Planos Diretores. Segundo o seu Art. 41 (BRASIL, 2001):

“Art. 41. O plano diretor é obrigatório para cidades:

I – com mais de vinte mil habitantes;

II – integrantes de regiões metropolitanas e aglomerações urbanas;

III – onde o Poder Público municipal pretenda utilizar os instrumentos previstos no 4º do art. 182 da Constituição Federal;

IV – integrantes de áreas de especial interesse turístico;

V – inseridas na área de influência de empreendimentos ou atividades com significativo impacto ambiental de âmbito regional ou nacional.”

Além disso, foi definido o conteúdo mínimo necessário para a elaboração dos Planos Diretores (BRAGA, 2001):

- ✓ Delimitação das áreas urbanas onde poderão ser aplicados o parcelamento, a edificação ou a utilização compulsória, considerando a existência de infraestrutura e de demanda para utilização;
- ✓ Delimitação das áreas urbanas passíveis de incidência do Direito de Preempção (direito que confere ao Poder Público municipal a preferência para aquisição de imóveis urbanos);
- ✓ Estabelecimento de diretrizes para a delimitação das áreas urbanas nas quais a Outorga Onerosa do Direito de Construir poderá ser implementada;
- ✓ Estabelecimento de diretrizes para a delimitação das áreas urbanas passíveis da aplicação de operações urbanas consorciadas;
- ✓ Definição de diretrizes para a autorização do direito de construir por proprietários de imóveis urbanos;
- ✓ Sistema de acompanhamento e controle da execução do plano.

É importante destacar que os planos diretores municipais são anteriores ao Estatuto da Cidade. No entanto, a sua aprovação gerou alterações significativas no processo de confecção de tais planos. A obrigatoriedade da participação da sociedade civil na sua elaboração e no seu monitoramento por meio de mecanismos de gestão democrática, como a implantação de órgãos colegiados de política urbana nos níveis nacional, estadual e municipal, foi a principal mudança introduzida (CNM, 2013).

Embora seja clara a importância da elaboração de Planos Diretores, muitos municípios apresentam dificuldades para implementá-los. Falta, muitas vezes, uma estrutura administrativa adequada para o exercício do planejamento urbano com relação aos recursos técnicos, humanos, tecnológicos e materiais, e à baixa difusão dos conselhos de participação e controle social voltados para uma cultura participativa de construção e implantação da política de desenvolvimento urbano (SILVA, 2017).

O município do Rio de Janeiro possui Plano Diretor aprovado pela Lei Complementar Nº 111 de 2011 (RIO DE JANEIRO, 2011), que tem como base, entre outros princípios, o desenvolvimento sustentável e o cumprimento da função social da cidade e da propriedade urbana. Além de estabelecer uma série de diretrizes a serem seguidas, estabelece normas e procedimentos para a realização da política preconizada. A política urbana é detalhada em políticas públicas setoriais: de meio ambiente, patrimônio cultural, transporte, habitação e regularização urbanística, saneamento ambiental, entre outras. Para cada uma delas o Plano Diretor define objetivos, diretrizes e ações estruturantes (PORTAL DA PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO, 2013).

Para viabilizar a implementação de suas propostas, são apresentados instrumentos de regulação urbanística, edílicia e ambiental, planejamento urbano, gestão do uso e ocupação do solo, gestão ambiental e cultural, gestão de serviços urbanos, financeiros e orçamentários. Por fim, o plano prevê estratégias de implementação de seu conteúdo, através da instituição dos sistemas de planejamento, gestão ambiental, informações urbanas, defesa da cidade e controle de uso e ocupação do solo (PORTAL DA PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO, 2013).

Destaca-se que, na Lei Complementar Nº 111 em seu Capítulo II, é definido o macrozoneamento do município do Rio de Janeiro. São quatro macrozonas de ocupação: Macrozona de Ocupação Assistida, Macrozona de Ocupação Incentivada, Macrozona de Ocupação Condicionada e Macrozona de Ocupação Controlada, conforme apresentado em mapa da Figura 2.14.



Figura 2.14: Macrozonas de Ocupação no Município do Rio de Janeiro segundo a Lei Complementar Nº 111 (RIO DE JANEIRO, 2011)

A partir da Figura 2.14, constata-se que a área de estudo (Vargem Grande, bairro da Zona Oeste do município) está localizada na Macrozona de Ocupação Condicionada, onde o adensamento populacional, a intensidade construtiva e a instalação das atividades econômicas serão restringidos de acordo com a capacidade das redes de infraestrutura e subordinados à proteção ambiental e paisagística, podendo ser progressivamente ampliados com o aporte de recursos privados (RIO DE JANEIRO, 2011).

Para cada Macrozona, a Lei Complementar define diretrizes de ocupação. Para Macrozona de Ocupação Condicionada, são apresentadas, por exemplo, as seguintes diretrizes:

1. Promover a melhoria do ambiente urbano mediante: Definição das áreas e comunidades onde deverão ser implantadas Áreas de Especial Interesse Social (AEIS); Incentivo à atividade hoteleira com a instalação de tipos diversificados de hospedagem; Elaboração de legislação específica e revisão de parâmetros de uso e ocupação do solo;
2. Promover a proteção ambiental, mediante: Criação de parques urbanos nas orlas das lagoas e no entorno das encostas; Efetivação da implantação do Parque Marapendi; Critérios para a ocupação das ilhas das lagoas da Baixada de Jacarepaguá; Reflorestamento de áreas degradadas em baixadas e encostas e implantação de eco-limites; Inibir a ocupação desordenada de áreas públicas e de áreas para implantação de infraestrutura na Baixada de Jacarepaguá;

3. Estabelecer plano de prioridades para implantação do sistema viário principal e promover melhorias nas condições de mobilidade na Baixada de Jacarepaguá;
4. Incentivar o desenvolvimento de atividades turísticas, desportivas e culturais, em especial o ecoturismo e atividades ligadas à educação ambiental e à pesquisa e proteção da fauna, flora e dos recursos naturais;
5. Estabelecer padrões de urbanização a serem adotados nas áreas em processo de ocupação pela iniciativa privada e condições de estabelecer as contrapartidas cabíveis visando a boa da qualidade do ambiente urbano e a proteção ambiental na implantação de novos empreendimentos de grande porte.

Além do macrozoneamento, o Plano Diretor define parâmetros urbanísticos, como Índice de Aproveitamento do Terreno (IAT) e coeficientes de aproveitamento de terreno para aplicação da outorga onerosa do direito de construir, por exemplo. Para a área de estudo, tais parâmetros são definidos segundo a Lei Complementar N° 104, que institui o PEU das Vargens, apresentado no item a seguir.

2.3.4. Plano de Estruturação Urbana

Segundo a Lei Complementar N° 111/2011 (RIO DE JANEIRO, 2011), o Plano de Estruturação Urbana (PEU) é o instrumento que estabelece as diretrizes para o desenvolvimento local e, segundo as quais, atualiza e aprimora a legislação urbanística para um bairro ou um conjunto de bairros.

De acordo com o Portal da Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro (2013), a determinação das intervenções urbanísticas é estabelecida a partir da definição da área objeto de estudo, de estudos e levantamentos de campo, de diagnósticos, de proposta preliminar, de audiências públicas e de minuta de lei complementar.

O PEU não só estabelece as diretrizes que nortearão o uso e a ocupação da área estudada, como também estabelece os parâmetros urbanísticos básicos, tais como o gabarito, a taxa de ocupação, a taxa de permeabilidade, a área total edificável - ATE, os afastamentos, entre outros (PORTAL DA PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO, 2013).

Conforme ressaltado por Cardeman (2014), os PEU's devem abordar não somente parâmetros urbanísticos, como também questões de desenho urbano, incluindo aspectos relacionados ao sistema viário, novos alinhamentos e vias, determinação de locais de uso público e sistema de transportes e infraestrutura.

Neste trabalho, que tem como estudo de caso o bairro de Vargem Grande, localizado na Zona Oeste da cidade do Rio de Janeiro, é tomado como referência o PEU das Vargens, instituído pela Lei Complementar Nº 104, de 27 de novembro 2009 (RIO DE JANEIRO, 2009).

Até a aprovação da LC 104/2009, a área do PEU das Vargens possuía regras de ocupação originalmente definidas pelo Decreto Municipal Nº 3.046 de 24 de julho de 1981, que disciplinou a ocupação do solo na área da Zona Especial 5, criada e delimitada pelo Decreto Municipal Nº 322 de 03 de março de 1976.

O PEU das Vargens compreende os bairros de Vargem Grande, Vargem Pequena, Camorim e parte dos bairros do Recreio dos Bandeirantes, Barra da Tijuca e Jacarepaguá, nas XXIV e XVI Regiões Administrativas da cidade do Rio de Janeiro.

Dentre os seus objetivos, visa “orientar a ocupação urbana de parte da área da Baixada de Jacarepaguá, condicionando-a à proteção do meio ambiente e às suas características paisagísticas e de fragilidade ambiental e promovendo uma relação adequada entre adensamento e as possibilidades do sítio”.

Na Figura 2.15, são apresentados os limites físicos da abrangência do PEU das Vargens, bem como a divisão dos setores utilizada para o zoneamento e a definição dos padrões urbanísticos. Destaca-se a área de estudo deste trabalho, descrita no Capítulo 4.

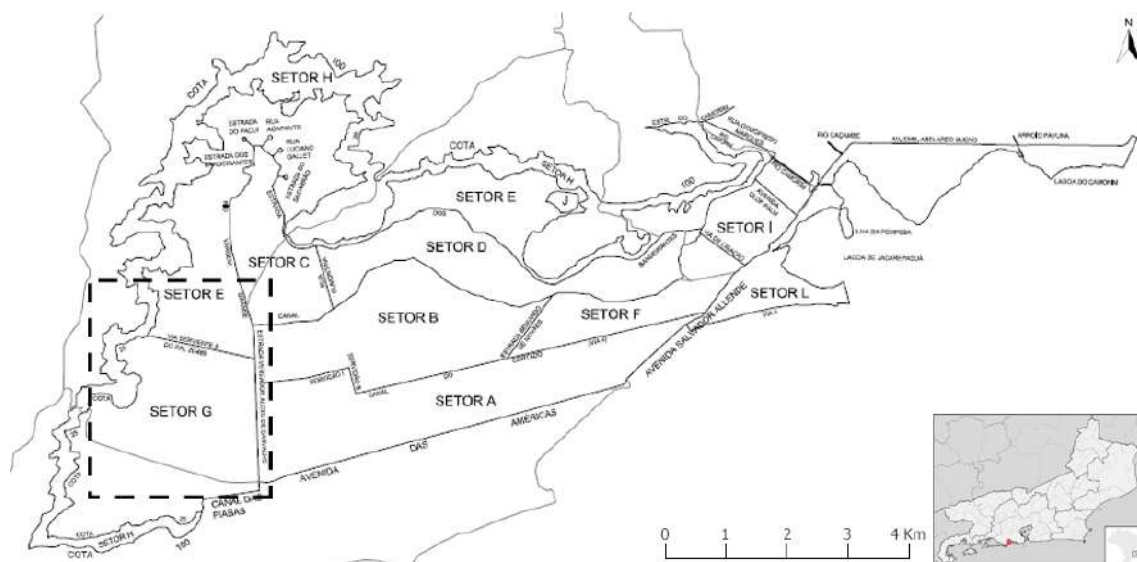


Figura 2.15: Limites dos Setores definidos no PEU das Vargens com destaque para a área de estudo (RIO DE JANEIRO, 2009)

Como observado na Figura 2.15, a área de estudo está localizada nos setores E e G de planejamento do PEU das Vargens. A Figura 2.16 ilustra o zoneamento proposto e a Tabela 2.4 e a Tabela 2.5 apresentam os respectivos parâmetros urbanísticos definidos para os setores.

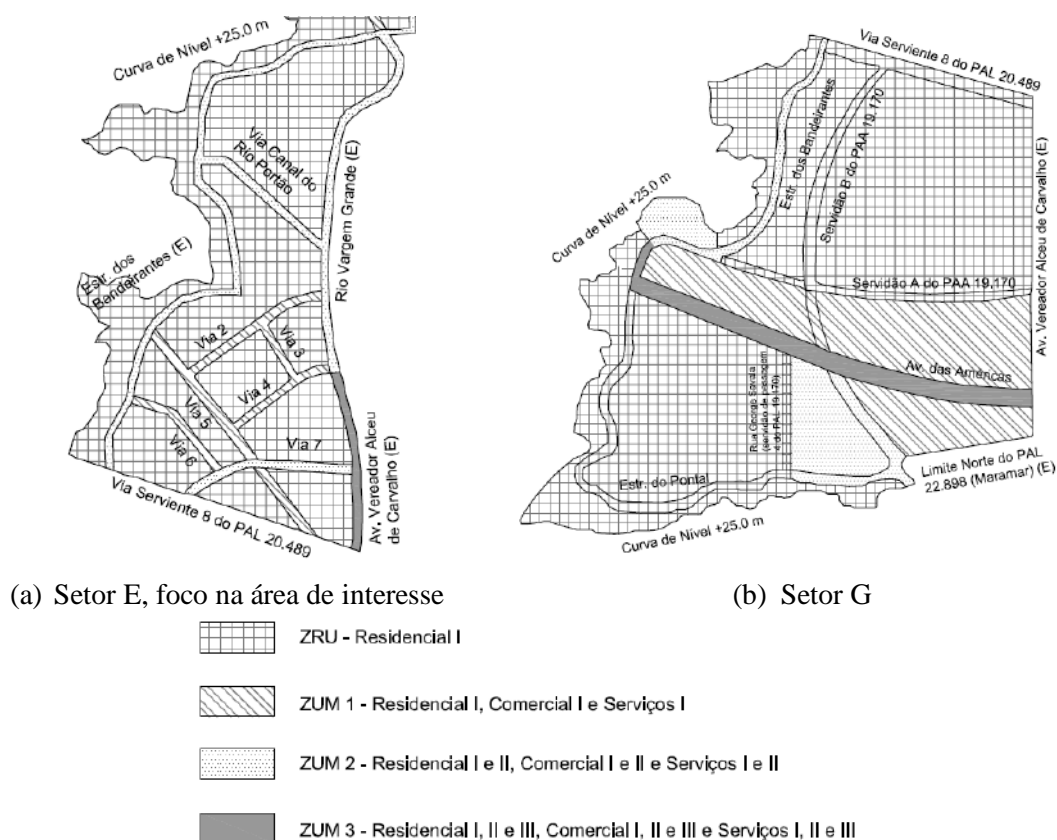


Figura 2.16: Zoneamento dos Setores E e G – PEU das Vargens (RIO DE JANEIRO, 2009)

Tabela 2.4: Parâmetros Urbanísticos – Setor E (RIO DE JANEIRO, 2009)

SETOR E	ZONAS: ZRU E – ZUM 1 E – ZUM 2 E – ZUM 3 E	
CRITÉRIOS PARA PARCELAMENTO	1 sem contrapartida	2 com contrapartida, apenas em ZUM
Área Mínima do Lote	600 m ²	600 m ²
Testada Mínima do Lote	15 m	15 m
CRITÉRIOS PARA EDIFICAÇÃO		
Nº de pavimentos; Altura	4 pisos; 14 m	6 pisos; 20 m
IAT Máximo	2,25	2,5
Taxa de Ocupação	60%	60%
Taxa de Permeabilidade	30%	30%
Afastamento	Frontal	5 m
Mínimo	Das divisas	Obrigatório*
		Obrigatório*

* de acordo com o Regulamento de Construção e Edificação

Tabela 2.5: Parâmetros Urbanísticos – Setor G (RIO DE JANEIRO, 2009)

SETOR G		ZONAS: ZRU G – ZUM 1 G – ZUM 2 G – ZUM 3 G					
CRITÉRIOS PARA PARCELAMENTO		1 sem contrapartida			2 com contrapartida, apenas em ZUM		
Tipos de Ocupação	ZRU	ZUM 1	ZUM 2 ZUM 3	ZUM 1	ZUM 2	ZUM 3	
Área Mínima do Lote	5000 m ²	1000 m ²	180 m ²	800 m ²	180 m ²	180 m ²	
Testada Mínima do Lote	50 m	20 m	5 m	18 m	5 m	5 m	
CRITÉRIOS PARA EDIFICAÇÃO							
Nº de pavimentos;	2 pisos;	4 pisos;	4 pisos;	4 pisos;	8 pisos;	8 pisos;	
Altura	8 m	15 m	15 m	15 m	30 m	30 m	
IAT Máximo	0,4	1,2	2,0	1,5	3,0	3,0	
Taxa de Ocupação	20%	35%	60%	35%	60%	60%	
Taxa de Permeabilidade	60%	30%	10%	30%	10%	10%	
Afastamento	Frontal	15 m	5 m	4 m	5 m	4 m	
Mínimo	Das divisas	Obrigatório*					

* de acordo com o Regulamento de Construção e Edificação

O PEU das Vargens sofreu várias críticas, principalmente no que diz respeito aos índices construtivos aprovados, que representaria uma descaracterização do bairro e geraria um grande impacto ambiental. Com isso, em 2013, foi estabelecido o Decreto Municipal N° 37.958, que cria a Área de Especial Interesse Ambiental na área abrangida pelo PEU das Vargens e congela a concessão de licenças na região. O decreto considera, demonstrando a necessidade de uma revisão da legislação vigente:

- ✓ a fragilidade geográfica e a qualidade paisagística da área de abrangência do PEU das Vargens;
- ✓ a necessidade de o desenvolvimento urbano da região considerar os ecossistemas naturais existentes e de conciliar a urbanização com as limitações do meio físico, da infraestrutura existente e da capacidade da malha viária;
- ✓ o acompanhamento e estudo dos impactos provenientes da legislação de uso e ocupação do solo definida no PEU das Vargens pela Secretaria Municipal de Urbanismo; e
- ✓ os riscos que o recente processo de adensamento apresenta à manutenção da qualidade ambiental, à paisagem urbana e à qualidade de vida da área.

Em 2014, o Decreto Nº 37.958/2013 teve seu prazo prorrogado pelo Decreto Municipal Nº 38.647, considerando a necessidade de complementar os estudos para a regulamentação da Área de Especial Interesse Ambiental.

Uma proposta de atualização do PEU surge, então, em 2015, por meio do Projeto de Lei Complementar Nº 140 (RIO DE JANEIRO, 2015), que institui a operação urbana consorciada da região das Vargens e o Plano de Estruturação Urbana de Vargens, define normas de aplicação de instrumentos de gestão do uso e ocupação do solo e dá outras providências.

Segundo carta do então Prefeito Eduardo Paes como justificativa do Projeto de Lei Complementar:

“O PEU Vargens (LC 104/09), em vigor, define índices de aproveitamento dos terrenos (IATs) muito elevados para uma região ambientalmente frágil, de grande interesse paisagístico e com grande porção do território situada em áreas de baixada.

[...] Assim, o Plano de Estruturação Urbana de Vargens ora apresentado, estabelece condições de uso e ocupação do solo que visam alcançar densidades, construída e demográfica, mais adequadas às características da região, com índices de aproveitamento do terreno (IAT) nunca superiores ao máximo estabelecido no Decreto 3046/81. A proposta pretende promover o desenvolvimento urbano, a valorização do meio ambiente e a qualidade de vida na sua área de abrangência, preservando o patrimônio natural e paisagístico e assegurando o equilíbrio entre o espaço natural e o construído.”

Rocha (2018) faz uma análise do PEU proposto em 2015, destacando o avanço obtido pela proposta no que diz respeito à parte técnica descritiva, com melhor detalhamento de seus parâmetros urbanísticos, sendo mais rigoroso e retornando alguns parâmetros estipulados pelo Decreto Nº 3.046 de 1981. Também ressalta como pontos positivos o incentivo ao uso de transportes ativos e o estímulo ao setor do turismo, diretrizes apresentadas no Art. 17 do Projeto de Lei Complementar.

No entanto, apesar dessas potencialidades, a proposta também contém seus pontos negativos. O elemento cultural, por exemplo, não é citado como objetivo do plano, que tem sua preocupação voltada para os parâmetros construtivos. Além disso, no processo que envolve as Operações Urbanas Consorciadas (OUC), elemento inserido no processo de implementação do PEU, o potencial construtivo e o retorno financeiro que pode ser gerado a partir da ocupação do território ganham relevância e os ambientes naturais passam a ser explorados como potenciais indutores do crescimento. Outro ponto a ser citado é o mecanismo de controle social. Ainda que sejam apresentados programas socioambientais a serem promovidos no início da implementação da OUC e que beneficiam a população local, capacitando-a e inserindo-a nas atividades produtivas geradas a partir da operação, esta proposta não pode ser considerada como um mecanismo de controle social. Destaca-se, no Art. 12, o único mecanismo apresentado, que propõe a criação do Conselho Consultivo da OUC Vargens, embora seja proposto um baixo número de representantes a serem escolhidos pelo poder público, sem a obrigatoriedade de conhecer ou morar no bairro. Também não é estabelecido nenhum meio de publicidade das considerações elaboradas pelo conselho (ROCHA, 2018).

Como até o momento a proposta de 2015 não foi aprovada, a fim de evitar a execução dos parâmetros urbanísticos exigidos no PEU das Vargens de 2009, vários decretos foram instituídos ao longo desses anos visando prorrogar o prazo inicialmente estabelecido pelo Decreto N° 37.958 de 2013. São eles: o Decreto N° 42.660/2016, o Decreto N° 43.374/2017, o Decreto N° 44.203/2018 e o Decreto N° 44.704/2018 (em vigor).

Destaca-se que o Decreto Municipal N° 43.374 de 30 de junho de 2017 também decreta a exclusão da suspensão de licenciamentos para projetos com Índice de Aproveitamento do Terreno (IAT) igual ou inferior a 1,0, definidos pela Lei Complementar N° 104/2009, considerando que o IAT é compatível com as condicionantes relativas à região do PEU das Vargens, de acordo com os estudos existentes e com a proposta de 2015 em andamento na Câmara de Vereadores.

Também cabe ressaltar a promulgação do Decreto N° 44.966 de 27 de agosto de 2018, que decreta a exclusão da suspensão de licenciamentos para os empreendimentos residenciais de interesse social vinculados ao Programa Minha Casa Minha Vida, sendo aplicados os Índices de Aproveitamento do Terreno (IAT) definidos pela Lei Complementar N° 104/2009.

Com todo o impasse existente acerca do PEU das Vargens e da proposta de atualização do plano de 2015, moradores da região se reuniram em resposta aos projetos estudados pela Prefeitura e criaram o Plano Popular das Vargens.

O Plano Popular das Vargens, finalizado em outubro de 2017, é um documento organizado pela Articulação Popular das Vargens e pelo Núcleo Experimental de Planejamento Conflitual do laboratório ETTERN/IPPUR/UFRJ. Contou com a colaboração da Associação dos Agricultores Orgânicos de Vargem Grande (AGROVARGEM), da Associação de Moradores e Amigos de Vargem Grande (AMAVAG) e do Colégio Estadual Prof. Teófilo Moreira da Costa (ROCHA, 2018).

Segundo Rocha (2018), o objetivo do plano é *“dar início ao processo de planejamento popular das Vargens, baseado em um conjunto de princípios construídos democrática e coletivamente”*.

Conforme matéria publicada no Jornal O Globo Online (JORNAL O GLOBO, 2017), o Plano Popular das Vargens estabelece quatro princípios fundamentais: o direito à participação popular, à cidade, à moradia e à agrobiodiversidade.

As propostas do Plano Popular foram organizadas em seis eixos temáticos, de acordo com Rocha (2018): Morar e Plantar; Água, Qualidade Ambiental e Áreas de Preservação; Agroecologia; Infraestrutura, Espaços e Equipamentos Públicos; Mobilidade Urbana; Quilombos e Tradições. As principais propostas são representadas através de um mapa síntese da região, apresentado na Figura 2.17.

MAPA SÍNTESE - PRINCIPAIS PROPOSTAS



Figura 2.17: Mapa Síntese – Principais Propostas do Plano Popular das Vargens (PLANO POPULAR DAS VARGENS, 2017 *apud* ROCHA, 2018)

2.3.5. Novo Código Florestal

A Lei Federal Nº 12.651 de 25 de maio de 2012 (BRASIL, 2012b), mais conhecida como Novo Código Florestal, estabelece normas gerais sobre a proteção da vegetação, Áreas de Preservação Permanente e de Reserva Legal; a exploração florestal, o suprimento de matéria-prima florestal, o controle da origem dos produtos florestais e o controle e prevenção dos incêndios florestais. Também prevê instrumentos econômicos e financeiros para o alcance de seus objetivos. Seu texto original sofreu alterações pelas Leis Nº 12.727/2012, Nº 13.295/2016 e Nº 13.465/2017, pelo Decreto Nº 9.257/2017 e pela Medida Provisória Nº 867/2018.

No Código Florestal, destaca-se a delimitação de Áreas de Preservação Permanente (APP), entendidas, entre outras, como:

- ✓ as faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de:
 - ⇒ 30 metros, para os cursos d'água de menos de 10 metros de largura;
 - ⇒ 50 metros, para os cursos d'água que tenham de 10 a 50 metros de largura;
 - ⇒ 100 metros, para os cursos d'água que tenham de 50 a 200 metros de largura;
 - ⇒ 200 metros, para os cursos d'água que tenham de 200 a 600 metros de largura;
 - ⇒ 500 metros, para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 metros;
- ✓ as áreas no entorno dos lagos e lagoas naturais, em faixa com largura mínima de:
 - ⇒ 100 metros, em zonas rurais, exceto para o corpo d'água com até 20 hectares de superfície, cuja faixa marginal será de 50 metros;
 - ⇒ 30 metros, em zonas urbanas;
- ✓ as áreas no entorno dos reservatórios d'água artificiais, decorrentes de barramento ou represamento de cursos d'água naturais, na faixa definida na licença ambiental do empreendimento;
- ✓ as áreas no entorno das nascentes e dos olhos d'água perenes, qualquer que seja sua situação topográfica, no raio mínimo de 50 metros.

É importante ressaltar que, no Estado do Rio de Janeiro, é vigente o Decreto Estadual nº 42.356 de 16 de março de 2010, que flexibiliza o Código Florestal no que diz respeito à demarcação da Faixa Marginal de Proteção (FMP).

De acordo com o Decreto (RIO DE JANEIRO, 2010), os limites mínimos fixados no Código Florestal poderão ser reduzidos desde que a área se localize em zona urbana do município e que vistoria local comprove, cumulativamente:

- ✓ que a área se encontra antropizada;
- ✓ a longa e consolidada ocupação urbana, com a existência de, no mínimo, quatro dos seguintes equipamentos de infraestrutura urbana: malha viária com canalização de águas pluviais; rede de abastecimento de água; rede de esgoto; distribuição de energia elétrica e iluminação pública; recolhimento de resíduos sólidos urbanos; tratamento de resíduos sólidos urbanos; e densidade demográfica superior a cinco mil habitantes por km²;
- ✓ a inexistência de função ecológica da FMP/APP em questão, desde que identificadas a inexistência de vegetação primária ou vegetação secundária no estágio avançado de regeneração e a presença de, no mínimo, uma das seguintes características:
 - ⇒ ocupação consolidada das margens do curso d'água a montante e a jusante do trecho em análise;
 - ⇒ impermeabilização da FMP/APP;
 - ⇒ capeamento do curso d'água, sendo que, no caso de obras recentes, deverá ser apresentado ao órgão ambiental competente o respectivo projeto aprovado pela prefeitura local ou o levantamento cadastral da obra.
- ✓ que a alternativa de recuperação da área como um todo seja inviável pelos custos manifestamente excessivos para a coletividade.

Neste caso, com exceção de cursos d'água de pequeno porte ou canalizados com margem revestida, a FMP/APP mínima será de 15 metros, contados a partir de uma seção teórica capaz de escoar sem extravasamento a vazão máxima de cheia de dez anos de recorrência ou a partir das margens existentes, se a distância entre as mesmas superar a largura da seção teórica.

2.4. Interface entre a Drenagem/Gestão de Risco de Inundações e o Planejamento Urbano

Um sistema de drenagem urbana sustentável deve ser capaz de acompanhar o processo de desenvolvimento da cidade, mantendo sua funcionalidade. No entanto, uma vez que esse processo altera as respostas naturais das bacias hidrográficas, se o seu crescimento não for controlado, até mesmo as soluções sustentáveis de drenagem podem falhar em um momento futuro (MIGUEZ *et al.*, 2015).

É importante reconhecer, então, assim como Fontes e Barbassa (2003), que alguns problemas referentes às inundações urbanas podem ser minimizados ou até mesmo evitados se os responsáveis pelo planejamento observarem mais atentamente como a drenagem se processa em uma área urbana. Isto poderia ser possível com a incorporação desses conhecimentos já nas atividades preliminares do processo de planejamento urbano, sobretudo em termos de uso e ocupação do solo.

Tingsanchali (2012) e *Asian Development Bank – ADB* (2016), por exemplo, evidenciam a importância do papel do planejamento urbano e de outros processos de gestão do uso do solo urbano na redução do risco de inundações, com aumento da resiliência das cidades e prevenção das perdas. Tingsanchali (2012) destaca que as medidas de planejamento urbano podem levar, a longo prazo, a soluções mais eficazes e economicamente mais eficientes do que os meios tradicionais de controle de inundações. ADB (2016) complementa que a gestão do uso do solo urbano permite entender como os perigos interagem com os padrões presentes e futuros de crescimento urbano e identificar quais medidas podem ser realizadas para promover o desenvolvimento urbano sensível ao risco. Além disso, ao enquadrar o risco de desastres no contexto dos processos de desenvolvimento urbano, a viabilidade econômica e política das medidas de redução de risco propostas é aprimorada.

Segundo Miguez *et al.* (2015), um planejamento urbano deve englobar algumas premissas gerais:

- ✓ A bacia hidrográfica deve ser considerada como referência para o planejamento urbano, mesmo que seus limites territoriais não coincidam com os limites administrativos municipais;
- ✓ Os padrões de escoamento e o comportamento das bacias hidrográficas devem ser mapeados, para reconhecer os limites impostos pela natureza;

- ✓ Os caminhos de escoamento natural e as planícies de inundação devem ser preservados e a sua ocupação deve ser evitada - uma possibilidade para ocupar e proteger essas áreas enquanto fornecem capacidade de armazenamento é a criação de parques naturais ou urbanos;
- ✓ O desenvolvimento urbano deve ser orientado pelos padrões de escoamento das bacias hidrográficas - por exemplo, locais que são naturalmente mais impermeáveis, atribuíveis às características do solo, são responsáveis por gerar maiores volumes de escoamento e podem ser definidos como prioridades para a expansão urbana;
- ✓ A vegetação natural deve ser preservada, pelo menos nos topos de morro e nas áreas ribeirinhas; e
- ✓ As taxas de impermeabilização devem ser controladas na expansão urbana - a introdução de medidas de drenagem urbana sustentável, por exemplo, pode compensar as mudanças urbanas no ciclo natural da água, sempre que necessário.

Pode-se perceber, portanto, que o Plano Diretor e o Zoneamento se configuram como instrumentos imprescindíveis na interface entre o planejamento urbano e a drenagem e a redução de riscos de inundação. O Plano Diretor Urbano, conforme exemplificado por Miguez *et al.* (2016), deve estar associado ao mapeamento de cheias e precisa focar no controle do uso do solo para não conflitar com as áreas alagáveis, a fim de manter também as condições de ocupação com a menor interferência possível sobre o ciclo hidrológico, controlando, principalmente, as condições de impermeabilização da bacia.

O zoneamento urbano, por sua vez, pode determinar as restrições de ocupação segundo a frequência de inundações e alagamentos em cada área. A calha menor e a planície de inundação dos rios, áreas frequentemente inundáveis, deveriam ser mantidas de forma mais natural, sendo vetado qualquer tipo de ocupação. Em regiões onde ocorrem inundações eventuais, poderiam ser permitidas atividades de recreação, construção de parques e outros usos onde a inundação não provoque prejuízos ou riscos importantes, conservando-se esta área para uso da população e proteção contra habitações ilegais (SILVA, 2017). As áreas menos sujeitas a alagamento poderiam receber restrições de ocupação, com a definição de cotas de segurança ou a adoção de medidas de proteção individual das edificações e, por fim, as áreas mais seguras poderiam ser liberadas para a construção de forma mais irrestrita (MIGUEZ *et al.*, 2016).

Serrao-Neumann *et al.* (2017) ressaltam a importância de uma melhor integração entre a água e o planejamento do uso do solo, com destaque para a necessidade de os atuais mecanismos de planejamento abordarem as conexões ambientais e hidrológicas entre as cidades e suas regiões, considerarem mudanças futuras e incertezas relativas aos recursos hídricos e possuírem toda uma perspectiva da paisagem.

Para os autores, abordar as conexões ambientais e hidrológicas significa reconhecer que a função da água na cidade precisa ser melhor compreendida e considerada nos processos de tomada de decisão relativos às áreas urbanas, a fim de reduzir os impactos da urbanização nos recursos hídricos e aumentar a sustentabilidade dos sistemas urbanos. Considerar mudanças futuras e incertezas relativas aos recursos hídricos representa reconhecer que o futuro crescimento populacional e a urbanização continuarão a impactar os sistemas hidrológicos. Além disso, ainda há a questão das mudanças climáticas, com aumento da frequência e da intensidade de eventos extremos, como as inundações, que também tem seus efeitos intensificados pelo processo de urbanização e crescimento populacional.

Possuir uma perspectiva da paisagem, por sua vez, significa reconhecer que as estruturas inerentes (características ambientais naturais e antrópicas e padrões de uso do solo), as funções (provisão de serviços ecossistêmicos) e os valores (patrimoniais, ecológicos, sociais, culturais) são aqueles que sustentam a qualidade e a resiliência dos lugares. Além disso, as paisagens possuem valores intrínsecos, que incluem, por exemplo, múltiplos valores atribuídos aos recursos hídricos, como ecológicos, sociais, culturais, estéticos, recreativos e econômicos, que devem ser considerados no planejamento do uso do solo (SERRAO-NEUMANN *et al.*, 2017).

Nesse contexto, pode-se dizer que a paisagem é, assim como descrito por Schlee *et al.* (2009), um produto profundamente impregnado de cultura, resultante de processos de alteração contínuos, ditados por fatores biofísicos, sociais, econômicos e políticos, reproduzidos, dessa maneira, nas formas de ocupação e gestão do território. Assim, uma paisagem, e especialmente a paisagem urbana, não é apenas uma representação cultural de uma sociedade, mas também um conjunto de ações humanas em um ambiente que se estabelece de forma integrada, mas não sem conflitos ao longo do tempo (MIGUEZ *et al.*, 2018b).

Segundo Santos (2006), a paisagem existe por meio de suas formas, criadas em momentos diferentes, mas que coexistem no momento atual. Com isso, ela é transtemporal, unindo objetos passados e presentes em uma construção transversal. Para Serpa (2010), a paisagem pressupõe, também, um processo contínuo de transformação de suas formas e funções (seus aspectos visíveis) que, por sua vez, indicam a estrutura espacial, em princípio, invisível, e resulta da união da paisagem com a sociedade.

Meinig (2003) afirma que “*qualquer paisagem é composta não apenas por aquilo que está à frente de nossos olhos, mas também por aquilo que se esconde em nossas mentes*”. Ou seja, mesmo que um grupo de pessoas olhe para a mesma direção, cada um verá uma paisagem diferente. Isso porque, embora observem elementos iguais no que diz respeito à forma, dimensão e cor, por exemplo, esses elementos recebem significados distintos a partir de associações realizadas no imaginário de cada indivíduo.

Tardin (2016) também ressalta a interpretação humana sobre o espaço físico no que diz respeito à paisagem. Para a autora, as práticas da comunidade sobre a paisagem e suas intenções de atuação, em um processo de evolução contínua, seriam determinadas pela leitura do lugar, com uma significação própria dada por cada comunidade.

Os espaços livres representam grandes oportunidades de transformação no processo de construção da paisagem. Espaço livre, segundo Tardin (2016), é toda área não edificada, com potencial para reestruturar o território urbano, visto que pode assumir funções importantes como, por exemplo, lugar dos ecossistemas, da percepção da paisagem e lugar para ordenar uma possível ocupação futura. Macedo *et al.* (2007) destacam que os espaços livres, enquanto sistema, apresentam relações de conectividade e complementariedade, mesmo que não tenham sido planejados ou implantados como tal.

De acordo com Queiroga (2011), o sistema de espaços livres, em constante processo de transformação e adequação às novas demandas e pressões da sociedade, é básico na existência da cidade. Isso se deve a três fatores: é fundamental ao desempenho da vida cotidiana, é fundamental na constituição da paisagem urbana, elemento da forma urbana, da imagem da cidade, sua história e memórias e participa da constituição da esfera de vida pública e privada.

Conforme ressaltado por Schlee *et al.* (2009), os espaços livres urbanos constituem um sistema complexo, inter-relacionado com outros sistemas urbanos que podem se justapor ao sistema de espaços livres ou se sobrepor, total ou parcialmente, enquanto sistemas de ações. Como exemplos da multiplicidade de papéis, estão a circulação e a drenagem urbanas, atividades de lazer, conforto, preservação, conservação e requalificação ambiental. Além disso, é importante destacar que os espaços livres se apresentam como instrumentos de estímulo a uma maior apropriação do espaço público pela população.

Magnoli (2006), por exemplo, reflete sobre a condição desses espaços como elementos integradores de convívio. Macedo *et al.* (2012) destacam os espaços livres como uma das principais infraestruturas urbanas, já que neles e por eles grande parte da vida cotidiana tem lugar, sendo principais palcos dos conflitos e acordos da sociedade.

No que diz respeito aos atributos biofísicos dos sistemas de espaços livres, suas contribuições revelam tanto a possibilidade de preservar os processos naturais, quanto a oportunidade de promover a integração entre ecologia e o meio urbano no projeto territorial, levando em consideração a relevância da ecologia no processo de tomada de decisão relativo às intervenções urbanísticas (TARDIN, 2016).

Nesse sentido, e relacionando com a questão das inundações urbanas, tais atributos devem ser integrados a fim de conservar o ecossistema aquático tanto quanto possível e de buscar benefícios urbanos a fim de manter a cidade funcionando durante e após a inundação, evitando perdas e utilizando as águas da inundação como parte da dinâmica da cidade. A ideia geral é dar espaço para a água no planejamento urbano, reconhecendo sua dinâmica em concepções de espaços construídos e, portanto, vivendo com a água em um sistema socio ecológico (MIGUEZ *et al.*, 2018c).

Essa discussão está inserida no contexto da *ecologia da paisagem*¹, que oferece um conjunto de princípios capazes de serem aplicados ao projeto e ao planejamento de qualquer paisagem, seja ela natural ou com intensa atividade humana.

¹ De acordo com Metzger (2001), em uma compilação de conceitos dados por alguns autores, a ecologia da paisagem é entendida, entre outras definições: “*como o estudo da estrutura, função e dinâmica de áreas heterogêneas compostas por ecossistemas interativos (Forman & Godron 1986); [...] uma ciência interdisciplinar que lida com as interações entre a sociedade humana e seu espaço de vida, natural e construído (Naveh & Lieberman 1994).*”

Segundo Pellegrino (2000), há quatro componentes prioritários em um plano que considera os princípios da ecologia da paisagem (Figura 2.18): a manutenção de algumas grandes manchas de vegetação, a delimitação de corredores suficientemente largos de vegetação ao longo dos principais cursos d'água, a manutenção de conectividade entre grandes manchas para o movimento de espécies-chave e a manutenção de trechos naturais heterogêneos entre as áreas construídas.

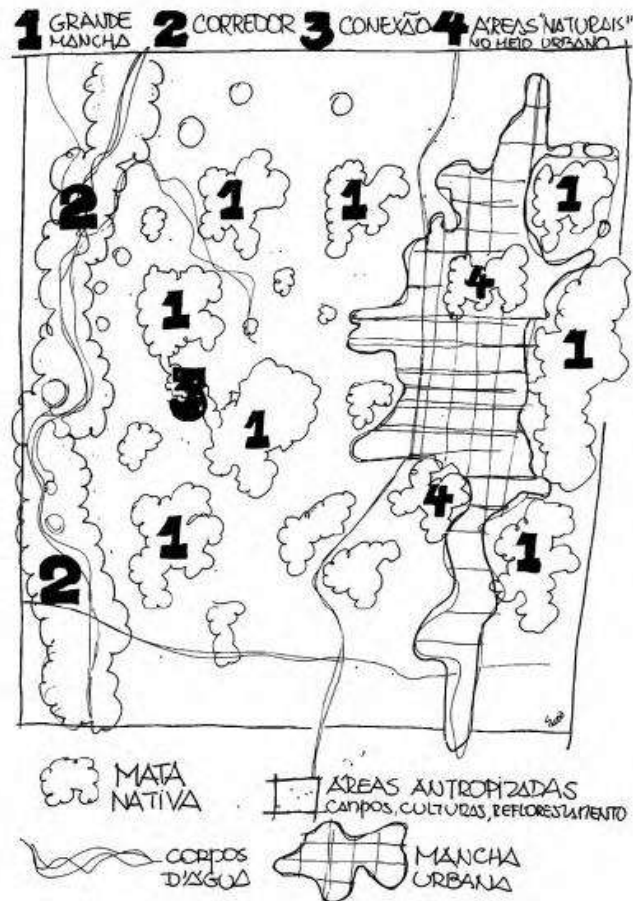


Figura 2.18: Componentes prioritários em um plano (PELLEGRINO, 2000)

Portanto, os sistemas de espaços livres podem ser utilizados para suportar soluções de drenagem e para organizar o crescimento urbano, permitindo a preservação de áreas verdes e oferecendo volumes para o armazenamento temporário de água. Por outro lado, os cursos d'água que definem o sistema de drenagem principal podem ser conjugados com o sistema de espaços livres, oferecendo corredores que unem áreas verdes fragmentadas, mantendo seus fluxos ecológicos em um sistema ambiental integrado (VERÓL *et al.*, 2018).

Pode-se evidenciar, ainda, que a combinação de estruturas da paisagem urbana com funções hidráulicas permite uma composição capaz de auxiliar e equacionar a questão das cheias urbanas de modo harmônico e sustentável. Nesse sentido, o conceito de paisagem multifuncional se destaca, integrando paisagismo, lazer, valorização ambiental e controle de cheias (MIGUEZ *et al.*, 2016).

De acordo com Lourenço (2013), as paisagens multifuncionais garantem o uso racional do solo urbano, considerando que a escassez de áreas livres é cada vez maior em bacias urbanas. Assim, propicia a valorização imobiliária do entorno, aumenta a qualidade de vida da população, pois permite um ambiente mais saudável e atinge, desta forma, os pilares fundamentais da sustentabilidade.

No contexto das inundações urbanas, espaços livres de permanência, como praças e parques, podem ter esse conceito aplicado adquirindo, além das suas funções originais, a função de promover o controle da quantidade e/ou da qualidade dos escoamentos gerados no meio urbano. No que diz respeito ao controle da quantidade, pode-se citar a possibilidade de transformação em bacias de retenção, a partir do rebaixamento de áreas, ou ainda a criação de lagos permanentes com volume de espera, constituindo-se de bacias de retenção. A Figura 2.19 mostra um exemplo de proposta de projeto multifuncional para a Praça Barão de Drummond, localizada em Vila Isabel, bairro da cidade do Rio de Janeiro, e inserida na bacia do Rio Joana. O projeto conta com anfiteatro, quadra esportiva, playground, áreas de convivência e rebaixamento de várias áreas de forma escalonada, para armazenar volumes de cheia gradualmente (TEBALDI, 2014).

Outras medidas de drenagem urbana sustentável podem ser citadas como soluções para obter os objetivos multifuncionais. As medidas de infiltração, por exemplo, como pavimentos permeáveis, jardins de chuva, trincheiras de infiltração, entre outras, aparecem como oportunidades de aplicação distribuída na escala da bacia, como nas calçadas, integrando diversos benefícios, sejam eles a melhoria da circulação do pedestre, da infiltração e acumulação de água da chuva, entre outros. A Figura 2.20 exemplifica a oportunidade de introdução de algumas medidas na escala da calçada.

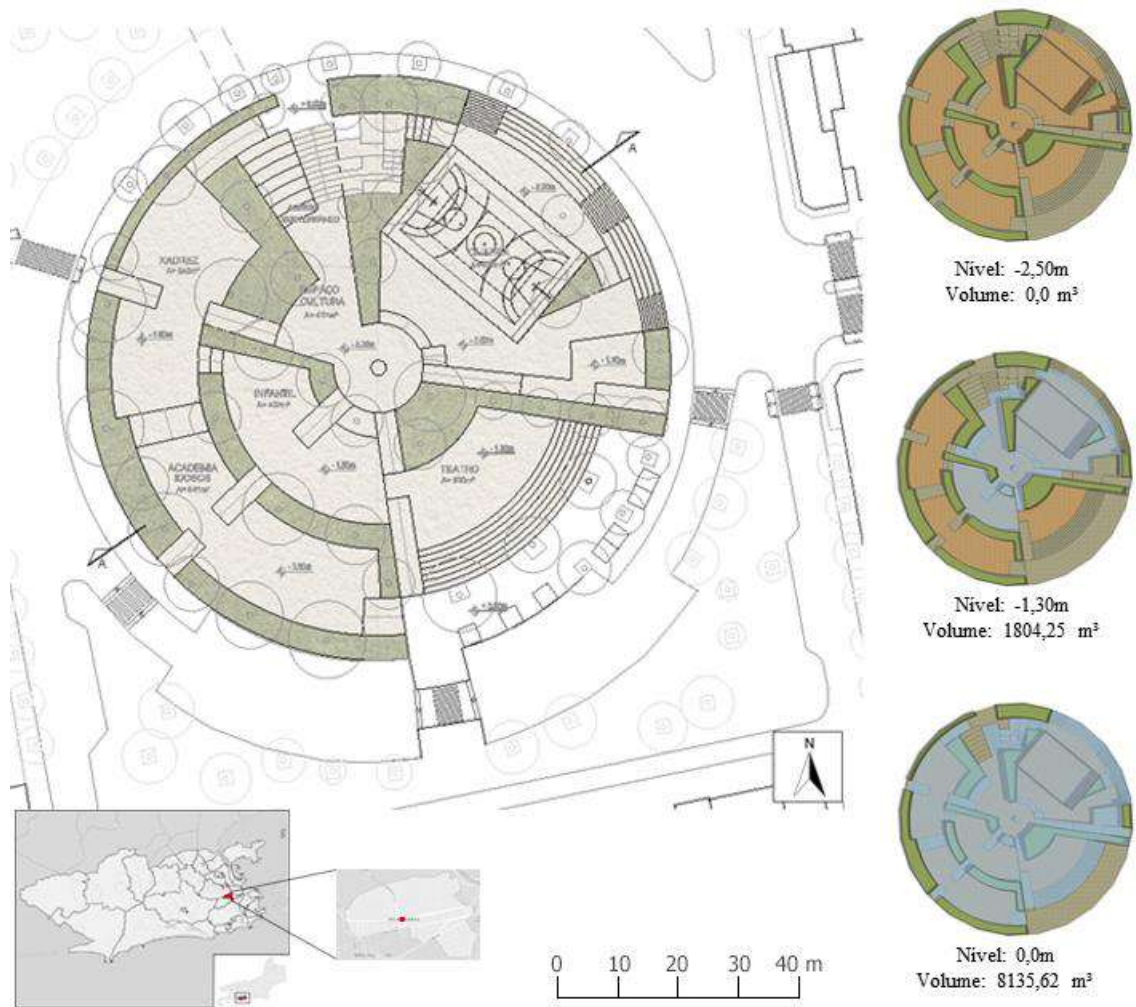


Figura 2.19: Proposta de Projeto Multifuncional na Praça Barão de Drummond, Vila Isabel (TEBALDI, 2014)



Figura 2.20: Possibilidades de Introdução de Medidas de Drenagem Urbana Sustentável no meio urbano – Escala da Calçada

É importante ressaltar, no entanto, que mesmo com tantas possibilidades, a abordagem que integra o planejamento urbano com a drenagem/gestão de risco de inundação ainda é fraca e precisa ser fortalecida e melhor coordenada. Um passo inicial para a adoção dessa abordagem é envolver mais interessados relacionados à questão de mitigação das inundações, o que pode melhorar a qualidade e a implementação dos planos existentes (RAN; NEDOVIC-BUDIC, 2016).

2.5. Índices

Índices são ferramentas de suporte à decisão, capazes de agregar informações associadas a indicadores de naturezas distintas a fim de representar, em um único valor, uma situação real. Com isso, permitem que sejam realizadas comparações no tempo e no espaço, pois refletem o efeito conjunto de um grupo de indicadores (ZONENSEIN, 2007). Os índices, segundo De Bonis (2006), podem desempenhar funções diversas, tais como avaliar condições existentes, comparar lugares, situações ou alternativas, proporcionar antecedência ao advertir sobre algum efeito ou impacto de uma ação, ou ainda prever futuras condições e tendências.

Um indicador é algo que aponta um nível ou estado, sendo um componente tangível de parte de um sistema, capaz de estimar quantitativamente sua condição (social, econômica, física) de forma a representar o sistema completo (PRATT *et al.*, 2004).

Para a elaboração de um índice, propriedades como a constituição, o domínio, a formulação e a escala devem ser determinadas. Como ressaltado por Zonensein, (2007), a constituição de um índice corresponde ao grupo de indicadores que o compõem e o domínio refere-se à esfera espacial (local, regional, global) de aplicabilidade do índice. A formulação, por sua vez, é a expressão matemática que representa a relação entre os indicadores considerados. Por fim, a escala é definida pelos seus extremos máximo e mínimo, entre os quais estão compreendidos todos os valores que o índice pode assumir.

É importante destacar que indicadores podem ter natureza e unidade distintas, levando à necessidade de uma normalização e conversão a uma escala comum, segundo sua formulação, para que possam ser utilizados em comparação de situações complexas.

Dentre as abordagens metodológicas existentes para a construção de ferramentas de suporte à decisão, pode-se ressaltar a análise multicritério. Segundo Mendoza e Macoun (1999), a análise multicritério é uma metodologia desenvolvida para resolver problemas complexos, envolvendo equipes multidisciplinares e considerando diversos objetivos, alternativas e fatores, sejam qualitativos e/ou quantitativos, que a influenciam. Consiste em estruturar e combinar diferentes análises, considerando o processo de tomada de decisão, que se baseia em escolhas múltiplas. O tratamento dado a cada uma das escolhas condiciona, em grande parte, a decisão final (PEREIRA, 2017).

Assim como ressaltado por Pereira (2017), a análise multicritério é capaz de tornar o processo de decisão mais ordenado, objetivo e transparente, ainda que esteja sujeita a decisões subjetivas, influenciadas pela percepção particular do decisor. Isso pode ser exemplificado com a aplicação de um determinado índice a uma área em especial. Cada lugar possui suas características específicas e, portanto, depende de hipóteses e estimativas particulares, capazes de fazer a ferramenta utilizada representar a realidade local. Adaptações podem ser feitas no próprio processo de cálculo dos indicadores, como na normalização e nos pesos considerados, dependendo, dessa forma, das percepções do decisor.

No entanto, ainda que o método não garanta a racionalidade completa no processo de decisão, as ideias são consideradas de forma racional, em um ambiente com poucas informações seguras, para subsidiar o processo de análise que apresenta bastante complexidade (BASTOS 2000 *apud* MALTA, 2006).

Um levantamento realizado por Cho e Chang (2017) concluiu que vários tipos de ferramentas de apoio à decisão têm sido amplamente pesquisados para a política de mitigação de inundações e avaliação de projetos. Com isso, as temáticas do risco a inundações e seus componentes e da qualidade ambiental da bacia associada à resposta a projetos de controle de inundações e a diferentes alternativas de urbanização têm sido abordadas na construção de índices. A seguir, são listados alguns exemplos.

- **Índice de Risco de Cheia (IRC)**, desenvolvido por Zonensein (2007), em sua dissertação de mestrado, para discutir os riscos de alagamento relacionados a um ambiente urbano e as consequências das escolhas relacionadas com as tentativas de atenuar o problema;
- **Escala de Resiliência (ER)**, desenvolvido por Veról (2013), em sua tese de doutorado, e apresentado em Miguez e Veról (2016) para mensurar a resiliência de projetos de controle de inundações a partir da comparação de valores de risco de inundação em configurações atual e futura;
- **Índice de Resiliência a Inundações (IRES)**, desenvolvido por Tebaldi *et al.* (2015) com atualizações e complementações por Bertilsson *et al.* (2019) e por Rezende (2018), em sua tese de doutorado, para mensurar a resiliência urbana às inundações, adotando uma metodologia que parte do conceito de risco;

- **Índice de Vulnerabilidade Urbana a Cheias (IVUC)**, desenvolvido por Silva (2017), em sua tese de doutorado, para avaliar a vulnerabilidade urbana frente a processos de cheias, considerando suas quatro dimensões: econômica, social, infraestrutural e ambiental;
- **Índice de Vulnerabilidade a Inundações (IVI)**, desenvolvido por Balica (2007), em sua dissertação de mestrado, para avaliar as condições que favorecem os danos causados pelas cheias em diferentes escalas: da bacia, da sub-bacia e da área urbana;
- **Índice de Requalificação Fluvial Urbana (REFLU)**, desenvolvido por Veról (2013), em sua tese de doutorado, e apresentado em Veról *et al.* (2019) para avaliar a efetividade de medidas propostas em relação à melhora do estado do rio.

Outros índices ainda podem ser destacados. O Programa de Desenvolvimento das Nações Unidas - UNDP (2004) desenvolveu o Índice de Risco a Desastres (*DRI*) para quantificar e comparar os graus de exposição física à vulnerabilidade, ao perigo e ao risco, por país, com relação a quatro tipos de perigo: inundações, terremotos, ciclones e secas. CIRF (2006) criou o Índice de Avaliação dos Ecossistemas Fluviais (*FLEA*) para caracterizar o estado dos cursos d'água segundo os critérios estabelecidos pela Diretiva Marco da Água (2000). Kotzee e Reyers (2016) propuseram o Índice de Resiliência a Inundações para medir e mapear a distribuição espacial dos níveis de resiliência de um sistema a inundações. Miranda (2016), em sua dissertação de mestrado, idealizou o Índice de Susceptibilidade do Meio Físico a Inundações (ISMFI) para avaliar qualitativamente áreas propensas a inundações tanto no ambiente natural quanto no ambiente construído. Pereira (2017), em sua dissertação de mestrado, formulou o Índice de Risco de Inundação (IRI) para estimar quantitativamente o risco, levando em consideração características de susceptibilidade à inundação e problemas socioeconômicos da população residente da bacia, focando no componente da vulnerabilidade social. Também pode ser citado o Índice de Sustentabilidade desenvolvido por Shah *et al.* (2017), proposto para avaliar a sustentabilidade de projetos de mitigação de inundações ao longo de seu ciclo de vida.

3. METODOLOGIA

Neste capítulo, é apresentada a metodologia proposta neste trabalho, que utiliza ferramentas de suporte à decisão capazes de indicar a melhor alternativa de projeto, sob o ponto de vista de redução de risco a inundações, aumento de resiliência e requalificação fluvial e ambiental no ambiente urbano, bem como da eficiência da infraestrutura urbana.

A primeira etapa consiste na utilização da ferramenta de modelagem matemática Modelo de Células de Escoamento (MODCEL), responsável por fornecer os dados referentes ao comportamento da bacia hidrográfica frente às inundações, possibilitando o diagnóstico e a análise espacial dos impactos das alternativas propostas, por meio de manchas de inundação. Uma primeira avaliação é realizada com os resultados obtidos nesse processo, a fim de verificar se a alternativa possui características de sustentação do controle de inundações ao longo do tempo. Em caso negativo, a alternativa é descartada. Caso contrário, prossegue-se para a próxima etapa, em que a alternativa é avaliada quantitativamente por índices que, em conjunto, abordam aspectos sociais, econômicos, infraestruturais e ambientais. São aplicados o Índice de Resiliência a Inundações (IRES), o Índice de Vulnerabilidade a Inundações (IVI), o Índice de Requalificação Fluvial Urbana (REFLU), o Índice de Avaliação da Qualidade Ambiental (IAQA) e o Índice de Eficiência da Infraestrutura Urbana (IEIU).

Por fim, após uma análise dos resultados individuais obtidos com a aplicação de cada índice, é proposto um agrupamento dos valores compondo o Índice de Avaliação de Projetos (IAP), visando facilitar a análise entre as alternativas consideradas e a tomada de decisão na seleção da melhor e mais adequada proposta para o local de interesse. A Figura 3.1 sintetiza o quadro metodológico proposto neste trabalho. Em seguida, as ferramentas metodológicas utilizadas no processo são descritas.

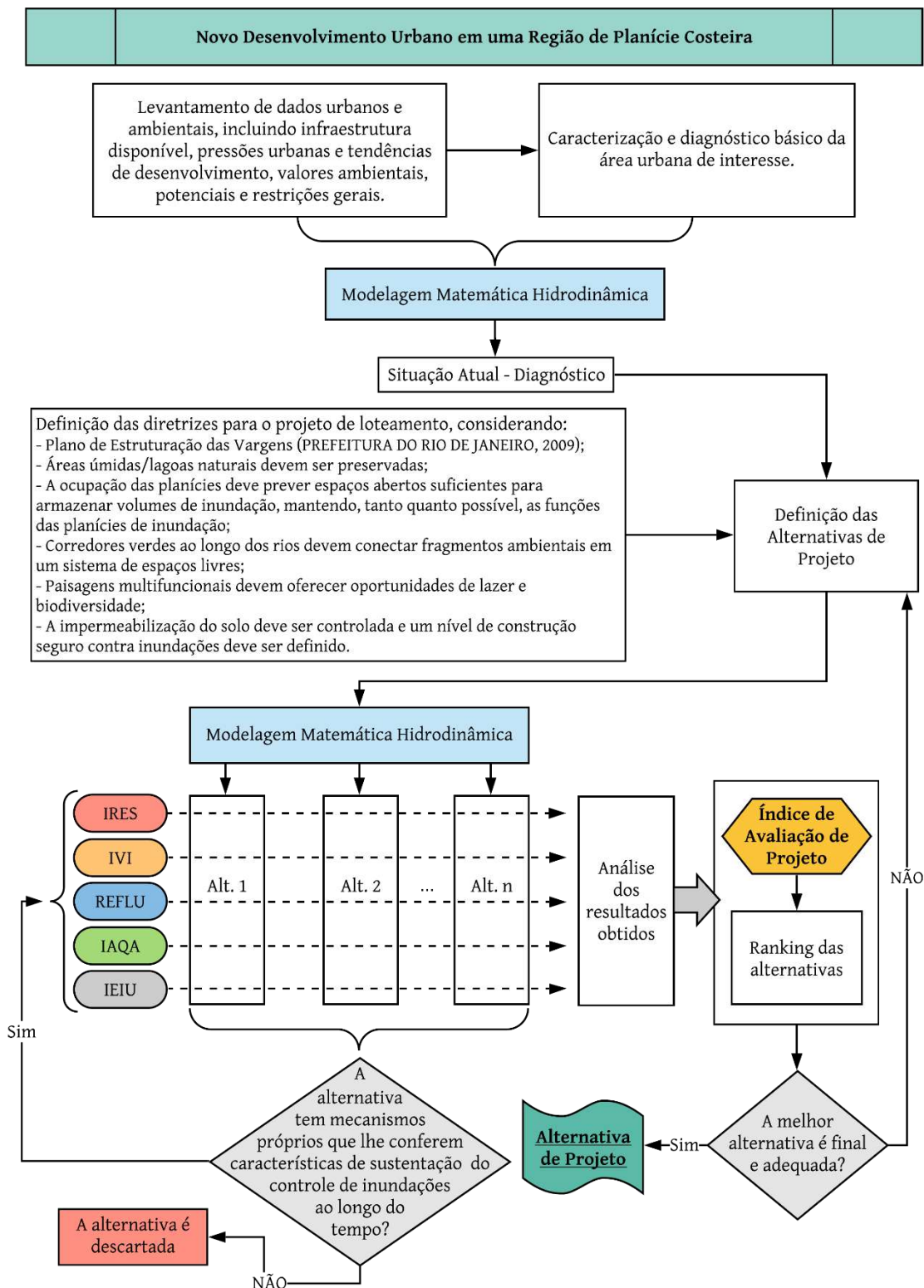


Figura 3.1: Fluxograma de Processo de Decisão Proposto

3.1. Ferramenta de Modelagem Matemática: MODCEL

O Modelo de Células de Escoamento – MODCEL (MASCARENHAS; MIGUEZ, 2002; MIGUEZ *et al.*, 2011; MIGUEZ *et al.*, 2017) é uma ferramenta com vocação para representação da paisagem urbana, que integra os processos hidrológicos, observados em cada célula, com um modelo hidrodinâmico, em uma representação espacial que liga o escoamento de superfície, de canais e o de tubulações. É um modelo *Quasi-2D* baseado no conceito de células de escoamento (ZANOBETTI *et al.*, 1970) no qual o território é representado a partir de um conjunto de compartimentos que integram toda a área da bacia, relacionados entre si por leis hidráulicas unidimensionais.

Esse conjunto de compartimentos, denominados de células, é definido para simular áreas naturais, áreas urbanas, reservatórios, canais e bueiros, geralmente funcionando em conjunto para construir estruturas mais complexas e representar os padrões do território. Para descrever cada célula, inicialmente, é necessário definir o seu tipo, que pode ser:

- 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 **planície**, para a representação de escoamentos à superfície livre em planícies alagáveis, áreas de armazenamento e áreas de encosta, por exemplo; e
- de **reservatório**, simulando o armazenamento de água em um reservatório temporário. Dispondo de uma curva *cota x área superficial*, e, portanto, conhecendo a variação de profundidades, pode-se também conhecer a variação de volume armazenado.

Em cada célula, é preciso definir um ponto, chamado de centro de célula. Esse ponto deve ser localizado onde podem ocorrer mudanças no escoamento ou na sua direção, ou ainda, na confluência de dois caminhos de escoamento, por exemplo. Essa definição é importante, visto que os cálculos do modelo são realizados entre um centro de célula e outro. Também é preciso definir a área da célula, a sua cota (representação da topografia), o coeficiente de escoamento superficial (representação do uso do solo), e a sua área de armazenagem.

O escoamento que ocorre entre as células é realizado no modelo por meio de ligações, em que cada tipo específico de ligação é representado por uma equação. O modelo de células dispõe de ligações tipo Rio, Planície, Transição Canal/Galeria (entrada e saída de galerias), Galeria sob Pressão, Vertedouro, Orifício, Bombeamento e Comporta FLAP, entre outras. Cada tipo de ligação possui um conjunto de informações específicas necessárias para sua representação, como o coeficiente da ligação (ex.: coeficiente de Manning), a geometria da ligação (ex.: largura de ligação), a cota do vertedouro e o comprimento da ligação (distância entre centros), por exemplo.

Desta forma, dado um hietograma (uma intensidade de chuva medida ao longo do tempo para um dado evento ou uma chuva projetada para um determinado período de retorno) e as condições de contorno (níveis de água ou hidrogramas), as principais saídas da modelagem são a altura da lâmina d'água resultante em cada célula, permitindo a produção de manchas de inundação, e as vazões entre cada duas células (MIGUEZ *et al.*, 2019). A Figura 3.2 ilustra, esquematicamente, o funcionamento de uma célula de escoamento.

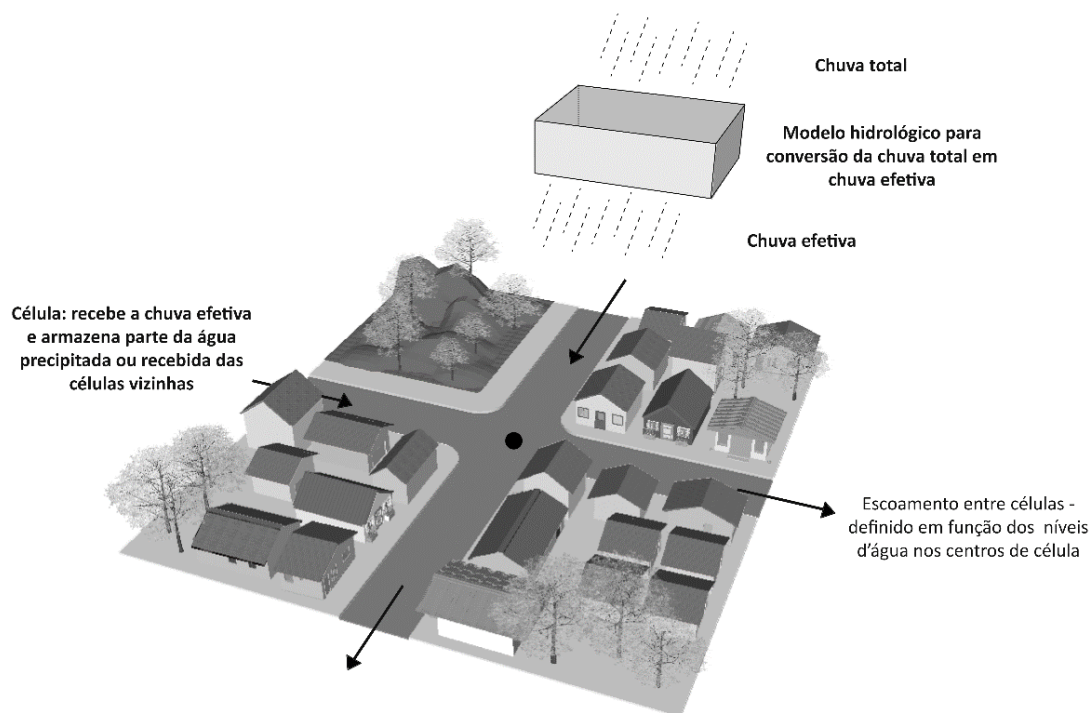


Figura 3.2: Funcionamento esquemático de uma célula de escoamento (MIGUEZ *et al.*, 2018)

3.2. Índice de Resiliência a Inundações (IRES)

O Índice de Resiliência a Inundações (IRES) é um índice quantitativo multicritério com variação de 0 a 1, que leva à necessidade de normalização e conversão a uma escala comum dos seus indicadores. O índice foi assim pensado para que, mesmo com a possibilidade de tais indicadores terem naturezas e unidades distintas, possam ser utilizados em comparação de situações complexas, segundo a sua formulação (TEBALDI *et al.*, 2015).

Sua metodologia se baseia no conceito de minimização do risco, combinando seus componentes básicos de *perigo* e *vulnerabilidade*, considerados no sentido contrário de sua materialização. Com isso, o índice conjuga cinco subíndices referentes às características de inundação, vulnerabilidade, valor relativo e exposição, agrupados em três parcelas, ponderadas em um somatório. Sua formulação está apresentada na Equação (3.1).

Destaca-se que o índice IRES foi desenvolvido por Tebaldi *et al.* (2015) e contou com atualizações e complementações por Rezende (2018) e por Bertilsson *et al.* (2019), sendo a formulação utilizada neste trabalho a de Bertilsson *et al.* (2019).

$$IRES = [1 - (I_P^{n_1} \cdot I_E^{n_2} \cdot I_S^{n_3})] \cdot m_1 + (1 - I_{VR}) \cdot m_2 + (1 - I_{FP}) \cdot m_3 \quad (3.1)$$

Onde: IRES - Índice de Resiliência a Inundações;

I_P - Subíndice “Perigo”, variável entre 0 e 1, correspondente à lâmina d’água dentro das edificações, em uma dada área, capaz de gerar danos, dependendo da altura atingida;

I_E - Subíndice “Exposição”, variável entre 0 e 1, relativo à densidade de domicílios presente nas áreas inundáveis – essa densidade considera, de forma indireta, a população afetada, seja pelo alagamento de suas residências, seja pela dificuldade de acesso aos domicílios;

I_S - Subíndice “Susceptibilidade”, variável entre 0 e 1, relativo às edificações efetivamente afetadas pelas cheias (casas e térreos de edifícios) nas áreas inundáveis;

I_{VR} - Subíndice “Valor Relativo”, variável entre 0 e 1, relativo às perdas provocadas pela inundação comparadas à capacidade de reposição da população atingida;

I_{FP} – Subíndice “Fator de Permanência”, variável entre 0 e 1, relativo ao tempo de alagamento mantido acima de determinadas lâminas de referência, associadas a perturbações na circulação de pedestres, tráfego e alagamento de residências;

m_1, m_2, m_3 - Pesos associados a cada uma das parcelas, atribuídos em função de sua importância relativa. O somatório dos pesos “ m ” deve resultar 1 ($m_1 = 0,5$; $m_2 = m_3 = 0,25$, por exemplo, sujeito a variações conforme o julgamento do peso relativo).

n_1, n_2, n_3 - Pesos associados aos subíndices I_P, I_E, I_S , atribuídos em função de sua importância relativa. O somatório dos pesos “ n ” deve resultar 1 ($n_1 = 0,5$; $n_2 = n_3 = 0,25$, como sugestão inicial).

Cada parcela da formulação do IRES possui uma interpretação física específica, segundo Bertilsson *et al.* (2019):

- Parcela 1: $[1 - (I_P^{n_1} \cdot I_E^{n_2} \cdot I_S^{n_3})] \cdot m_1$ - Esta parcela, no contexto da resiliência, representa a “População resguardada e as perdas evitadas”, combinando os fatores exposição, susceptibilidade e altura de inundação dentro do domicílio (indicador “Perigo”). A percepção de aumento da resiliência, neste caso, pode se dar pela relocação de domicílios para fora da área de inundação (diminuição da exposição), pela adaptação dos domicílios, para que o térreo seja mais resistente, por exemplo, com casas projetadas sobre pilotis, ou com comportas e válvulas de retenção na rede de esgotamento doméstico e pluvial (diminuição da susceptibilidade); ou pela redução dos alagamentos com medidas que controlam a transformação da chuva em vazão. De certa forma, há uma convergência para a resistência, mas se a resistência é sustentada ao longo do tempo, implica em uma maior resiliência.
- Parcela 2: $(1 - I_{VR}) \cdot m_2$ - Esta parcela avalia a capacidade econômica de recuperação da população afetada pelas inundações, relacionadas aos danos a edifícios residenciais e seu conteúdo, representando uma parcela socioeconômica da resiliência;
- Parcela 3: $(1 - I_{FP}) \cdot m_3$ - Esta parcela se refere à capacidade da rede de drenagem em escoar o mais rapidamente possível as águas do alagamento ocorrido, representando a capacidade de resposta do sistema se manter funcional após o evento, recuperando as características originais. Um alagamento que é rapidamente drenado traz menos efeitos nocivos que um alagamento que se mantém por horas (ou dias). Essa interpretação traz um enfoque da resiliência da

infraestrutura urbana, no que diz respeito ao sistema de drenagem. Também se pode dizer que esta avaliação mostra as faces da resiliência em relação à manutenção da mobilidade urbana, à redução de problemas de saúde pública e à própria não degradação da paisagem urbana.

Assim, a composição do IRES busca integrar aspectos sociais, econômicos e de resistência da cidade, bem como capacidade de manutenção de funções e resposta da infraestrutura de drenagem. A seguir, é apresentada a metodologia de cálculo de cada subíndice que compõe o IRES.

3.2.1. Subíndice Perigo (I_P)

O subíndice *Perigo* (Equação (3.2)) inclui indicadores relativos às características de inundação e se refere ao alagamento de uma determinada área, relacionando a altura da lâmina d'água máxima resultante de um evento de cheia com uma altura referencial de lâmina d'água, adotada como 1,30 m, em relação às ruas, o que gera, conforme padrão de urbanização do local analisado, uma lâmina d'água de 0,80 m no interior da residência, representativa de dano significativo.

$$I_P = \frac{h}{h_{ref}} \quad (3.2)$$

Onde: h - Altura da lâmina d'água (m);

h_{ref} - Altura referencial da lâmina d'água (m).

3.2.2. Subíndice Exposição (I_E)

O subíndice *Exposição* é composto por indicadores relativos à exposição da população aos eventos de inundações. Representa a população potencialmente exposta a um evento de inundação de uma determinada área e é representado pela densidade de domicílios (Equação (3.3)).

$$I_E = \frac{DD}{DD_{ref}} \quad (3.3)$$

Onde: DD - Densidade de domicílios (dom/km²);

DD_{ref} - Densidade de domicílios de referência, tomada igual à densidade do percentil 75% da cidade em que está inserido o estudo de caso (dom/km²).

3.2.3. Subíndice Susceptibilidade (I_s)

O subíndice *Susceptibilidade* relaciona indicadores relativos às edificações que estão diretamente susceptíveis aos eventos de cheia, ou seja, casas e pavimentos térreos de prédios. Sua formulação é apresentada na Equação (3.4).

$$I_s = \frac{N_{casas+apartamentos\ no\ térreo}}{N_{total\ de\ residências}} \quad (3.4)$$

Onde: $N_{casas+apartamentos\ no\ térreo}$ - Somatório de casas e apartamentos no térreo de edifícios (dom);

$N_{total\ de\ residências}$ - Total de residências de uma determinada área (dom).

3.2.4. Subíndice Valor Relativo (I_{VR})

O subíndice *Valor Relativo* relaciona indicadores relativos a características da inundação e, em geral, os seus prejuízos resultantes para a população de uma região. Sua metodologia foi baseada em Salgado (1995) e Nagem (2008). Na Equação (3.5), é apresentada sua formulação, sendo apresentados os indicadores de sua composição nas Equações (3.6) e (3.7).

$$I^{VR} = \left(\frac{CRE+CRC}{CR} \right) \quad (3.5)$$

$$CRE = ((0,5xCUBE) \times PED) \times Ar \quad (3.6)$$

$$CRC = (((0,5xCUBC) \times IPCAE) \times PCD) \times Ar \quad (3.7)$$

Onde: CRE - Custo de danos à edificação, em função da altura de inundação (R\$);

CRC - Custo de danos ao Conteúdo das residências (R\$);

CR - Capacidade de recuperação das famílias afetadas, considerada como o menor valor entre 30% da renda domiciliar média e a renda disponível da classe na qual o domicílio se enquadra (R\$);

$CUBE$ - Custo Unitário Básico da Edificação (R\$/m²);

PED - Porcentagem da Edificação Danificada, em função da altura de inundação;

$CUBC$ - Custo Unitário Básico do Conteúdo (R\$/m²);

PCD - Porcentagem do Conteúdo Danificado, em função da altura de inundação;

$IPCA-E$ - Índice nacional de preços ao consumidor (utilizado para trazer a valores presentes os cálculos realizados na metodologia original);

Ar - Área da residência (m²).

3.2.5. Subíndice Fator de Permanência (I_{FP})

O subíndice *Fator de Permanência* visa representar o impacto da duração da enchente a partir de três perspectivas: pedestres, veículos e residências, tratando-os de maneira diferente, de acordo com a gravidade dos danos associados.

Foi considerado que t_{10} , t_{25} e t_{50} correspondem aos tempos (em minutos) durante os quais uma área permanece inundada com mais de 10, 25 e 50 cm, respectivamente, e que esses intervalos (e suas profundidades associadas) são representativos dos efeitos no tempo sobre os pedestres, veículos e residências, nesta ordem. Para representar o impacto diferenciado sobre cada parte, t_{10} , t_{25} e t_{50} foram normalizados separadamente, de acordo com escalas específicas, resultando em T_{10} , T_{25} e T_{50} . Por fim, a Equação (3.8) apresenta o Fator de Permanência como resultado da ponderação destes valores.

$$I_{FP} = 0,10 \times T_{10} + 0,22 \times T_{25} + 0,68 \times T_{50} \quad (3.8)$$

Onde: T_{10} , T_{25} , T_{50} – Correspondem à normalização (variável entre 0 e 1) dos tempos durante os quais o alagamento permanece acima de 10 cm, 25 cm e 50 cm, respectivamente.

A normalização adotada (Figura 3.3) considera que o maior risco, associado à maior criticidade da situação, seria 100% após 3 h, para a lâmina de 10 cm, após 1 h, para a lâmina de 25 cm e após 0,5 h para a lâmina de 50 cm. Essas relações foram consideradas lineares, entre 0 e 1. A justificativa para estas escolhas é detalhada a seguir:

- T_{10} (para 10 cm) - considerou-se que, com 3 h de permanência, esta lâmina afetaria praticamente todos os pedestres, atingindo entrada ou saída das escolas, entrada do trabalho, saída e volta do almoço e saída do trabalho;
- T_{25} (para 25 cm) - considerou-se que com uma permanência de 1 h, o trânsito interrompido ficaria caótico, afetando pesadamente grandes áreas da cidade;
- T_{50} (para 50 cm): com a água entrando nas residências, considerou-se que uma permanência de 0,5 h já seria capaz de causar grandes estragos, danificando móveis, pisos e revestimentos, além de aumentar o risco de propagação de doenças de veiculação hídrica.

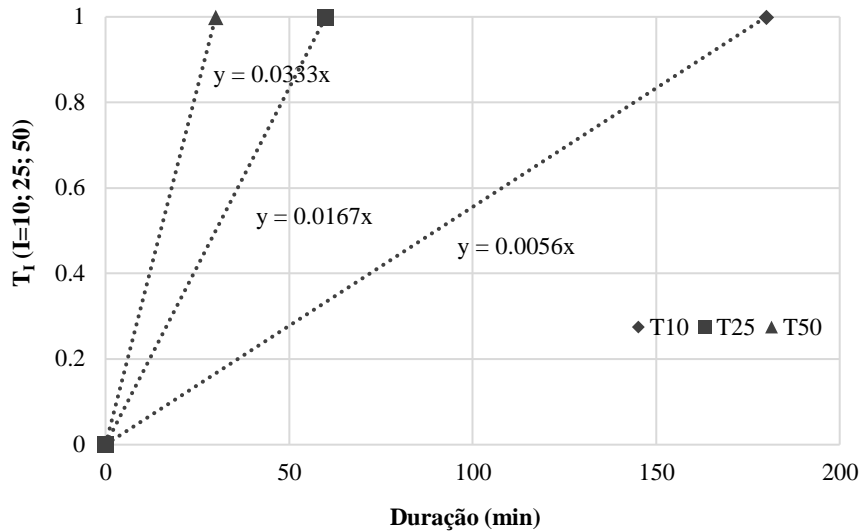


Figura 3.3: Curva de normalização para o IFP, com interpolação linear entre limites.

3.3. Índice de Vulnerabilidade a Inundações (IVI)

O Índice de Vulnerabilidade a Inundações (IVI) é proposto nesta dissertação com base em dois trabalhos, com o objetivo de avaliar a vulnerabilidade das cidades frente aos processos de cheias. A formulação (Equação (3.9)), que considera o conceito de vulnerabilidade, é uma adaptação da proposta por Balica (2007). O índice é calculado para cada uma das dimensões da vulnerabilidade: social, econômica e infraestrutural e ambiental. Por fim, para obter o valor final do Índice de Vulnerabilidade a Inundações (IVI), é efetuada a média simples com os três valores intermediários encontrados.

$$IVI_i = E^{k_1} \cdot S^{k_2} \cdot (1 - R)^{k_3} \quad (3.9)$$

Onde: IVI - Índice de Vulnerabilidade a Inundações;

i - Componente referente à dimensão da vulnerabilidade considerada (social; econômica e infraestrutural; ambiental);

E - Subíndice *Exposição*, variável entre 0 e 1;

S - Subíndice *Susceptibilidade*, variável entre 0 e 1;

R - Subíndice *Resiliência*, variável entre 0 e 1;

k_1, k_2, k_3 - Pesos associados aos subíndices E, S e R , atribuídos em função de sua importância relativa. O somatório dos pesos “ k ” deve resultar 1 ($k_1 = k_2 = k_3 = 1/3$, como sugestão inicial).

O índice varia entre 0 e 1, sendo quanto mais próximo a 1, maior a vulnerabilidade. Cada dimensão da vulnerabilidade calculada é composta por indicadores diferentes, associados aos subíndices exposição, susceptibilidade e resiliência. Cada um destes elementos deve ter seus valores convertidos para uma escala de 0 a 1, de acordo com a normalização de funções específicas. A escolha dos indicadores foi inspirada naqueles utilizados no cálculo do Índice de Vulnerabilidade Urbana a Cheias (IVUC), proposto por Silva (2017), do Índice de Vulnerabilidade a Inundações (IVI), proposto por Balica (2007), e do Índice de Risco de Inundação (IRI), proposto por Pereira (2017). A Tabela 3.1 apresenta os indicadores associados a cada subíndice e a cada dimensão da vulnerabilidade.

Tabela 3.1: Indicadores – Índice de Vulnerabilidade a Inundações (IVI)

Dimensão da Vulnerabilidade	Subíndice/Indicador	
Social	Exposição	Densidade Populacional
	Susceptibilidade	Declividade do Terreno
	Resiliência	Alfabetização
Econômica e Infraestrutural	Exposição	Densidade de Domicílios
	Susceptibilidade	Condições do Entorno
	Resiliência	Capacidade de Recuperação
Ambiental	Exposição	Ocupação na FMP
	Susceptibilidade	Uso do Solo
	Resiliência	Reservação Natural

3.3.1. IVI – Componente de Vulnerabilidade Social

O componente de Vulnerabilidade Social é composto pelo indicador *Densidade Populacional* (I_{DP}), representativo da Exposição, pelo indicador *Declividade do Terreno* (I_D), representativo da Susceptibilidade, e pelo indicador *Alfabetização* (I_A), representativo da Resiliência. Assim, este componente é calculado, a partir da Equação (3.9), e segundo a Equação (3.10). A seguir, é apresentada a metodologia de cálculo de cada indicador que compõe o Índice de Vulnerabilidade a Inundações em seu componente social (IVI_S).

$$IVI_S = I_{DP}^{k1} \cdot I_D^{k2} \cdot (1 - I_A)^{k3} \quad (3.10)$$

3.3.1.1. Subíndice Exposição

O subíndice *Exposição* (E) é composto por indicadores relativos à exposição da população aos eventos de inundação. Representa a população potencialmente exposta a um evento de inundação de uma determinada área e é representado pela densidade populacional, sendo calculado por meio da Equação (3.11).

$$E = I_{DP} = \frac{DP}{DP_{ref}} \quad (3.11)$$

Onde: I_{DP} – Indicador Densidade Populacional;

DP - Densidade populacional (hab/km²);

DP_{ref} - Densidade populacional de referência, tomada igual à densidade do percentil 75% da cidade em que está inserido o estudo de caso (hab/km²).

3.3.1.2. Subíndice Susceptibilidade

O subíndice *Susceptibilidade* (S) é composto pelo indicador de declividade, entendendo que terrenos mais planos e mais íngremes apresentam uma maior susceptibilidade a inundações e enxurradas, respectivamente. Para a normalização, procurou-se distribuir valores de referência de declividade de terreno segundo uma função normal, como apresentado na Tabela 3.2. Os valores de referência considerados foram baseados na declividade mínima longitudinal para os logradouros, segundo instruções técnicas da Fundação Rio-Águas (FUNDAÇÃO RIO-ÁGUAS, 2010), igual a 0,2%, e na classificação de relevo segundo a declividade do terreno da Embrapa (1979). Entende-se que, a partir de declividades de 20%, em que o relevo passa a ser considerado Forte Ondulado, a susceptibilidade é máxima no que diz respeito a enxurradas. Com o ajuste linear a cada dois pontos da Tabela 3.2, foram geradas as equações utilizadas para a normalização do indicador (Figura 3.4).

Tabela 3.2: Normalização do Indicador de Declividade (I_D)

Declividade do Terreno (%)	I_D
0	1,00
0.2	0,84
3	0,10
8	0,84
20	1,00

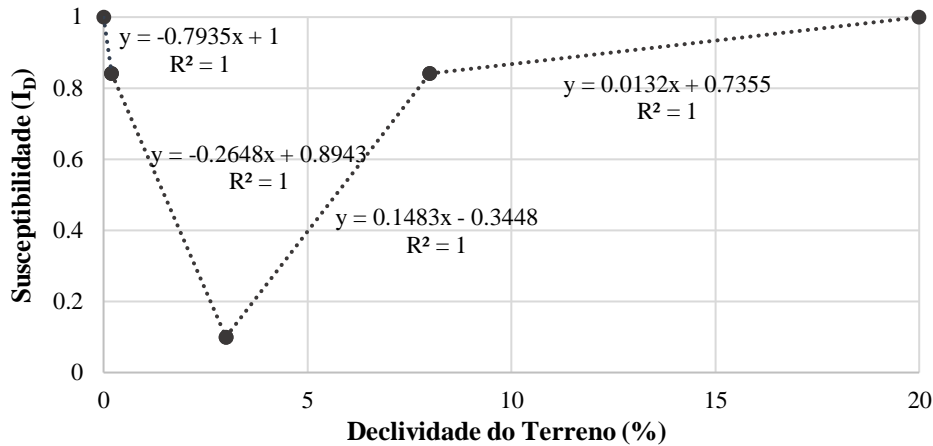


Figura 3.4: Normalização do Indicador de Declividade - I_D (Subíndice Susceptibilidade)

3.3.1.3. Subíndice Resiliência

O subíndice *Resiliência* (*R*) é composto por indicadores que indicam o nível educacional da população exposta a um evento de inundação. Espera-se que um nível educacional básico seja capaz de proporcionar uma maior capacidade de reação da população e, assim, melhor capacidade de defesa e autoproteção, como ressaltado por Pereira (2017). Desta forma, o subíndice é calculado segundo a Equação (3.12).

$$R = I_A = \frac{PA}{TP} \quad (3.12)$$

Onde: *I_A* – Indicador Alfabetização;

PA – Número de pessoas com idade igual ou superior a 12 anos com alfabetização (hab);

TP – Número total de pessoas residentes na área de interesse (hab).

3.3.2. IVI – Componente de Vulnerabilidade Econômica e Infraestrutural

O componente de Vulnerabilidade Econômica e Infraestrutural é composto pelo indicador *Densidade de Domicílios* (*I_{DD}*), representativo da Exposição, pelo indicador *Condições do Entorno* (*I_{CE}*), representativo da Susceptibilidade, e pelo indicador *Capacidade de Recuperação* (*I_{CR}*), representativo da Resiliência. Desta forma, este componente é calculado a partir da Equação (3.9) e segundo a Equação (3.13). A seguir, é apresentada a metodologia de cálculo de cada indicador que compõe o Índice de Vulnerabilidade a Inundações em seu componente econômico e infraestrutural (*IVI_{EI}*).

$$IVI_{EI} = I_{DD}^{k1} \cdot I_{CE}^{k2} \cdot (1 - I_{CR})^{k3} \quad (3.13)$$

3.3.2.1. Subíndice Exposição

O subíndice *Exposição (E)* no componente de vulnerabilidade econômica e infraestrutural é representado pela densidade de domicílios, assim como o subíndice homônimo do Índice de Resiliência a Inundações. Sua metodologia de cálculo é apresentada no item 3.2.2 e se dá pela relação entre a densidade de domicílios e aquela de referência, tomada igual à densidade do percentil 75% da cidade em que está inserido o estudo de caso.

3.3.2.2. Subíndice Susceptibilidade

O subíndice *Susceptibilidade (S)* é representado pelas condições do entorno dos domicílios no que se refere à cobertura dos serviços públicos de saneamento, pavimentação e iluminação. São considerados dados acerca de iluminação pública, pavimentação, acesso à rede de água e esgoto e à coleta de lixo. Quanto menor a cobertura dos serviços, mais suscetível está a unidade de análise. O subíndice é calculado segundo a Equação (3.14), conforme proposto por Silva (2017).

$$S = I_{CE} = 1 - \left(0,2 \cdot \frac{DI}{TD} + 0,2 \cdot \frac{DPav}{TD} + 0,2 \cdot \frac{DA}{TD} + 0,2 \cdot \frac{DE}{TD} + 0,2 \cdot \frac{DL}{TD} \right) \quad (3.14)$$

Onde: I_{CE} – Indicador Condições do Entorno;

DI – Número de domicílios com iluminação pública no entorno (dom);

$DPav$ – Número de domicílios com pavimentação no entorno (dom);

DA – Número de domicílios com acesso à rede de abastecimento de água (dom);

DE – Número de domicílios com acesso à rede de esgotamento sanitário (dom);

DL – Número de domicílios com coleta de lixo (dom);

TD – Número total de domicílios na área de interesse (dom).

3.3.2.3. Subíndice Resiliência

O subíndice *Resiliência (R)* é representado pela capacidade de recuperação das famílias afetadas pelos eventos de inundação. A capacidade de recuperação é definida como o valor monetário que determinada classe social consegue investir para recuperar e/ou repor os bens danificados pela inundação (TEBALDI *et al.*, 2015). É utilizada a metodologia de cálculo proposta por Guimarães (2016), que trata a capacidade de recuperação como o menor valor entre 30% da renda domiciliar segundo o IBGE (2010) e a renda disponível da classe na qual o domicílio se enquadra (Equação (3.15)).

$$CR = \text{mínimo (30\% da renda domiciliar; renda disponível da classe)} \quad (3.15)$$

Onde: CR – Capacidade de Recuperação (R\$).

Para a normalização do indicador, foi calculada uma capacidade de recuperação média por classe social associando-a à proporção daquela considerada como limite para a classe A. Um ajuste linear foi então realizado e a equação resultante para a conversão dos valores entre 0 e 1 pode ser visualizada na Figura 3.5.

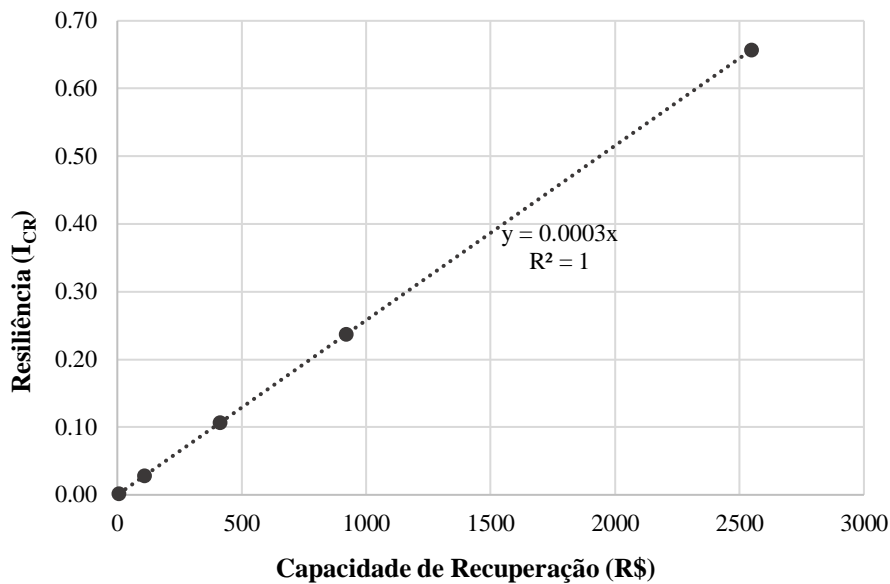


Figura 3.5: Normalização do Indicador de Capacidade de Recuperação - I_{CR} (Subíndice Resiliência)

3.3.3.IVI – Componente de Vulnerabilidade Ambiental

O componente de Vulnerabilidade Ambiental é composto pelo indicador *Ocupação na FMP* (I_{O-FMP}), representativo da Exposição, pelo indicador *Uso do Solo* (I_{US}), representativo da Susceptibilidade, e pelo indicador *Reservação Natural* (I_{RN}), representativo da Resiliência. Desta forma, este componente é calculado segundo a Equação (3.16), desenvolvida a partir da Equação (3.9). A seguir, é apresentada a metodologia de cálculo de cada indicador que compõe o Índice de Vulnerabilidade a Inundações em seu componente ambiental (IVI_A).

$$IVI_A = I_{O-FMP}^{k1} \cdot I_{US}^{k2} \cdot (1 - I_{RN})^{k3} \quad (3.16)$$

3.3.3.1. Subíndice Exposição

O subíndice *Exposição* (E) no componente de vulnerabilidade ambiental é representado pela porcentagem de área ocupada inserida na Faixa Marginal de Proteção, definida conforme o Novo Código Florestal (BRASIL, 2012b). Esse indicador representa que o rio está exposto em uma associação proporcional à área perdida para preservação e o cálculo é realizado segundo a Equação (3.17).

$$E = I_{O-FMP} = \frac{A_{O-FMP}}{A_{FMP}} \quad (3.17)$$

Onde: I_{O-FMP} – Indicador Ocupação na FMP;

A_{O-FMP} – Área ocupada inserida na Faixa Marginal de Proteção (m²);

A_{FMP} – Área destinada à Faixa Marginal de Proteção, segundo o Novo Código Florestal (BRASIL, 2012b) (m²).

3.3.3.2. Subíndice Susceptibilidade

O subíndice *Susceptibilidade* (S) neste componente é relacionado ao uso do solo na unidade de análise e é representado pelo coeficiente de escoamento superficial. Assim, quanto maior o coeficiente, maior é o volume de água escoando superficialmente, sendo maior a susceptibilidade a inundações.

3.3.3.3. Subíndice Resiliência

O subíndice *Resiliência* (R) no componente de vulnerabilidade ambiental é representado pela capacidade de reservação natural (ou pública) da área de interesse. A existência de corredores verdes, parques fluviais inundáveis, bacias de detenção ou retenção, por exemplo, trazem uma maior resiliência ao ambiente, fornecendo espaços para armazenamento dos volumes de cheia. Desta forma, quanto maior a porcentagem de áreas com capacidade de reservação natural de água na área total de interesse, maior a resiliência e, portanto, menor a vulnerabilidade a inundações. O cálculo do subíndice é realizado segundo a Equação (3.18).

$$R = I_{RN} = \frac{A_{RN}}{A_T} \quad (3.18)$$

Onde: I_{RN} – Indicador Reservação Natural;

A_{RN} – Área com capacidade de reservação natural/pública (m²);

A_T – Área total da unidade de análise considerada (m²).

3.4. Índice de Requalificação Fluvial Urbana (REFLU)

O Índice de Requalificação Fluvial Urbana (VERÓL, 2013; VERÓL *et al.*, 2019) foi proposto com o objetivo de proporcionar uma medida quantitativa e passível de comparação entre possíveis intervenções de quanto melhora a qualidade do sistema fluvial como sistema natural, em bacias urbanas. Visto que o REFLU é considerado como a soma de diversos efeitos pertinentes à qualidade fluvial, ele é apresentado como um somatório ponderado para que a eventual ausência de um dos indicadores não anule o índice por completo, conforme Equação (3.19).

$$REFLU = \sum_{i=1}^n I_i \cdot p_i \quad (3.19)$$

Onde: REFLU – Índice de Requalificação Fluvial;

n – Número total de indicadores que compõem o índice REFLU;

I_i - i -ésimo indicador, previamente normalizado, que compõe o índice REFLU, variável entre 0 e 1;

p_i - Peso associado ao i -ésimo indicador do índice REFLU, atribuído em função de sua importância relativa, obedecendo às restrições das Equações (3.20) e (3.21).

$$0 \leq p_i \leq 1 \quad (3.20)$$

$$\sum_{i=1}^n p_i = 1 \quad (3.21)$$

O índice varia entre 0 e 1, sendo os valores mais próximos a zero os piores e, os mais próximos à unidade, os melhores. O REFLU é composto por três subíndices: *Estado Geral da Bacia (EGB)*, *Conectividades (C)*, e *Redução do Risco Hidráulico (RRH)*. Cada um destes elementos deve ter seus valores convertidos para uma escala de 0 a 1, de acordo com a normalização de funções específicas.

3.4.1. Subíndice Estado Geral da Bacia (EGB)

O subíndice *EGB* pretende medir os impactos da ocupação da bacia hidrográfica relacionados ao uso do solo e a gestão de recursos hídricos. Dessa forma, ao olhar a permeabilidade, as condições de saneamento da bacia e a ocupação das margens, buscase um valor de subíndice que retrate os efeitos das atividades na bacia, respectivamente, para a formação de escoamento superficial e para a deterioração da qualidade da água. O subíndice é composto pelos indicadores *Permeabilidade (P)*, *Condições de Saneamento (CS)* e *Margens Não Ocupadas pela Urbanização (MNOC)*.

3.4.1.1. Permeabilidade (P)

O indicador *Permeabilidade* relaciona a área permeável da bacia com sua área total (Equação (3.22)). Como área permeável, são consideradas todas as extensões de áreas com cobertura do solo natural. Sabe-se que quanto mais impermeável a bacia hidrográfica, menor a ocorrência de infiltração, resultando em um aumento no volume de escoamento superficial. Dessa forma, quanto mais impermeável, mais penaliza-se o valor deste indicador.

$$P = \frac{A_p}{A_{total}} \quad (3.22)$$

Onde: P – Indicador de Permeabilidade;

A_p – Área Permeável da Bacia (m²);

A_{total} – Área Total da Bacia (m²).

3.4.1.2. Condições de Saneamento (CS)

O indicador *Condições de Saneamento* relaciona a área da bacia com atendimento de saneamento adequado com a área total da bacia (Equação (3.23)). Para obtenção desse índice, é necessário dispor de informações sobre o serviço de saneamento prestado no local. Tais dados devem ser tratados, de forma a se obter o número de domicílios atendidos adequadamente tanto para o serviço de esgotamento sanitário quanto para o serviço de coleta de lixo.

Veról (2013) define como esgotamento sanitário adequado somente aquele que se encontra ligado à rede geral de esgoto ou à rede pluvial, este com suas ressalvas. Já caracterizando um serviço de coleta de lixo adequado, Veról (2013) determina que são apropriados aqueles cuja coleta é realizada por serviço de limpeza e em caçamba de serviço de limpeza. A fim de anular uma possível soma de efeitos, em casos nos quais para ambos serviços se tenha uma situação desfavorável, considera-se a pior situação de números de domicílios atendidos adequadamente. Assim, quando 100% dos domicílios são atendidos adequadamente, é obtido o valor mais favorável para este parâmetro. O inverso também é válido.

$$CS = \frac{A_s}{A_{total}} \quad (3.23)$$

Onde: CS – Indicador de Condições de Saneamento;

A_S – Área da Bacia com esgotamento sanitário/coleta de lixo adequados (m^2);

A_{total} – Área Total da Bacia (m^2).

3.4.1.3. Margens Não Ocupadas pela Urbanização (MNOC)

O indicador *Margens Não Ocupadas pela Urbanização* relaciona a extensão de margens livres de ocupação com o comprimento total dos rios (Equação (3.24)). A ocupação imediata das margens reflete não só a barreira física para a comunicação do rio com suas planícies de inundação, como muitas vezes também a qualidade da água, uma vez que são despejados dejetos e lixos nos corpos d'água. Assim, quanto maior a extensão de margens não ocupadas por casas, mais favorável é o REFLU.

$$MNOC = \frac{L_{MNOC}}{L_{m_total}} \quad (3.24)$$

Onde: $MNOC$ – Indicador de Margens Não Ocupadas pela Urbanização;

L_{MNOC} – Extensão de margens não ocupadas (m);

L_{m_total} – Extensão total das margens (m).

3.4.2. Subíndice Conectividades (C)

O subíndice C pretende avaliar e mensurar o comprimento de rio que mantém suas conectividades em diferentes direções. Isso porque um bom funcionamento de um rio pressupõe a liberdade de extravasar para as suas margens, a continuidade do seu fluxo e a preservação do seu material de fundo, características de um comportamento natural. O subíndice relaciona indicadores que indicam o nível de conectividade do curso principal da bacia hidrográfica nos três sentidos: *Conectividade Transversal* (C_t); *Conectividade Longitudinal* (C_l); *Conectividade Vertical* (C_v).

3.4.2.1. Conectividade Transversal (C_t)

O indicador *Conectividade Transversal* relaciona a extensão de margens dos rios em que há vegetação com o comprimento total dos rios (Equação (3.25)). São consideradas mesmo as margens que não possuem sua vegetação original, uma vez que se trata de um ambiente urbanizado e, portanto, alterado. A presença de vegetação nas margens garante a conectividade do rio com a sua planície de inundação. Quanto maior a extensão de margens vegetadas, e, conseqüentemente, maior a conectividade transversal, mais favorável é o REFLU.

$$C_t = \frac{L_{conex\tilde{a}o}}{L_{m_total}} \quad (3.25)$$

Onde: C_t – Indicador de Conectividade Transversal;

$L_{conex\tilde{a}o}$ – Extensão de margens vegetadas (m);

L_{m_total} – Extensão total do rio (de ambas as margens) (m).

3.4.2.2. Conectividade Longitudinal (C_l)

O indicador *Conectividade Longitudinal* avalia a garantia da continuidade de fluxos de matéria e energia do rio, a partir da identificação da presença de obstáculos, como soleiras e barragens, que se opõem ao movimento. Quando há ausência de impedimentos para este fluxo longitudinal, portanto garantida a conectividade longitudinal, mais favorável é o REFLU. Este indicador é dado segundo a Equação (3.26).

$$C_l = 1 - \frac{A_b}{A_{total}} \quad (3.26)$$

Onde: C_l – Indicador de Conectividade Longitudinal;

A_b – Área a montante da barragem (m²);

A_{total} – Área total da bacia (m²).

Destaca-se que se a área estudada apresentar uma barragem à fio d'água, o indicador pode ser considerado como metade da degradação potencial, visto que estruturas a fio d'água não alteram as descargas dos rios, mas definem um nível mínimo específico de água (VERÓL *et al.*, 2019).

3.4.2.3. Conectividade Vertical (C_v)

O indicador *Conectividade Vertical* relaciona a extensão dos rios em que possui seu revestimento preservado ao comprimento total dos rios (Equação (3.27)). Sabe-se que o rio possui trocas de nutrientes entre o fundo e a superfície, bem como existe o fluxo subsuperficial e subterrâneo de água, logo, quando o mesmo possui seu material de fundo preservado, tem-se uma qualidade maior do seu funcionamento. Quanto maior a extensão com esta conectividade vertical, mais favorável é o REFLU.

$$C_v = \frac{L_{nat}}{3 \cdot L_{total}} \quad (3.27)$$

Onde: C_v – Indicador de Conectividade Vertical;

L_{nat} – Extensão de margens e de fundo naturais (m);

L_{total} – Extensão total do rio (m).

3.4.1. Subíndice Redução do Risco Hidráulico (RRH)

O subíndice *Redução do Risco Hidráulico (RRH)* reflete o risco hidráulico, avaliando os alagamentos nas áreas urbanizadas, visto que existe um prejuízo relacionado a estes eventos. Assim, o subíndice é construído relacionando-se o volume de alagamento no pico da cheia ao volume total precipitado. O valor de RRH será o mais próximo de 1, quanto melhor for o estado ecológico da bacia. Caso contrário, o valor de RRH é mais próximo de zero quanto mais a urbanização da bacia está susceptível a alagamentos críticos.

O cálculo do volume de alagamento é dado pela Equação (3.28).

$$V_A = (Alag_{m\acute{a}x} \cdot A_{armaz}) \quad (3.28)$$

Onde: V_A – Volume de alagamento total na bacia no momento máximo do pico da cheia (m^3);

$Alag_{m\acute{a}x}$ – Alagamento máximo (nível d'água no pico da cheia) (m);

A_{armaz} – Área de armazenagem total na bacia (m^2).

O subíndice, por sua vez, é calculado segundo a Equação (3.29).

$$RRH = 1 - \frac{V_A}{V_{total}} \quad (3.29)$$

Onde: RRH – Subíndice Redução do Risco Hidráulico;

V_A – Volume de alagamento total na bacia no momento máximo do pico da cheia (m^3);

V_{total} – Volume total efetivo da precipitação, calculado através do total precipitado, da área e do coeficiente de escoamento de cada célula (m^3).

3.5. Índice de Avaliação da Qualidade Ambiental (IAQA)

O Índice de Avaliação da Qualidade Ambiental (IAQA) é composto pelo Índice de Forma (IF) associado a um multiplicador que relaciona a porcentagem da área total dos fragmentos verdes e azuis na área urbana de análise com a proporção ótima destinada a espaços livres, espaços verdes e instalações públicas no ambiente urbano, segundo o Programa das Nações Unidas para os Assentamentos Humanos (HABITAT III, 2017). A associação entre os dois componentes visa avaliar a qualidade ambiental no meio urbano, sendo melhor quanto maior for o valor obtido.

O Índice de Forma (IF) é entendido como um índice de complexidade de forma das manchas/fragmentos. Entende-se que a forma está diretamente relacionada com o efeito da borda. Portanto, fragmentos de vegetação circulares ou quadrados possuem uma maior relação interior-borda, facilitando processos ecológicos capazes de manter a diversidade de espécies em um habitat, diminuindo a susceptibilidade às perturbações externas pelo efeito de borda. Assim, pode-se dizer que formas alongadas ou retangulares são mais susceptíveis a essas perturbações, representando condição negativa para a produção biológica, diversidade e densidade de espécies (SOUZA, 2019).

Visto que no ambiente urbano fragmentos de vegetação têm maior possibilidade de formas irregulares, o Índice de Forma é calculado a fim de comparar a forma dos fragmentos com um quadrado. Assim, quanto mais próximo de 1, mais próximo de um quadrado é a mancha e melhor é a sua conformação para os processos ecológicos e diminuição das perturbações externas.

O cálculo do Índice de Avaliação da Qualidade Ambiental é feito por meio da Equação (3.30), sendo o Índice de Forma calculado segundo a Equação (3.31).

$$IAQA = \frac{\%A_v}{\%A_{v,o}} \times IF \quad (3.30)$$

$$IF = \frac{4\sqrt{A}}{Per} \quad (3.31)$$

Onde: *IAQA* – Índice de Avaliação da Qualidade Ambiental;

%A_v – Porcentagem de área verde na área urbana total de análise;

%A_{v,o} – Porcentagem de área ótima destinada a espaços livres, espaços verdes e instalações públicas no ambiente urbano (igual a 15%, segundo Habitat III (2017));

IF – Índice de Forma;

A – Área da mancha ou fragmento (m²);

Per – Perímetro da mancha ou fragmento (m).

3.6. Índice de Eficiência da Infraestrutura Urbana (IEIU)

O Índice de Eficiência da Infraestrutura Urbana (IEIU) visa fornecer uma ideia de economia da infraestrutura, relacionando o número total de pessoas residentes na área de interesse com a extensão total de ruas na mesma área (Equação (3.32)). Visto que a rede de infraestrutura é medida por metro de rua, quanto maior o valor obtido pelo índice, maior é a população atendida pela infraestrutura, e, portanto, mais eficiente é a mesma, o que significa que melhor é o projeto sob o ponto de vista econômico.

$$IEIU = \frac{NP}{Ext} \quad (3.32)$$

Onde: *IEIU* – Índice de Eficiência da Infraestrutura Urbana;

NP – Número total de pessoas na área de interesse (hab);

Ext – Extensão total das vias na área de interesse (m).

Destaca-se que esta é uma medida indireta, que não reflete exatamente a eficiência, mas que tem relação com os custos de implantação e manutenção da infraestrutura urbana.

3.7. Índice de Avaliação de Projeto (IAP)

O Índice de Avaliação de Projeto (IAP) visa fornecer uma medida geral de referência para facilitar a tomada de decisão acerca da melhor alternativa de projeto. O índice associa as ferramentas quantitativas apresentadas, proporcionando um resultado que relaciona aspectos referentes à resiliência a inundações, à vulnerabilidade do sistema, à qualidade fluvial e ambiental no meio urbano e à eficiência da infraestrutura urbana. A formulação é dada pela Equação (3.33).

$$IAP = \sum_{i=1}^j K_i \cdot q_i \quad (3.33)$$

Onde: *IAP* – Índice de Avaliação de Projeto

j – Número de subíndices que compõem o índice IAP;

K_i - *K*-ésimo subíndice que compõe o índice IAP. Destaca-se que o Índice de Vulnerabilidade a Inundações é contabilizado como (1-IVI) a fim de compatibilizar o resultado com a escala utilizada pelos outros componentes;

q_i - Peso associado ao *k*-ésimo subíndice do índice IAP, atribuído em função de sua importância relativa. Neste trabalho, sugere-se pesos iguais aos subíndices (*q_i* = 0,20). No entanto, os pesos devem ser escolhidos pelo responsável pela tomada de decisão, considerando o fator que melhor se adequa à necessidade da área de interesse.

4. ESTUDO DE CASO: VARGEM GRANDE, RIO DE JANEIRO, RJ

Neste capítulo é apresentado o estudo de caso proposto para esta dissertação. Em primeiro lugar, são apresentados os aspectos históricos relacionados à região, considerando as principais atividades que modificaram a paisagem local e como a área do estudo de caso chegou à conformação atual. Em seguida, é feita a caracterização da área de estudo, que inclui a localização, o principal ator ambiental presente na região (o Parque Estadual da Pedra Branca), a descrição de suas principais características, como uso e ocupação do solo, relevo, geomorfologia e hidrografia, e uma breve apresentação da área efetiva de proposta de intervenção. Por fim, são apresentadas as alternativas de urbanização consideradas neste trabalho.

4.1. Aspectos Históricos

De acordo com Tardin (2016), no século XVII, a invasão dos franceses na região da sesmaria de Gonçalo Correia de Sá, que englobava Vargem Grande, Camorim e Vargem Pequena, na Zona Oeste do município do Rio de Janeiro, gerou a necessidade da construção do Caminho da Grotta Funda. Esse caminho, mais tarde, se transformaria na base da atual Avenida das Américas, via de grande importância para a região. Nesse período, os traçados de vias permitiram estruturar a produção agrícola e transportar os produtos aos centros de consumo. Da mesma forma, foram realizadas importantes obras de drenagem que resultaram em canais hidrográficos artificiais (TARDIN, 2016).

A partir do século XVIII, houve uma expansão da atividade agrícola, por conta do solo fértil e da presença de diversos rios na região, perdurando até o século XIX. A atividade agrícola se consolidou nessa área e, devido ao afastamento do centro administrativo e ao seu difícil acesso, não era de interesse ao assentamento de grandes estratos da população, apenas de escravos e trabalhadores de engenhos (CARDEMAN, 2014). Rocha (2018) destaca a produção de carvão na região, entre os séculos XVIII e XX, dividida em duas fases. Na primeira, o carvão era produzido por escravos fugidos e por alforriados. A segunda fase se deu após a Abolição da Escravatura, se consagrando como o auge do processo de produção do carvão, extremamente necessário para alimentar as ferramentas para as reformas urbanas do Rio de Janeiro.

Em 1734, teve início a construção da Estrada dos Bandeirantes, chamada de Estrada de Guaratiba na época, com o objetivo de conectar as fazendas de Vargem Grande, Vargem Pequena e Camorim, possibilitando o escoamento da safra para o restante da cidade. Em 1777, a Fazenda de Vargem Grande era criada, ficando submetida à Freguesia de Guaratiba, enquanto as outras duas ficaram submetidas à Freguesia de Jacarepaguá. A divisão entre as Fazendas de Vargem Grande e Vargem Pequena se dava em linha reta a partir da Pedra do Pontal, seguindo o curso do Rio Vargem Grande. Essa divisão permanece até hoje (ROCHA, 2018).

Como destacado por Rocha (2018), até 1891, a região foi explorada pela atividade agropecuária, dividida em dois ciclos: cana de açúcar, farinha e mandioca; e café, ambos concomitantes à criação de gado. No final do século XIX, com a modernização dos engenhos (agora a vapor) e a Lei de Terras de 1850, os padres dividiram seus engenhos e venderam-nos à iniciativa privada, bancos e empresas agrícolas (CARDEMAN, 2014).

No século XX, as Fazendas de Vargem Grande, Vargem Pequena e Camorim, divididas em lotes rurais, dedicaram-se à produção de laranja e banana, sendo o cultivo desta última desenvolvido em Vargem Grande até hoje (ROCHA, 2018). Segundo Tardin (2016), em 1930, iniciou-se o processo de ocupação urbana da área, com a abertura de canais na região. Já em 1950, a fim de evitar a ocupação descontrolada nos arredores das Lagoas da Baixada de Jacarepaguá, foi criado o Plano de Diretrizes para as Vias Arteriais na planície de estudo. Em 1960, teve início a fragmentação dos campos agrícolas e pastos devido às ocupações (TARDIN, 2016).

Como ressaltado por Silva (2014), em 1969, foi elaborado o Plano Piloto da Barra e Baixada de Jacarepaguá com o objetivo de conectar o antigo Centro Histórico do Rio de Janeiro com o que seria o novo Centro em Santa Cruz, direcionando o crescimento populacional para a Zona Oeste. Neste período, visando ocupar a área, conexões de acesso direto para Zona Sul e Centro foram estabelecidas, concentrando os esforços de ocupação de infraestruturas nas proximidades do mar (TARDIN, 2016).

Segundo Tardin (2016), a consolidação da rede viária e da pavimentação, trazendo alterações importantes na rede de água e nos ecossistemas correlativos, principalmente quanto à separação entre a lagoa e as áreas inundáveis, se deu nos anos 1970. Cursos d'água foram canalizados e pontes foram construídas para proporcionar o traçado das vias. Em 1980, o processo de adensamento da planície na Barra da Tijuca e em Jacarepaguá teve seu início, intensificando a ocupação urbana (TARDIN, 2016).

A partir dos principais fatores históricos relacionados à área de estudo, no que diz respeito à ocupação, legislação urbana, modificação do ambiente natural e eventos de inundação, uma linha do tempo, sob minha orientação, foi confeccionada pelo aluno de graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAU/UFRJ Gustavo Lennon, em sua pesquisa de iniciação científica, apresentada no ANEXO.

4.2. Caracterização da Área de Estudo: Vargem Grande, RJ

A área escolhida para análise neste trabalho é Vargem Grande, Bairro da Zona Oeste da Cidade do Rio de Janeiro. O Bairro está localizado na Área de Planejamento 4 (Figura 4.1), compondo a Região Administrativa XXIV, da Barra da Tijuca, juntamente com os bairros Barra da Tijuca, Camorim, Grumari, Itanhangá, Joá, Recreio dos Bandeirantes e Vargem Pequena (Figura 4.2).

O Plano Diretor de Manejo de Águas Pluviais da Cidade do Rio de Janeiro (2015b) destaca a AP4 como a zona de expansão urbana mais recente da cidade que, apesar de caracterizada por um alto padrão imobiliário, tem sofrido um crescimento da habitação popular em favelas e loteamentos, como registrado nos últimos anos.

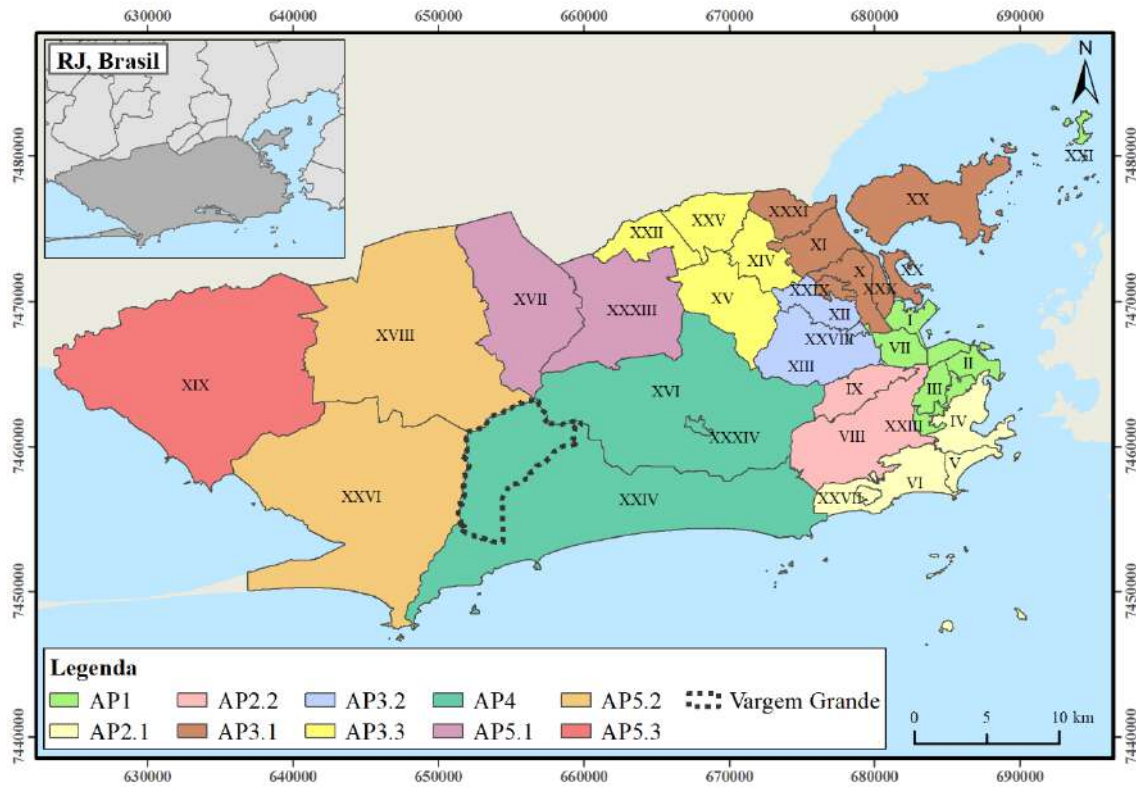


Figura 4.1: Divisões Administrativas Setoriais - Município do Rio de Janeiro. Elaborado pela autora com dados do IPP (2018).

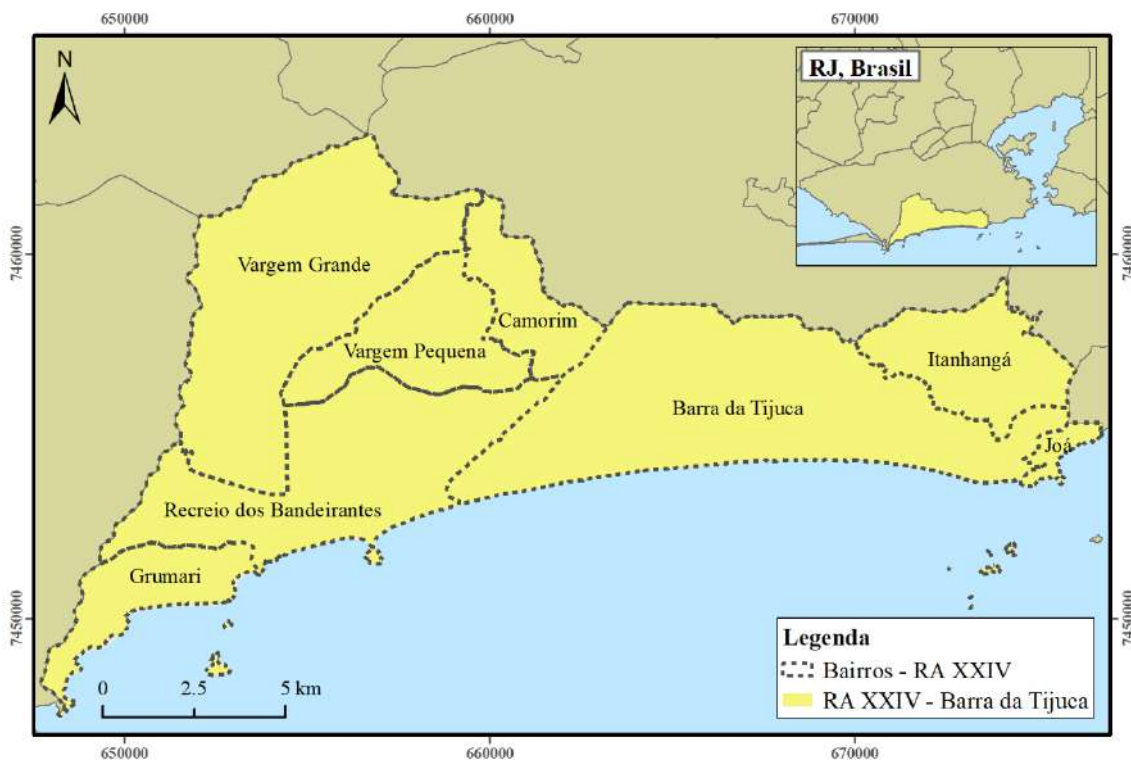


Figura 4.2: Bairros na Região Administrativa XXIV – Barra da Tijuca. Elaborado pela autora com dados do IPP (2018).

Como pode ser observado na Tabela 4.1, a Área de Planejamento 4 (AP4) é a segunda maior em extensão territorial, representando 24% da área total do município, com 293,8 km², sendo a Região Administrativa XXIV, da Barra da Tijuca, que compreende Vargem Grande, correspondente a 13,8%. O bairro de Vargem Grande, por sua vez, conta com uma extensão territorial de 39,4 km².

Tabela 4.1: Extensão territorial das Áreas de Planejamento. Elaborado pela autora com dados do IPP (2018).

	Área (km ²)	% territorial no município
Rio de Janeiro	1204,1	100%
AP1	34,4	2,9%
AP2	100,4	8,3%
AP3	203,5	16,9%
AP4	293,8	24,4%
XVI – RA Jacarepaguá	126,5	10,5%
XXIV – RA Barra da Tijuca	166,0	13,8%
XXXIV – RA Cidade de Deus	1,3	0,11%
AP5	572,0	47,5%

Com a ocupação consolidada de áreas centrais da cidade do Rio de Janeiro, a Zona Oeste tem se configurado, desde a década de 70, como vetor de expansão urbana, sobretudo a Baixada de Jacarepaguá, onde se insere a área de estudo. Como ressaltado por Fernandes (2013), o município crescia rapidamente no final da década de 60, dominando os espaços naturais. Assim, as autoridades locais direcionaram a expansão da cidade para uma área ainda pouco habitada: a Baixada de Jacarepaguá. Surge então, em 1969, o Plano Piloto elaborado por Lúcio Costa, com objetivo de controlar a expansão urbana e preservar a ecologia do lugar (FERNANDES, 2013).

Segundo Cardeman (2014), o Plano de Lúcio Costa representou a materialização do movimento de expansão urbana em busca de novos territórios para a atividade imobiliária, pautada em novos modelos de ocupação e padrões de moradia. Isso resultou em formas urbanas distintas dos demais setores da cidade, com taxas de ocupação menores, densidades mais baixas e incidência de grandes espaços livres internos às quadras com opções de lazer privado diversificadas. Pode-se dizer, então, que desde o lançamento do Plano de Lúcio Costa, nos anos 1970, os olhos do setor imobiliário se voltaram para a região.

No Plano Piloto de 1969, as terras de Vargem Grande, Vargem Pequena e os campos de Sernambetiba seriam áreas de cultivo, destinadas a sítios, granjas e chácaras (Figura 4.3). Seria criado, nesta localidade, um plano paralelo para habitações populares, que teriam toda a infraestrutura e que seriam construídas com recursos do Banco Nacional de Habitação (FERNANDES, 2013).

Como destacado por Silva (2006), a recente ocupação urbana da região vem transformando a sua paisagem, antes habitacional rural, devido tanto à expansão imobiliária destinada às classes média e alta, quanto ao crescimento de favelas, onde reside a população de baixa renda.

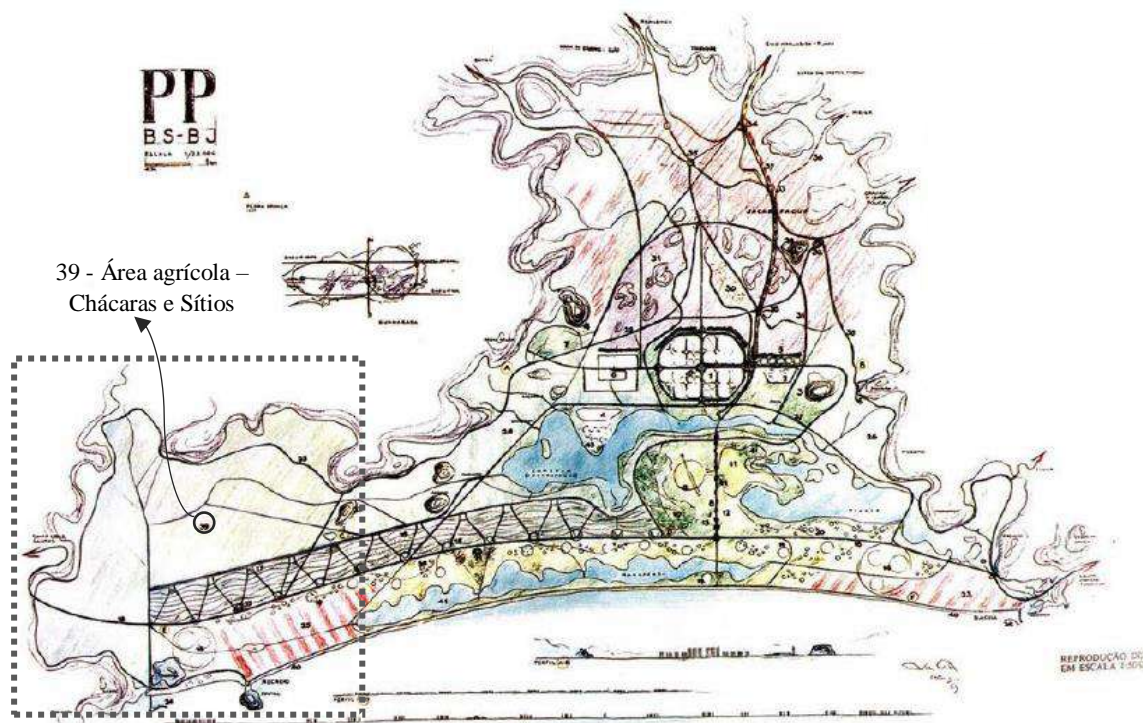


Figura 4.3: Plano Piloto de Lúcio Costa, 1969 (FERNANDES, 2013).

Nos últimos 15 anos, a região atraiu olhares das autoridades com a instalação de grandes eventos esportivos, como os Jogos Panamericanos de 2007 e os Jogos Olímpicos de 2016, recebendo, assim, intervenções substanciais para construir infraestrutura, principalmente para atender às necessidades desses eventos. Todas essas transformações e investimentos em infraestrutura propiciaram a ocupação dessas áreas, induzindo a um maior adensamento dos bairros da Zona Oeste, principalmente aqueles localizados na Baixada de Jacarepaguá, processo que continua a ocorrer.

Desta forma, pode-se compreender a expansão demográfica na Região Administrativa XXIV, que atingiu um crescimento populacional de 206,3%, enquanto a cidade do Rio de Janeiro e a AP4 atingiram 15,5% e 72,8%, respectivamente, em um período de 20 anos (1991-2010), como pode ser visualizado na Tabela 4.2. Vargem Grande, bairro foco deste estudo, atingiu um crescimento populacional de 114,1% e, devido à existência de grandes áreas livres de edificação, pode-se esperar ainda que a taxa de crescimento cresça nos próximos anos. Essa tendência de crescimento pode ser constatada a partir da curva apresentada na Figura 4.4.

Tabela 4.2: População Residente na AP4, na Região Administrativa XXIV e seus Bairros – Crescimento 1991-2010. Elaborado pela autora com base em dados do Data Rio.

	População (nº de habitantes)			Crescimento (%) 1991-2010
	1991	2000	2010	
Rio de Janeiro	5.473.909	5.851.914	6.320.446	15,5
AP - 4	526.302	682.051	909.368	72,8
XXIV Barra da Tijuca	98.229	174.353	300.823	206,3
Barra da Tijuca	63.492	92.233	135.924	114,1
Camorim	145	786	1.970	1258,6
Grumari	117	136	167	42,7
Itanhangá	9.356	21.813	38.415	310,6
Joá	823	971	818	-0,6
Recreio dos Bandeirantes	14.344	37.572	82.240	473,3
Vargem Grande	6.558	9.306	14.039	114,1
Vargem Pequena	3.394	11.536	27.250	702,9

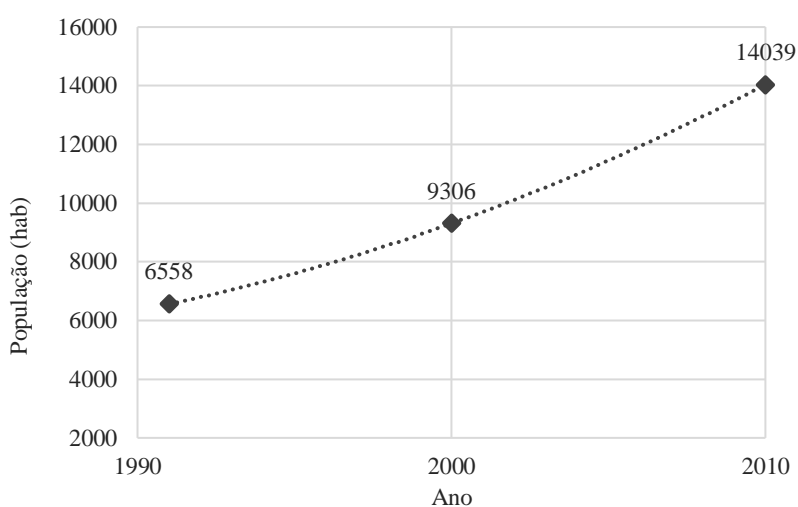


Figura 4.4: Curva de Crescimento Populacional em Vargem Grande, Rio de Janeiro. Elaborado pela autora com base em dados do Data Rio.

4.2.1. Unidade de Conservação: Parque Estadual da Pedra Branca

Na região de interesse está localizada uma das mais importantes unidades de conservação do município, o Parque Estadual da Pedra Branca. Com cerca de 125 km² de extensão territorial, o Parque representa 10% da área municipal e compreende todas as áreas situadas acima da linha da cota de 100 m do Maciço da Pedra Branca e seus contrafortes, se configurando como a maior reserva florestal em área urbana no mundo. Além disso, contém o ponto mais alto da cidade, o Pico da Pedra Branca, com 1.024 metros de altura em relação ao nível do mar.

Estão inseridos nos limites da Unidade de Conservação parte de dezessete bairros da cidade: Barra de Guaratiba, Guaratiba, Campo Grande, Senador Vasconcelos, Santíssimo, Senador Camará, Bangu, Padre Miguel, Realengo, Jardim Sulacap, Taquara, Jacarepaguá, Camorim, Vargem Pequena, Vargem Grande, Recreio dos Bandeirantes e Grumari, como apresentado na Figura 4.5.

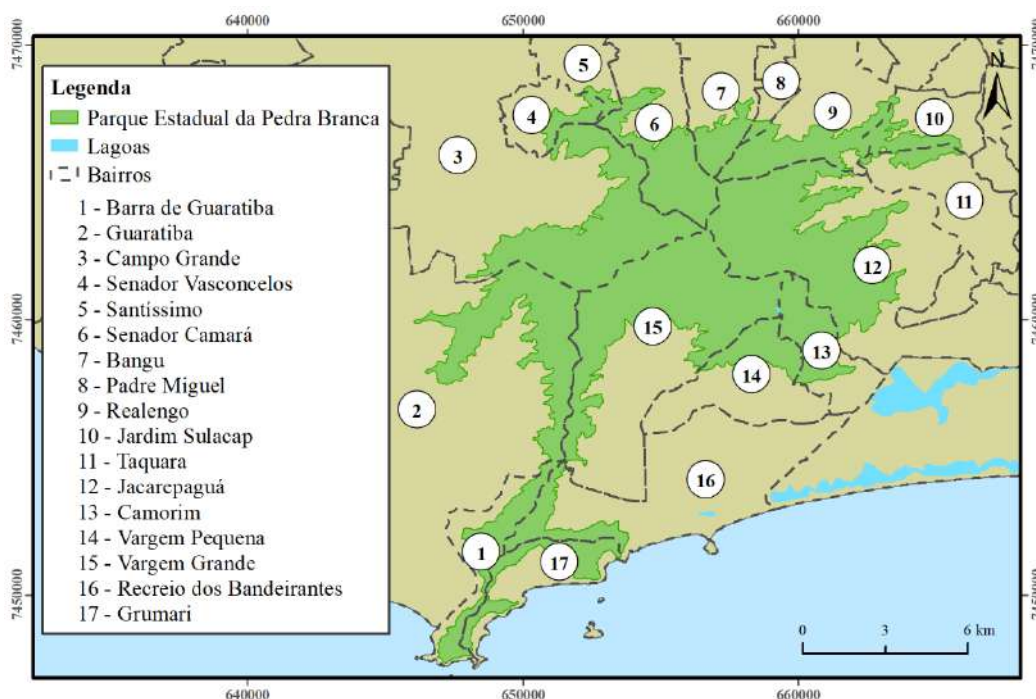


Figura 4.5: Localização do Parque Estadual da Pedra Branca. Elaborado pela autora com dados do INEA (2011).

Como ressaltado por Rocha (2018), o Parque concentra mais de 50% do remanescente de Mata Atlântica do município, além de inúmeros sítios tombados e sua cobertura vegetal é composta em 26% por vegetação de campo antrópico (culturas, pastagens e macegas), 17% por Florestas Alteradas, incluindo os bananais, e 55% por Floresta da Mata Atlântica.

O Parque Estadual da Pedra Branca foi criado pela Lei Estadual Nº 2.377 de 28 de junho de 1974 (RIO DE JANEIRO, 1974) com o objetivo de “preservar o remanescente florestal localizado em ponto estratégico do Rio de Janeiro e área núcleo de biodiversidade da Mata Atlântica; preservar mananciais hídricos ameaçados pela expansão urbana; proteger paisagens naturais e pouco alteradas de notável beleza cênica no seu interior; proteger e revitalizar construções históricas, ruínas e sítios arqueológicos; proporcionar meios e incentivos para atividades de pesquisa científica e monitoramento; promover aos visitantes oportunidades de recreação ao ar livre e valorizar econômica e socialmente a diversidade biológica, com o aproveitamento dos serviços ambientais que o parque disponibiliza” (PORTAL INEA, 2019). A Unidade de Conservação conta com Plano de Manejo aprovado pela Resolução INEA Nº 74, de 2 de julho de 2013 (INEA, 2013).

4.2.2. Uso e Ocupação do Solo

A partir do mapa de uso e ocupação do solo da Região Administrativa da Barra da Tijuca, apresentado na Figura 4.6, pode-se observar a concentração de áreas residenciais principalmente na orla dos bairros da Barra da Tijuca e do Recreio dos Bandeirantes e a existência de vastas áreas de cobertura arbórea e arbustiva concentradas na parte oeste da RA, devido à existência do Parque Estadual da Pedra Branca. Destaca-se, ainda, a região dos Campos de Sernambetiba, classificada como área sujeita à inundação.

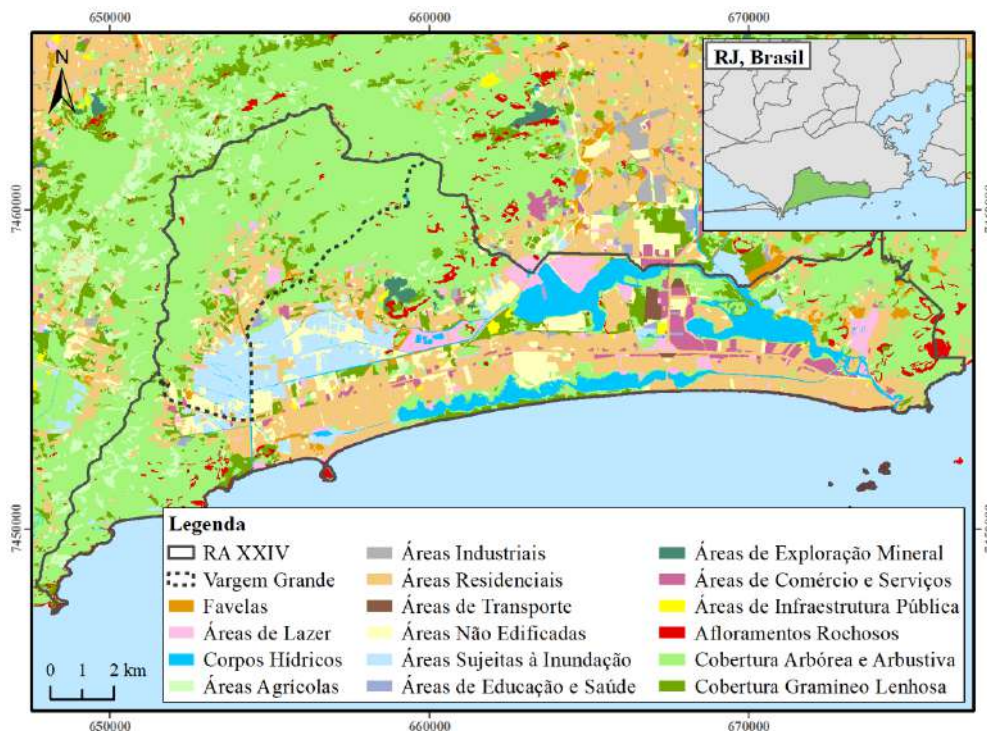


Figura 4.6: Mapa de Uso e Ocupação do Solo (2015) – Região Administrativa da Barra da Tijuca.

Elaborado pela autora com dados do IPP.

Ao analisar o bairro de Vargem Grande (Tabela 4.3), é possível verificar que as áreas não urbanizadas representam 85% de seu território, grande parte devido à cobertura arbórea e arbustiva (68,6%). É importante ressaltar que Vargem Grande possui cerca de 58% de sua extensão territorial pertencente ao Parque Estadual da Pedra Branca (22,6 km²). As Áreas Residenciais representam a segunda maior porcentagem de uso do solo no bairro com 9,0%, seguidas das Áreas Sujeitas à Inundação, com 7,6%, devido às suas cotas mais baixas.

Essa análise ratifica a região, marcada por grandes espaços livres, como vetor de expansão urbana da cidade, ainda que seja uma área ambientalmente sensível devido à presença da Unidade de Conservação e de grandes áreas sujeitas à inundação.

Tabela 4.3: Uso e Ocupação do Solo para o Bairro de Vargem Grande

Uso do Solo	Área (km²)	% do Bairro
Cobertura Arbórea e Arbustiva	27,01	68,6
Áreas Residenciais	3,55	9,0
Áreas Sujeitas à Inundação	2,99	7,6
Cobertura Gramíneo Lenhosa	2,19	5,6
Áreas Não Edificadas	1,44	3,7
Áreas Agrícolas	0,87	2,2
Áreas de Lazer	0,61	1,5
Favelas	0,29	0,7
Corpos Hídricos	0,17	0,4
Afloramentos Rochosos	0,15	0,4
Áreas de Comércio e Serviços	0,04	0,1
Áreas de Exploração Mineral	0,03	0,1
Áreas de Educação e Saúde	0,02	0,1
Áreas de Infraestrutura Pública	0,01	0,0
Área Total	39,38	100,0

4.2.3. Relevo e Geomorfologia

O relevo da cidade do Rio de Janeiro, de uma forma geral, é caracterizado pelo domínio Serrano, representado por montanhas e escarpas da vertente oceânica da Serra do Mar e maciços costeiros (Pedra Branca, Mendanha, Ilha da Marambaia), e também pelo domínio da Baixada, representado por uma extensa planície flúvio-marinha, atravessada por rios que desembocam na Baía de Guanabara, Sepetiba e bacias costeiras (RIO DE JANEIRO, 2015b).

Segundo o Plano Diretor de Manejo de Águas Pluviais do Rio de Janeiro (2015b), as colinas ocorrem em pequenas áreas nos sopés das escarpas separadas pelas planícies fluviais e as planícies costeiras encontram-se nas baixadas quase planas, contornando elevações constituídas de rochas pré-cambrianas, formando a Baixada de Sepetiba e de Jacarepaguá. Uma variedade de ambientes deposicionais representados por sedimentos quaternários aluviais de origem fluvial, flúvio-marinho, flúvio-lacustre e de estuários e sedimentos marinhos são encontrados nas planícies do município.

A partir do mapa da Figura 4.7, pode-se observar que a região de estudo conta, predominantemente, com planícies fluviais e flúvio-marinhas (até 20m). Também são observadas serras escarpadas (acima de 400m) e serras isoladas e serras locais de transição entre amplitudes altimétricas diferentes (200m-400m) nos maciços da Tijuca e da Pedra Branca, além da presença discreta de colinas (20-100 m) e morros (100-200 m). Cordões arenosos, dunas e restingas são encontrados em algumas áreas costeiras ao longo dos Bairros da Barra da Tijuca e do Recreio dos Bandeirantes.

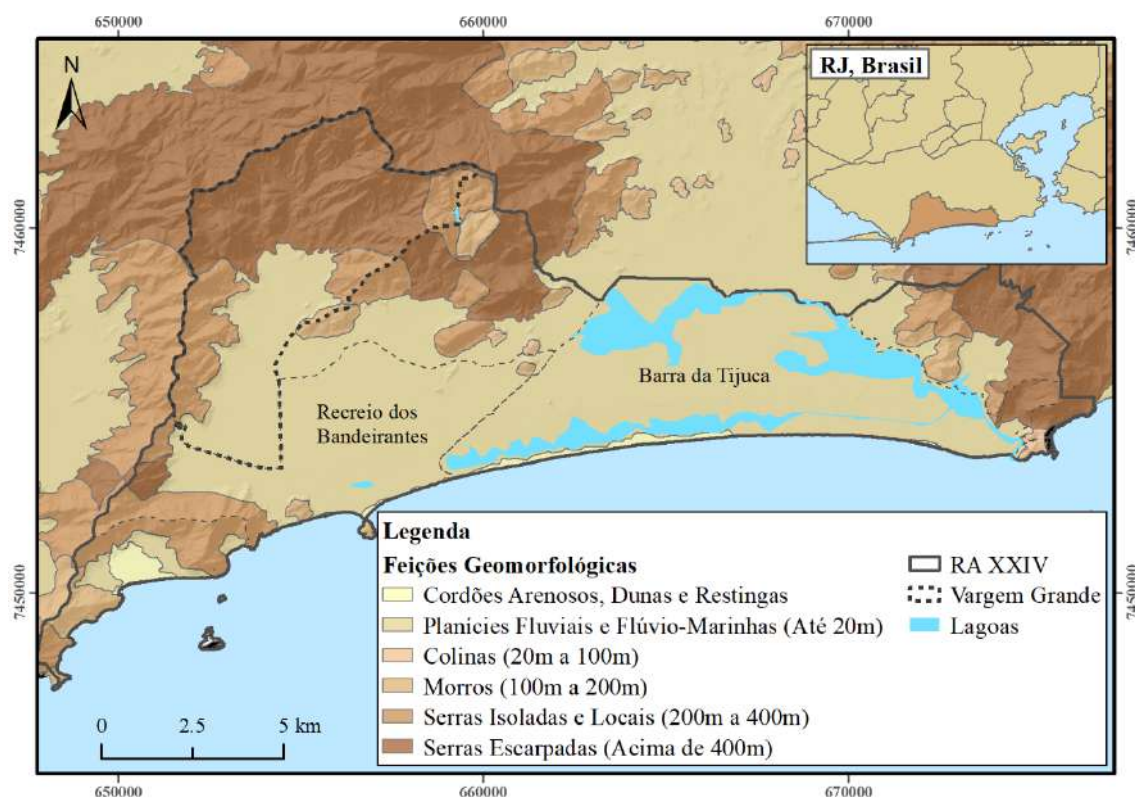


Figura 4.7: Mapa de Geomorfologia – Região Administrativa da Barra da Tijuca. Elaborado pela autora com dados do INEA (2011).

A representação do relevo com foco na área de estudo é apresentada na Figura 4.8, onde podem ser observadas grandes áreas com cotas baixas (até 2 m) na região central da RA da Barra da Tijuca e na parte mais ao sul do bairro de Vargem Grande. Também é possível visualizar áreas com cotas maiores que 100 m, principalmente nas extremidades laterais da RA, correspondentes ao maciço da Pedra Branca à oeste (1.024 m) e ao maciço da Tijuca à leste (1.021 m). Destaca-se que o Maciço da Pedra Branca é o de maior dimensão no Município, com encostas ainda ocupadas por culturas, dividindo espaço com matas e capoeiras.

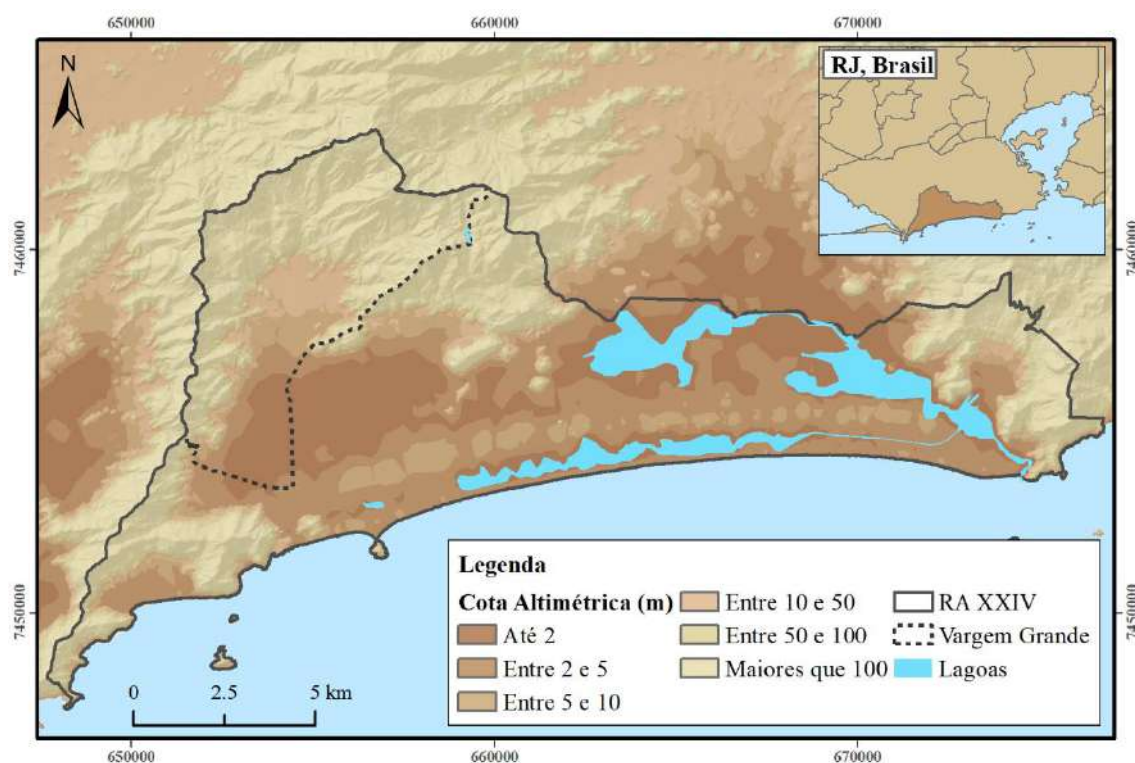


Figura 4.8: Mapa Topográfico – Região Administrativa da Barra da Tijuca. Elaborado pela autora com dados do IPP (2013).

4.2.4. Hidrografia

A área de estudo está inserida na Sub-Bacia da Zona dos Canais, com área de drenagem de, aproximadamente, 72 km² (SMAC, 2015). A bacia é composta por uma densa rede hidrográfica, que possui suas nascentes no Parque Estadual da Pedra Branca e segue até seu deságue no Oceano Atlântico, pelo Canal de Sernambetiba, ou no sistema de lagoas localizado a leste da região de Vargem Grande. Neste estudo, é considerada toda a área que contribui efetivamente para o Canal de Sernambetiba (aproximadamente 47 km²), sendo o principal ator no sistema de macrodrenagem estudado. A configuração da rede hidrográfica e a área da bacia considerada no estudo são ilustradas na Figura 4.9.

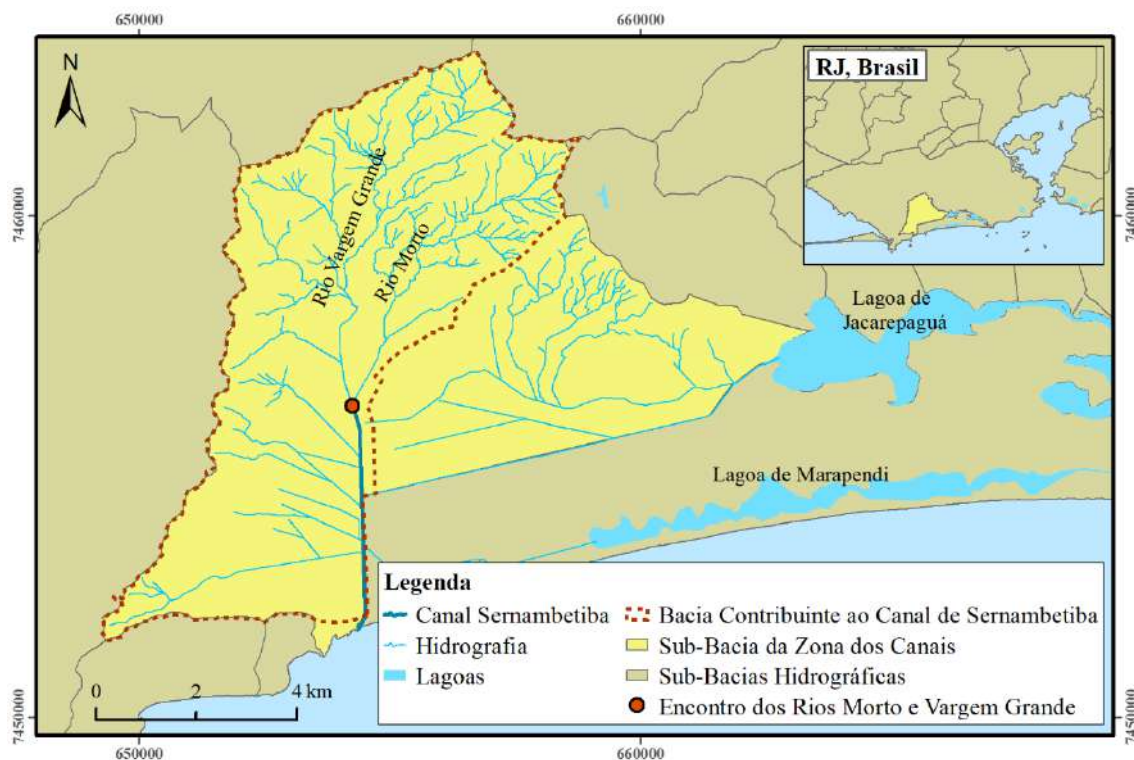


Figura 4.9: Sub-Bacia da Zona dos Canais, Rede Hidrográfica e Bacia Contribuinte ao Canal de Sernambetiba. Elaborado pela autora com dados do IPP (2018).

A rede hidrográfica da região nem sempre teve a configuração ilustrada na Figura 4.9. Ao longo dos anos, a sub-bacia sofreu diversas intervenções, incluindo a retificação de rios e a abertura de diversos canais, modificando fortemente o funcionamento natural da bacia. Como ressaltado por Tardin (2016), a primeira grande modificação na hidrografia da região se deu na primeira etapa de interpretação e construção do território local: Etapa de Colonização (até 1940), que consistiu em uma etapa rural e no processo de colonização do espaço livre. A abertura dos canais permitiu drenar a planície inundada e conectar as lagoas e o mar. Além disso, possibilitou sanear as áreas pantanosas, transformando os extensos brejos, inicialmente não propícios ao cultivo, em produtivos solos agrícolas, modificando os perfis das plantações que puderam se estender por áreas até então não cultivadas (NOGUEIRA, 1956 *apud* TARDIN, 2016).

Ressalta-se que, apesar da construção dos canais e do deságue direto para o oceano, a conexão com o complexo lagunar ainda existia, com as águas transportadas pelo Canal de Sernambetiba alimentando a Lagoa de Marapendi. Somente com a ponte devido à construção da Avenida das Américas, na década de 70, apoiada pelo Artigo 122, do Título VII, Capítulo Único, do Código de Águas de 1934, que concede preferência às redes de transporte, essa conexão foi bloqueada (<http://www.revistatae.com.br/7189-noticias>).

A Figura 4.10, confeccionada a partir de mapas do Arquivo Nacional, ilustra a evolução histórica da configuração hidrográfica da região. No primeiro mapa, de 1922, é possível observar como era a área de interesse antes do projeto e construção dos canais, em que os rios que nasciam no Maciço da Pedra Branca e desaguavam diretamente na extensa planície pantanosa. No segundo mapa, de 1950, é possível observar o desenho dos canais artificiais e da canalização dos rios naturais e o deságue no mar, pelo Canal de Sernambetiba. Neste mapa, a conexão do Canal com a Lagoa de Marapendi ainda existe. O terceiro mapa, de 1961, mostra a configuração mais próxima da atual, com a abertura de novos canais, a construção de um dique ao longo da margem esquerda do Canal de Sernambetiba e o bloqueio da conexão entre o Canal e a Lagoa.

Como ressaltado anteriormente, o Canal de Sernambetiba se configura como o principal ator no sistema de macrodrenagem estudado. É um canal artificial, com estudos para sua construção da década de 40, formado a partir da confluência dos Rios Vargem Grande e Morto, percorrendo aproximadamente 4,5 km até seu deságue, na Praia da Macumba, sua ligação com o Oceano Atlântico. O Rio Vargem Grande possui aproximadamente 2,55 km de extensão e tem sua vertente formada pelos Rios da Toca, Cambugui e Paineiras. O Rio Morto, por sua vez, é formado pelo encontro dos Rios Sacarrão e Rio Branco, e possui 3,2 km de extensão (LOURENÇO, 2012).

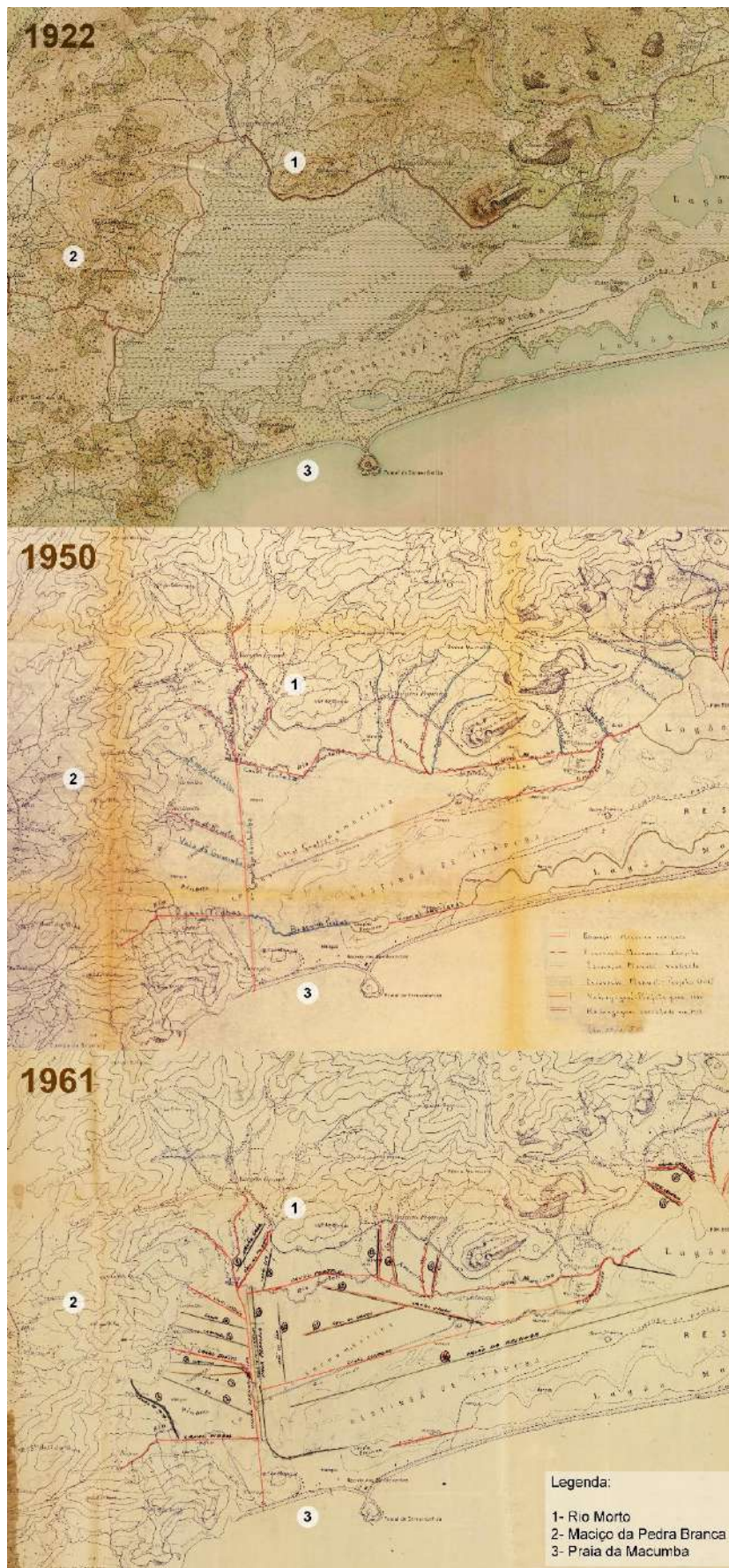


Figura 4.10: Evolução Histórica da Configuração Hidrográfica da Região em estudo. Mapas disponíveis no Arquivo Nacional.

De acordo com a reportagem “O Saneamento da Região de Jacarepaguá”, publicada no Diário de Notícias do Rio de Janeiro, em 23 de junho de 1944:

“O canal de Sernambetiba, construído para a descarga de 40m³ por segundo, criou uma segunda ligação do sistema hidrográfico de Jacarepaguá com o mar, que anteriormente era feita unicamente pela Barra da Tijuca, junto à Pedra Joatinga. Este canal veio impedir que as águas da Serra do Piatas fizessem um curso forçado de mais de 20 quilômetros para atingir a antiga barra, através da Lagoa Marapendi e o próprio rio desse nome, junto à costa e pelo Cortado que corria paralelamente a essa direção, três quilômetros para dentro.”

A fim de conhecer a situação atual dos rios e canais da região, em especial o Canal de Sernambetiba, foi realizada uma visita de campo no dia 02/08/2018, sob coordenação da Professora Aline Pires Veról, junto a alunos da graduação da Escola Politécnica e da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e alunos de mestrado e doutorado do Programa de Engenharia Civil (PEC-COPPE/UFRJ) e do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura (PROARQ-FAU/UFRJ).

Conforme apresentado na Figura 4.11, a visita permitiu observar o caráter mais natural dos rios formadores do Canal de Sernambetiba (Foto 1), destacando, no entanto, a presença de construções irregulares na margem direita do Rio Vargem Grande (Foto 2). A partir da confluência (Foto 3), o canal segue com seção regular, com extensas áreas livres a partir de sua margem direita (Foto Aérea 4) e com a Estrada Vereador Alceu de Carvalho ao longo de sua margem esquerda (Fotos 5 a 8). Foi possível observar também o assoreamento da foz do canal na Praia da Macumba, devido ao transporte litorâneo de areia, e o trabalho de dragagem constante realizado na foz (Fotos 9 e 10).

A região da Baixada de Jacarepaguá tem um histórico de enchentes recorrentes. Alguns eventos recentes atingiram proporções catastróficas (especialmente a inundação de 1996). Como ressaltado por Montezuma e Oliveira (2010), os rios que drenam a área da Baixada descem dos maciços com mudanças bruscas de declividade ao atingirem a planície, levando a um intenso processo de erosão das encostas e carregamento de material sólido para os cursos d'água. Além disso, pode-se citar ainda a intensa e rápida urbanização composta de áreas formalmente ocupadas por famílias de classe média e alta, concentradas perto do oceano, e habitações informais abaixo do padrão, em locais propensos a inundações e áreas ao longo das margens dos cursos de água (MIGUEZ *et al.*, 2019).

Desta forma, apesar de ser uma paisagem marcada por grandes espaços livres, a mesma tem sofrido alterações gradativamente por meio de ações antrópicas desordenadas. Nessa área está em curso um processo de ocupação irregular, com a consolidação de moradias precárias sem o apoio de infraestrutura urbana adequada, estabelecidas nas margens de rios e canais, provocando danos àquele ambiente e a seus ecossistemas.

Silva (2006) destaca a Baixada de Jacarepaguá como o maior exemplo da possível contradição entre desenvolvimento urbano e sustentabilidade ambiental na cidade do Rio de Janeiro, sendo a degradação ambiental do Complexo Lagunar da Baixada de Jacarepaguá resultado da expansão urbana na região desacompanhada de uma política pública de investimentos em infraestruturas de saneamento.

4.2.5. Caracterização da Área de Intervenção

A área adotada para análise e implantação das alternativas de urbanização possui, aproximadamente, 5 km² e está compreendida entre o Parque da Pedra Branca, considerada uma das maiores florestas urbanas mundiais, e o Canal de Sernambetiba, que possui grande importância para a drenagem da região, devido à sua extensão, e por estar conectado a diversos canais artificiais, desaguardo, por fim, no Oceano Atlântico. Mais precisamente, as fronteiras consistem em três vias: Estrada Vereador Alceu de Carvalho, Estrada dos Bandeirantes e Avenida das Américas. Esta região possui 10 cursos d'água, entre rios, córregos e canais naturais e canais de drenagem artificiais, com larguras médias entre 7 e 30 metros. Trata-se de uma área de expansão com aspectos ambientais importantes, estudada em pesquisas anteriores do grupo de pesquisa. Sua localização é apresentada na Figura 4.12 e o contexto em que está inserida, na Figura 4.13.

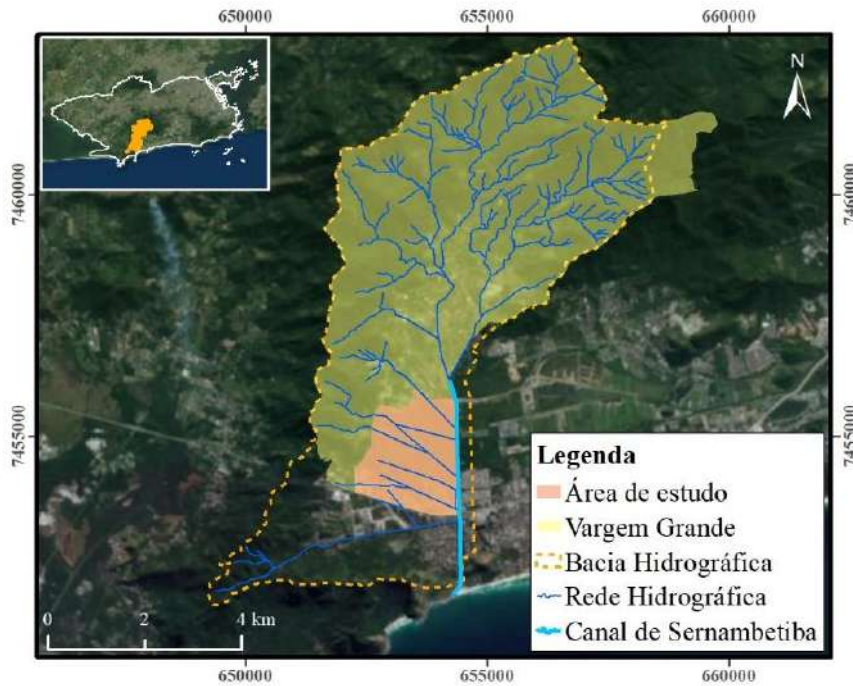


Figura 4.12: Localização da área de aplicação das alternativas no bairro de Vargem Grande.

Elaborado pela autora.



Figura 4.13: Área de intervenção e seu entorno ambientalmente relevante (MIGUEZ et al., 2019)

A Figura 4.14 apresenta a estrutura viária existente e prevista para a área de intervenção. Para o traçado das vias previstas, foi realizado o levantamento dos PAA's e PAL's existentes na região (PAA's N°s 10.657 e 8.997 e PAL's N°s 19.170 e 20.489) e a consequente atualização da estrutura viária proposta no PEU das Vargens de 2009, em vigor.

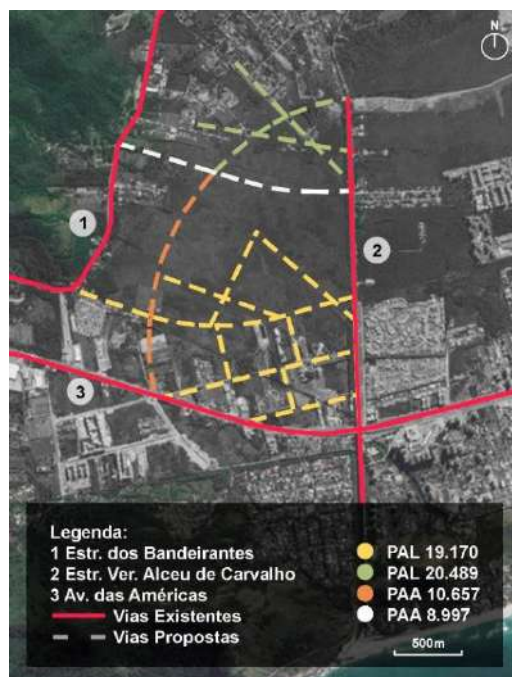


Figura 4.14: Estrutura Viária Existente e Prevista pela Prefeitura na Área de Intervenção.

Elaborado por Gustavo Lennon.

4.3. Alternativas Consideradas

Para fim de análise e avaliação do impacto do desenvolvimento urbano e da importância de se considerar o desenvolvimento sustentável, foram consideradas algumas alternativas. Ao todo, são três alternativas de uso e ocupação do solo: uma que considera o desenvolvimento segundo o PEU das Vargens (RIO DE JANEIRO, 2009) e duas que consideram uma abordagem mais sustentável, buscando integrar demandas naturais e urbanas, para servirem de comparação.

É importante ressaltar que, para o desenvolvimento das alternativas, foi feito um levantamento dos espaços já ocupados por edificação e da rede hidrográfica existente, a fim de delimitar a área de intervenção. Também foram observadas e estudadas as diretrizes estabelecidas na Lei Federal 6.766/79, sobre o Parcelamento do Solo Urbano, e na Lei Complementar 104/2009, conhecida como PEU das Vargens, assim como no Novo Código Florestal (BRASIL, 2012b).

Para tornar a área de intervenção passível de ocupação, foi considerada a implantação de aterros a fim de garantir a cota mínima de segurança de 2,0m nos locais com cotas altimétricas abaixo desse limite. Essa consideração deve-se à condicionante de urbanização somente em terrenos com cotas altimétricas a partir de 2,0m (RIO DE

JANEIRO, 2015b). As alternativas consideram ainda a realocação de algumas famílias para uma área do novo loteamento dotada de infraestrutura. As alternativas são descritas nos itens a seguir.

4.3.1. Alternativa de Urbanização 1 - PEU das Vargens

As características fundamentais desta alternativa são estabelecidas pela Lei Complementar N° 104/2009, o Plano de Estruturação Urbana das Vargens (RIO DE JANEIRO, 2009). A área do projeto está inserida nos Setores de Planejamento E e G, como citado no item 2.3.4 e apresentado na Figura 4.15.



Figura 4.15: Setores de Planejamento na Área de Intervenção – PEU das Vargens. Elaborado por Gustavo Lennon.

A área do projeto inserida no Setor E, definida como tipo de ocupação Zona Residencial I (ZRU), estabelece:

- Critérios para parcelamento:
 - ✓ Área mínima do lote: 600 m²;
 - ✓ Testada mínima do lote: 15 m;
- Critérios para edificação:
 - ✓ Número de pavimentos - Altura: 4 pisos; 14m;
 - ✓ IAT máximo: 2,25;
 - ✓ Taxa de ocupação: 60%;

- ✓ Taxa de permeabilidade: 30%;
- ✓ Afastamento mínimo frontal: 5 m.

A área do projeto inserida no Setor G, definida como tipo de ocupação Zona Residencial I (ZRU), por sua vez, estabelece:

- Critérios para parcelamento:
 - ✓ Área mínima do lote: 5000 m²;
 - ✓ Testada mínima do lote: 50 m;
- Critérios para edificação:
 - ✓ Número de pavimentos - Altura: 2 pisos; 8m;
 - ✓ IAT máximo: 0,4;
 - ✓ Taxa de ocupação: 20%;
 - ✓ Taxa de permeabilidade: 60%;
 - ✓ Afastamento mínimo frontal: 15m.

Já a área definida como tipo de ocupação Residencial I, Comercial I e Serviços I (ZUM - 1), estabelece:

- Critérios para parcelamento:
 - ✓ Área mínima do lote: 1000 m²;
 - ✓ Testada mínima do lote: 20 m;
- Critérios para edificação:
 - ✓ Número de pavimentos - Altura: 4 pisos; 15m;
 - ✓ IAT máximo: 1,2;
 - ✓ Taxa de ocupação: 35%;
 - ✓ Taxa de permeabilidade: 30%;
 - ✓ Afastamento mínimo frontal: 5m.

Destaca-se que as quadras foram projetadas considerando a extensão máxima de 250 m, como disposto no Art. 39 da Lei Complementar N° 104/2009 (RIO DE JANEIRO, 2009). Para o desenho das ruas, foram consideradas as vias previstas, apresentadas na Figura 4.14, e adotadas larguras de 10m para as vias locais (calçadas de 2m e duas faixas de rolamento com 3m cada). É importante ressaltar que, como previsto pela Prefeitura, nesta alternativa, a rede principal de canais foi desviada para as áreas definidas nos PAA's e PAL's considerados, respeitando a condição de avenidas canais.

Ao todo, o projeto conta com uma área loteada de 1,93 km² distribuída em 638 lotes, não possui áreas destinadas a parques e tem a necessidade de realocação de 68 famílias. A Figura 4.16 apresenta a concepção e os detalhes do projeto considerado nesta alternativa.

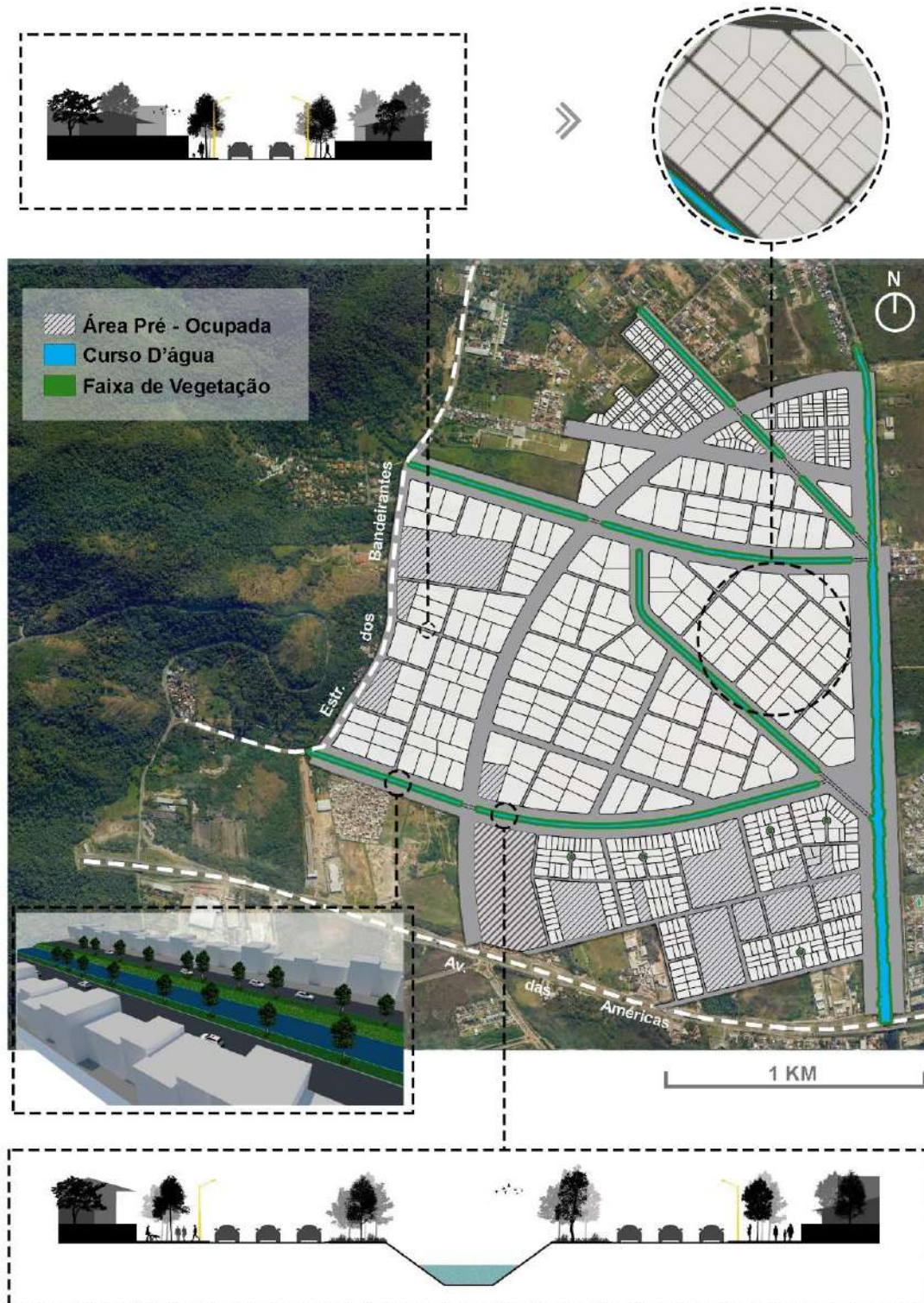


Figura 4.16: Alternativa de Urbanização 1 - PEU das Vargens - Concepção e Detalhes do Projeto.

Elaborado por Gustavo Lennon.

4.3.2. Alternativa de Urbanização 2 - Parques Lineares

Esta alternativa considera o projeto de loteamento delineado por Bezerra (2018) a partir da proposta dos parques lineares de Brito *et al.* (2017). Destaca-se que o projeto compatibiliza as vias existentes e as que ainda estão previstas, de forma a respeitar o planejamento de tráfego da região, conforme Figura 4.14.

O projeto de loteamento assume dimensões para o lote com testada mínima de 15m e área mínima de 675m² (o lote utilizado como padrão assume dimensões de 15m x 45m), condizentes com as diretrizes estabelecidas por lei para o Setor E. Ressalta-se que parte da área de interesse está localizada no Setor G, onde a legislação vigente prevê lotes com área mínima de 5.000 m². Todavia, as decisões do projeto buscam humanizar sua escala, além de representar uma solução de maior alcance para o déficit habitacional da cidade do Rio de Janeiro e de garantir áreas permeáveis com a definição de espaços públicos verdes.

Para o desenho das ruas, foram adotadas larguras de 16m e de 18m para as vias locais (ambas com calçadas de 2m e ciclovias de 2m). Entre lotes, foram inseridos pequenos corredores verdes, destinados para o caminho de pedestres e incorporados no sistema de drenagem.

Nesta alternativa, alguns canais existentes foram removidos a fim de garantir uma área de trabalho menos fragmentada. Assim, foram propostos novos percursos de rios com o objetivo de suprir a mesma demanda antes atendida pelos canais artificiais não considerados. Também buscou-se estabelecer a Faixa Marginal de Proteção (FMP) em todos os canais, quando possível, dentro da área de domínio. As decisões de projeto atenderam às exigências determinadas pelo Novo Código Florestal (BRASIL, 2012b), conforme apresentado no item 2.3.5. O projeto prevê a destinação da área das FMPs para a implantação de áreas de lazer para a população e, ainda, para o amortecimento das cheias dos rios, funcionando como um espaço multifuncional. Desta forma, esta medida visa, além de evitar uma ocupação irregular nas margens dos rios, trazer o olhar sustentável para o projeto, garantindo espaço para o comportamento mais natural dos rios.

Destaca-se que os parques lineares propostos promovem a integração do Parque Estadual da Pedra Branca até a Praia da Macumba, além de conectarem o novo loteamento às áreas adjacentes ao Canal Sernambetiba, formando verdadeiros corredores verdes urbanos. Além disso, esta proposta possui afinidade com o projeto do “Corredor Verde Recreio” da Prefeitura do Rio de Janeiro, descrito na Revista Parques Cariocas (2015), que planeja a implementação de um corredor verde que conecta o Canal de Sernambetiba, o Parque Natural Municipal Chico Mendes e o Parque do Marapendi. A proposta é preservar e recuperar áreas verdes e azuis, integrando-as às lagoas e restaurando conexões de várias áreas naturais fragmentadas e danificadas, resultantes de ações antrópicas. A Figura 4.17 apresenta uma previsão do projeto municipal completamente implementado em 2030.



Figura 4.17: Previsão do projeto Corredor Verde Recreio completamente implementado em 2030 (REVISTA PARQUES CARIOCAS, 2015)

A alternativa prevê, ainda, caminhos elevados que promovem o fluxo de pedestres ao longo do parque, atraindo o lazer ecológico. Esses caminhos são chamados de *highlines* e visam conectar os espaços recém formalizados.

Ao todo, o projeto conta com uma área loteada de 1,03 km² distribuída em 1321 lotes, uma área de 0,76 km² destinada a parques e tem a necessidade de realocação de 91 famílias. A Figura 4.18 apresenta a concepção e os detalhes do projeto considerado nesta alternativa.

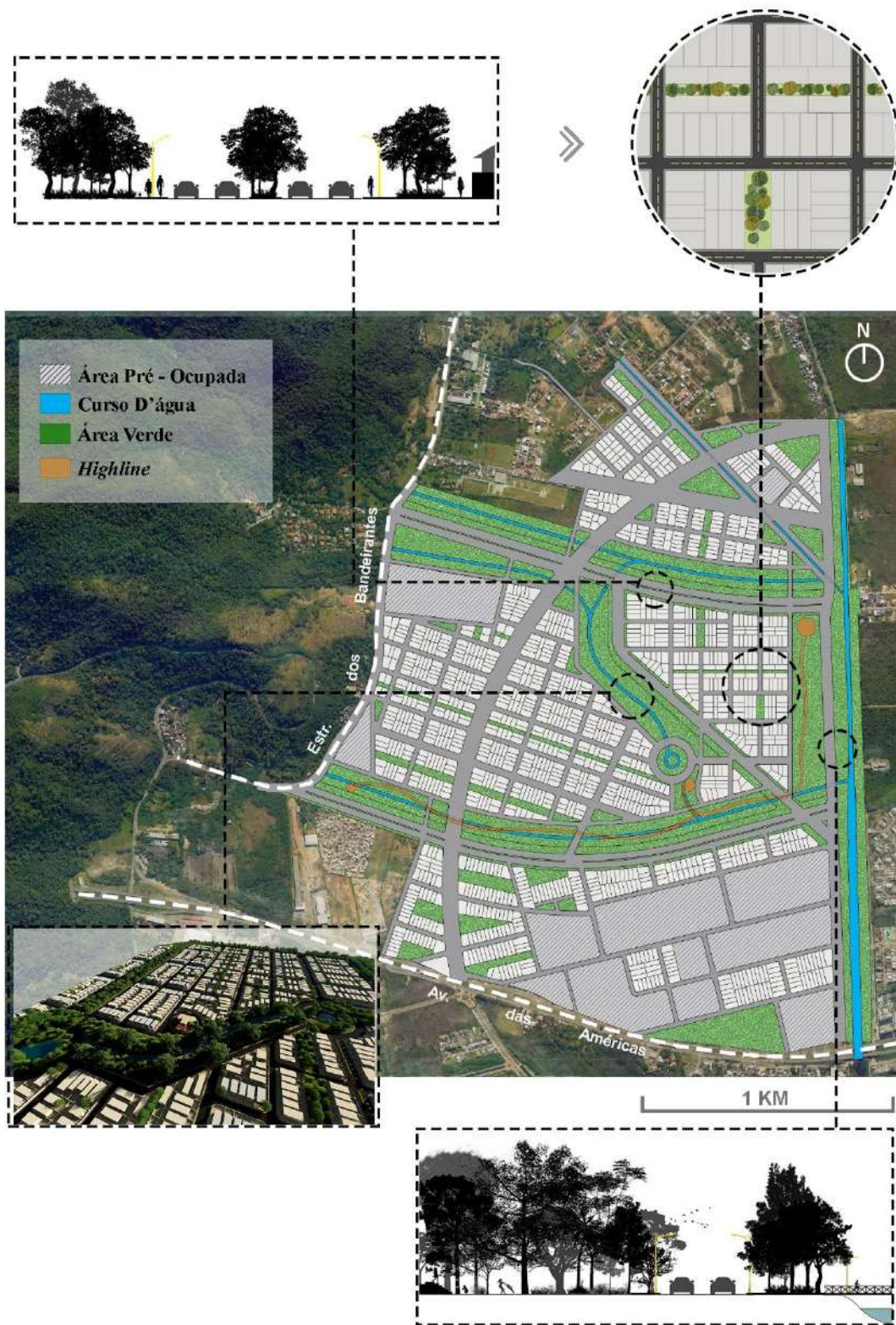


Figura 4.18: Alternativa de Urbanização 2 - Parques Lineares - Concepção e Detalhes do Projeto.
 Adaptado por Gustavo Lennon a partir de Brito *et al.* (2017).

4.3.3. Alternativa de Urbanização 3 - Parques com Bacias de Retenção

Esta alternativa considera o projeto de parques idealizado por Carvalho (2017), que teve como objetivo conectar o espaço livre existente ao entorno, criando uma relação entre os espaços livres e o espaço ocupado. Além disso, visa a proteção da Faixa Marginal de Proteção dos canais mais importantes da região. Destaca-se que, para esta alternativa, o projeto foi complementado com um projeto de loteamento nas áreas livres entre parques, desenvolvido pela autora e pelo aluno de graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAU/UFRJ Gustavo Lennon.

O Parque Natural, proposto por Carvalho (2017), é um sistema composto por quatro parques: Parque Cascalho, Parque Bonito, Parque Sernambetiba e Parque Linear, com área total de cerca de 0,91 km². Os parques apresentam um caráter de reserva natural, pois pretende, além de ser um novo espaço livre público para os moradores, ser um espaço para a reprodução e proteção de espécies da restinga e manguezal. Seu programa de necessidades é formado por atividades para o lazer infantil, mobiliário para a terceira idade, área destinada à ginástica, áreas com mesas e cadeiras para refeições e pequenas churrasqueiras e uma área destinada à leitura e ao relaxamento, com espreguiçadeiras e redes. O projeto do parque conta, ainda, com uma área para estacionamento de carros, bicicletários, áreas para os animais domésticos e uma área para prática de esportes.

O projeto dos parques considera a criação de três bacias de retenção, que visam, em primeiro lugar, melhorar a situação de inundações na região. Foram considerados no projeto os rios Cascalho e Bonito, além do Dreno K, um canal artificial, mas com papel importante na região. O dimensionamento das bacias é apresentado na Figura 4.19, na Figura 4.20 e na Figura 4.21. As bacias possuem estruturas de vertimento e orifício, exceto a bacia do Rio Cascalho devido à sua localização, que permite tanto o amortecimento das vazões afluentes do próprio rio, quanto das vazões advindas do Canal de Sernambetiba. Em todas as bacias, foi considerada uma lâmina permanente de 0,50m.

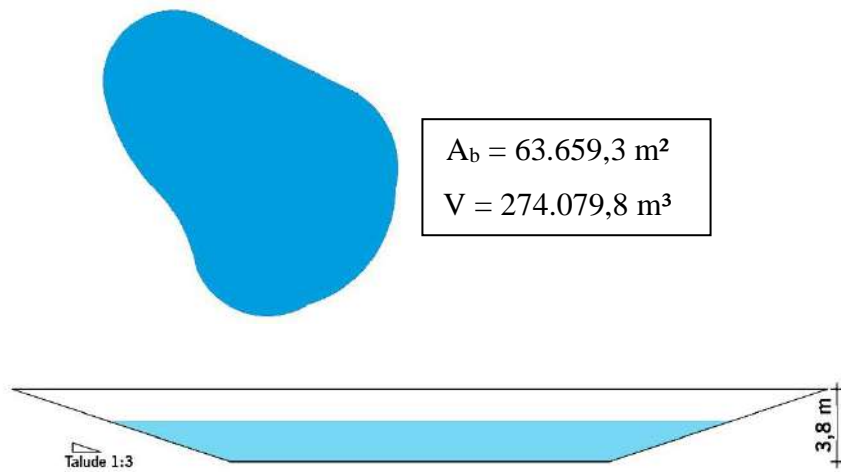


Figura 4.19: Dimensionamento da Bacia de Retenção do Rio Cascalho.

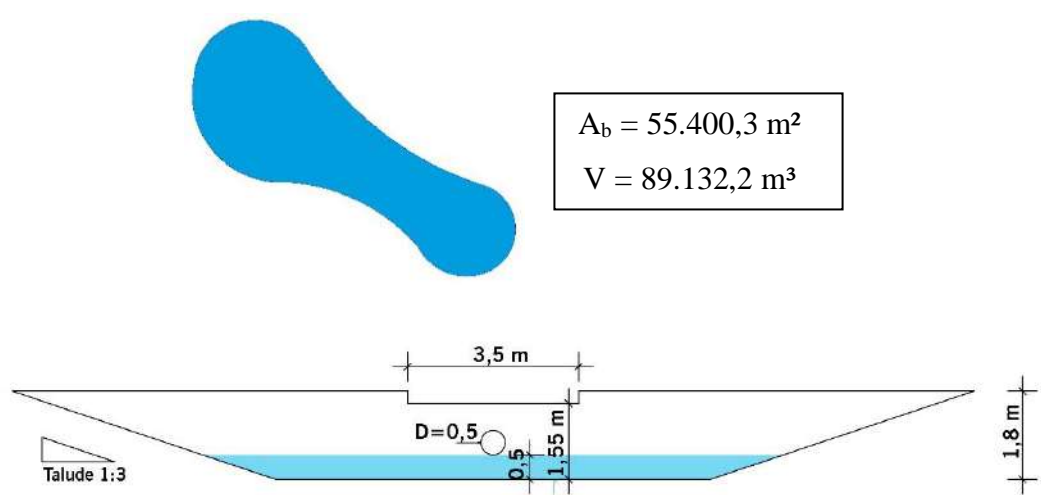


Figura 4.20: Dimensionamento da Bacia de Retenção do Rio Bonito.

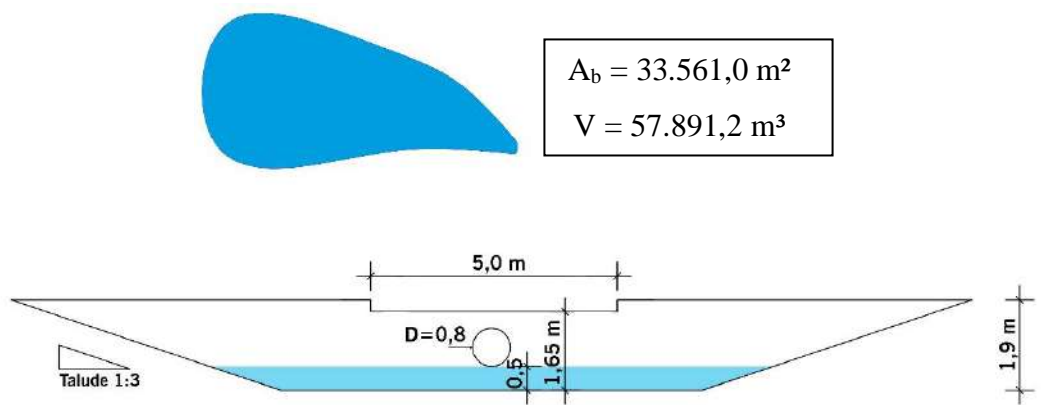


Figura 4.21: Dimensionamento da Bacia de Retenção do Dreno K.

O Parque Cascalho, localizado mais ao norte da área de estudo, possui o mesmo nome do rio que o corta e conta com uma área total de 0,20 km². O parque localizado mais ao centro da região é o Parque Bonito, que também possui o mesmo nome do rio que o corta, e conta com uma área total de 0,30 km². O parque mais ao sul é o Parque Sernambetiba, com uma área total de 0,14 km², e é cortado pelo Dreno K, que deságua no canal de Sernambetiba. O Parque Linear, por sua vez, com uma área total de 0,27 km², atravessa todo o conjunto de parques ao longo da Estrada Vereador Alceu de Carvalho, ligando-a ao caminho utilizado atualmente para acessar a Reserva Natural Chico Mendes.

O projeto de loteamento nesta alternativa assume as mesmas dimensões para o lote consideradas na Alternativa de Urbanização 2 - Parques Lineares (testada mínima de 15m e área mínima de 675m²). Para o desenho das ruas, foram adotadas larguras de 18m para as vias locais e 25m para as vias principais (ambas com calçadas de 2m e ciclovias de 2m de largura). Destaca-se que o projeto considera as vias existentes e algumas das que estão previstas, conforme apresentado na Figura 4.22. A opção por desconsiderar alguns traçados propostos foi feita de modo a compatibilizar com o desenho dos parques proposto por Carvalho (2017). No entanto, as funções das vias desconsideradas foram mantidas, com outro traçado, na Alternativa 3.



Figura 4.22: Vias consideradas e vias desconsideradas na Alternativa de Urbanização 3 - Parques com Bacias de Retenção. Elaborado por Gustavo Lennon.

É importante ressaltar que esta alternativa também vai de encontro com o projeto Corredor Verde Recreio da Prefeitura do Rio de Janeiro, pois os parques propostos também funcionam para conectar as áreas verdes e o novo loteamento aos principais atores ambientais da região. Ao todo, o projeto conta com uma área loteada de 1,28 km² distribuída em 1491 lotes, uma área de 0,67 km² destinada a parques e tem a necessidade de realocação de 94 famílias. A Figura 4.23 apresenta a concepção e os detalhes do projeto considerado nesta alternativa.

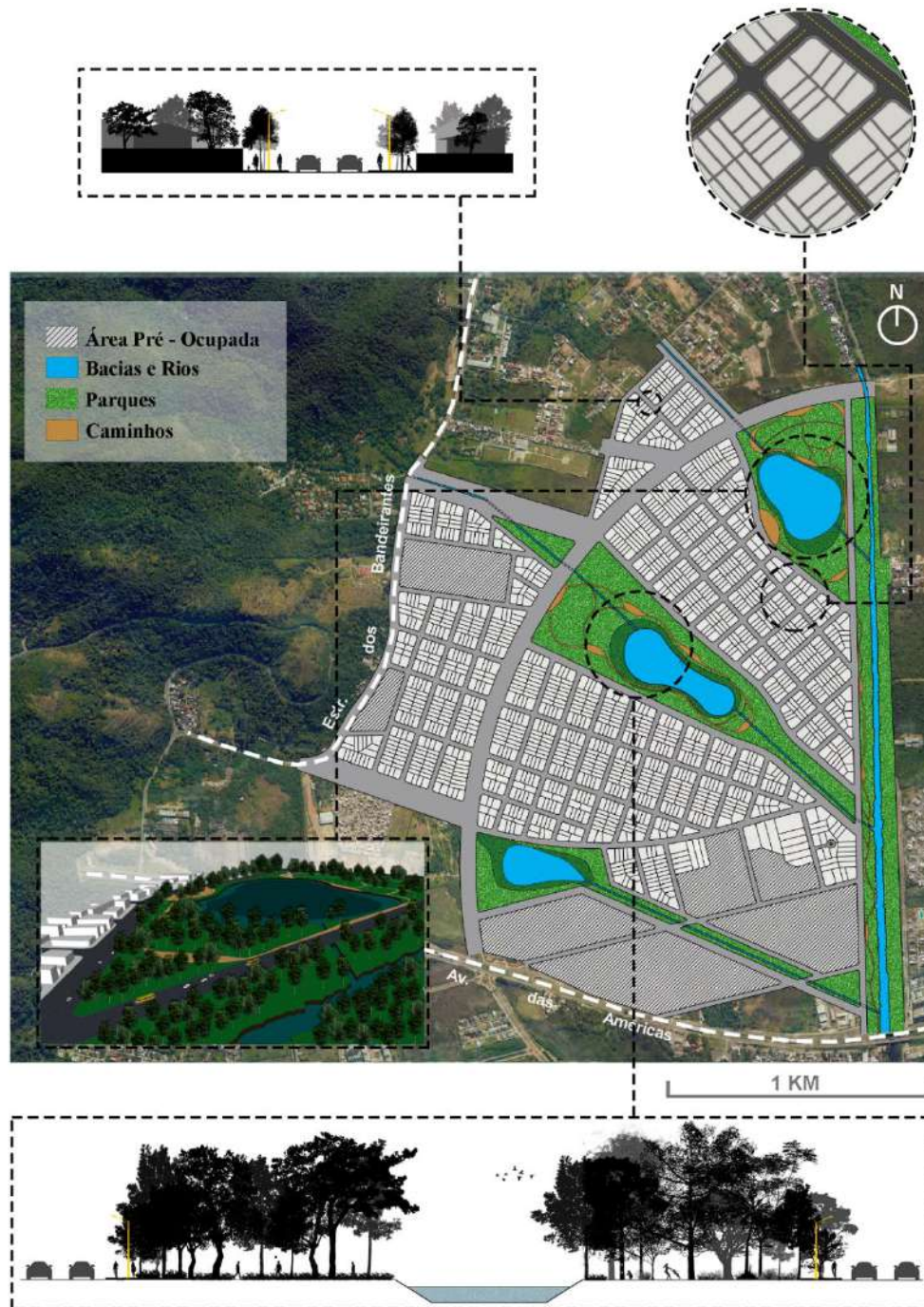


Figura 4.23: Alternativa de Urbanização 3 - Parques com Bacias de Retenção - Concepção e Detalhes do Projeto. Elaborado por Gustavo Lennon.

4.3.4. Resumo das Alternativas

A Tabela 4.4 apresenta um resumo das informações quantitativas de cada uma das alternativas de projeto consideradas.

Tabela 4.4: Resumo das Alternativas consideradas

	<p><u>Alternativa 1 – PEU das Vargens</u></p> <hr/> <p>Área Total Loteada: 1,93 km²</p> <hr/> <p>Número de Lotes: 638</p> <hr/> <p>Famílias Realocadas: 68</p> <hr/> <p>Área Destinada a Parques: 0 km²</p>
	<p><u>Alternativa 2 – Parques Lineares</u></p> <hr/> <p>Área Total Loteada: 1,03 km²</p> <hr/> <p>Número de Lotes: 1321</p> <hr/> <p>Famílias Realocadas: 91</p> <hr/> <p>Área Destinada a Parques: 0,76 km²</p>
	<p><u>Alternativa 3 – Parques com Bacias de Retenção</u></p> <hr/> <p>Área Total Loteada: 1,28 km²</p> <hr/> <p>Número de Lotes: 1491</p> <hr/> <p>Famílias Realocadas: 94</p> <hr/> <p>Área Destinada a Parques: 0,67 km²</p>

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O presente trabalho traz um conjunto de ferramentas que, combinado, pretende dar subsídio a uma avaliação mais abrangente para diferentes alternativas de projeto. Para organizar a apresentação de resultados, em primeiro lugar, o processo de modelagem matemática da bacia contribuinte ao Canal de Sernambetiba é descrito e os mapas de alagamento obtidos, para a Situação Atual e para cada uma das Alternativas de Urbanização propostas, são apresentados. Essa é a informação básica, usualmente presente nos processos de decisão mais simples.

Em seguida, são apresentados o processo de obtenção e estimativa de dados para a aplicação dos índices à Situação Atual e às alternativas simuladas, bem como os resultados individuais da aplicação de cada índice utilizado neste trabalho, com vistas a expandir a análise de projeto, em busca de uma quantificação de benefícios em mais largo espectro, envolvendo redução de vulnerabilidades, incremento de resiliência (portanto, somando menores vulnerabilidades e maior resiliência, tem-se uma menor medida de riscos de inundação), maior qualidade fluvial e urbana e maior eficiência das redes de infraestrutura.

Por fim, é discutido o resultado do Índice de Avaliação de Projeto, etapa final do quadro metodológico proposto nesta dissertação, que busca integrar os diversos resultados parciais. Destacam-se que as próprias avaliações particulares já trazem uma contribuição concreta no sentido de uma decisão mais embasada para o melhor projeto, dadas as premissas valorizadas pelo gestor público e sociedade. Porém, a medida integrada ajuda a decidir, em casos em que as soluções propostas são próximas, ou quando não há uma preferência clara em uma dada direção (por exemplo, quando é indiferente a percepção de melhoria entre ecossistemas fluviais ou qualidade ambiental urbana).

5.1. Modelagem Matemática (MODCEL)

Em primeiro lugar, é descrito o processo de modelagem matemática, começando pela divisão de células para simulação da Situação Atual e as condições de contorno utilizadas. Em seguida, são apresentados o processo de calibração e a chuva de projeto calculada para a modelagem. Também são descritas as alterações necessárias para a simulação das alternativas, como a divisão de células e a atualização de parâmetros de modelagem, e, por fim, são apresentados e discutidos os resultados obtidos.

5.1.1. Divisão de Células e Condições de Contorno

Para a simulação matemática da Situação Atual, a fim de realizar o diagnóstico da região, a bacia considerada foi discretizada em células de escoamento, conforme apresentado na Figura 5.1. São 800 células que representam os cursos d'água, as planícies urbanizadas, as planícies não urbanizadas e as áreas de encosta.

Na Figura 5.1, também podem ser visualizados os locais de entrada das condições de contorno utilizadas. Ao todo, foram quatro condições de contorno (CC): três de vazão, representativas da vazão de base dos três rios principais à montante da bacia, e uma de nível, representativa da maré local. As condições de contorno de vazão foram estimadas a partir da vazão específica atribuída ao Rio de Janeiro, de 10-20 l/s.km², segundo ANA (2005), e são apresentadas na Tabela 5.1. Já a condição de contorno representativa da maré, foi calculada a partir da Tábua de Maré da Marinha do Brasil (Figura 5.2) (YAMAMOTO, 2017).

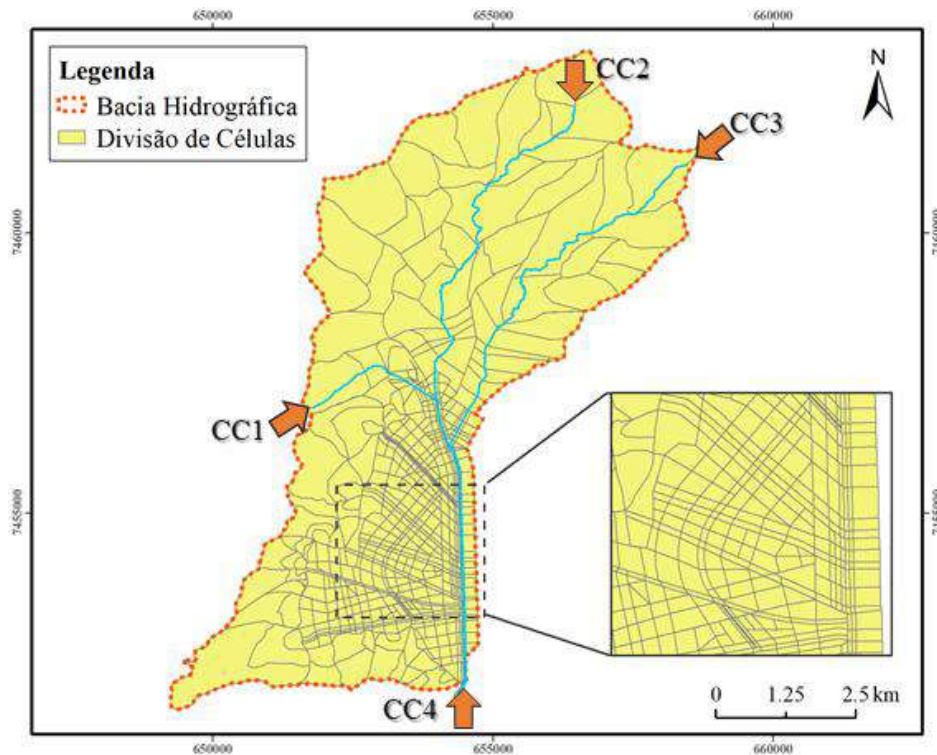


Figura 5.1: Discretização da bacia de interesse em células e indicação dos locais de entrada das condições de contorno utilizadas (CC1, CC2 e CC3 – vazões de base; CC4 – nível). Elaborado pela autora.

Tabela 5.1: Condições de Contorno de Vazão (YAMAMOTO, 2017)

Condição de Contorno	Rio	Área da Bacia (km ²)	Vazão de Base (m ³ /s)
CC1	Portão	1,5	0,030
CC2	Vargem Grande	16,5	0,329
CC3	Morto	8,4	0,168

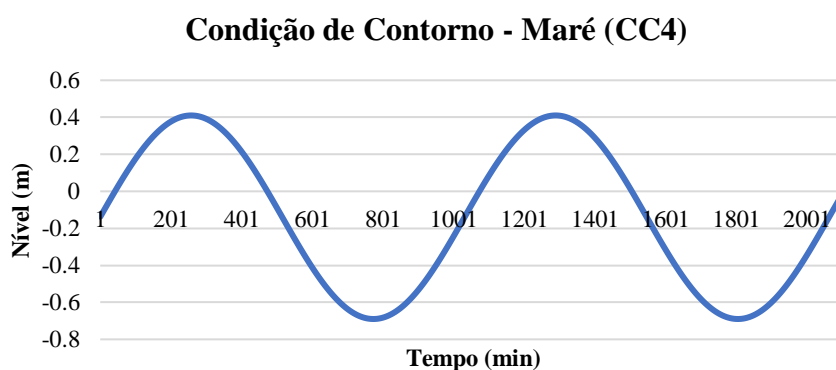


Figura 5.2: Condição de Contorno – Maré (YAMAMOTO, 2017)

5.1.2. Calibração

O processo de calibração do modelo consistiu na simulação de um evento real, medido na Estação Telemétrica de Precipitação e Nível – Canal Sernambetiba, Condomínio Maramar - da Fundação Rio Águas, localizada próximo à foz do canal (Figura 5.3). O evento escolhido teve início às 22:10h do dia 05/12/2013 e término às 02:30h do dia 06/12/2013, totalizando quatro horas e vinte minutos de duração e 30,4 mm precipitados (Figura 5.4). Como a base aerofotogramétrica utilizada como referência foi confeccionada a partir de voo em 2013, optou-se por um evento no mesmo ano.

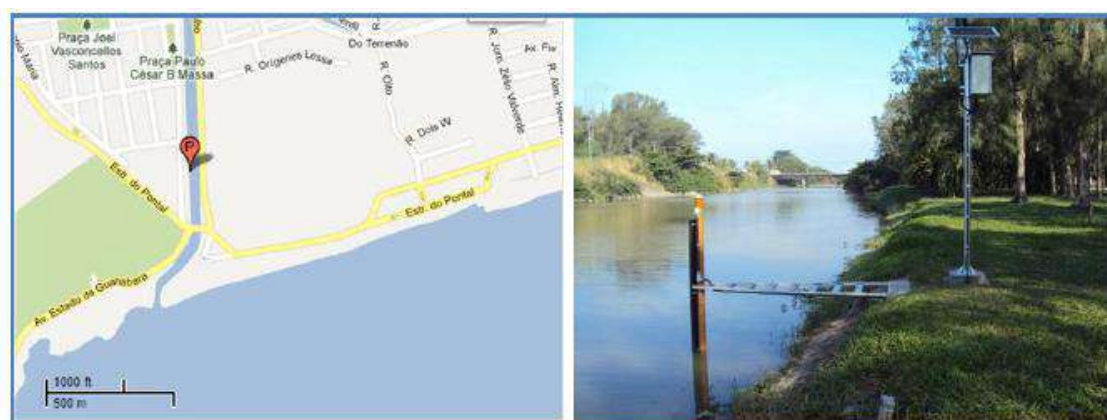


Figura 5.3: Localização da Estação Telemétrica de Precipitação e Nível da Fundação Rio Águas – Canal Sernambetiba – Condomínio Maramar - Lat: 23°01'52,9"S e Long. 43°29'34,2"W (RIO DE JANEIRO, 2015b).

Chuva Medida - 05/12/2013 a 06/12/2013

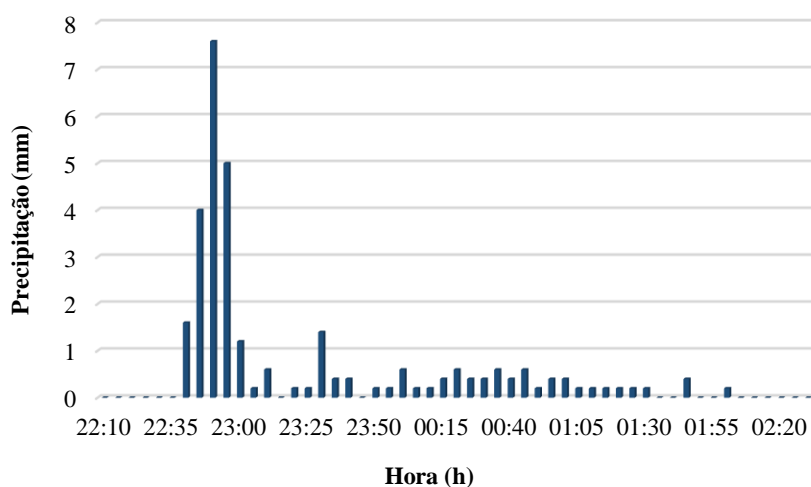


Figura 5.4: Hietograma do Evento dos Dias 05/12/2013 e 06/12/2013 – Chuva Medida – Calibração. Elaborado pela autora com base em dados da Rio Águas.

Para a confecção da condição de contorno de maré, foi utilizada a tábua de maré do dia do evento simulado. A curva de maré resultante para o período considerado é apresentada na Figura 5.5. O resultado obtido para esta etapa é apresentado na Figura 5.6, onde pode-se constatar, por fim, que o modelo concebido é apto a representar a realidade da área de estudo.

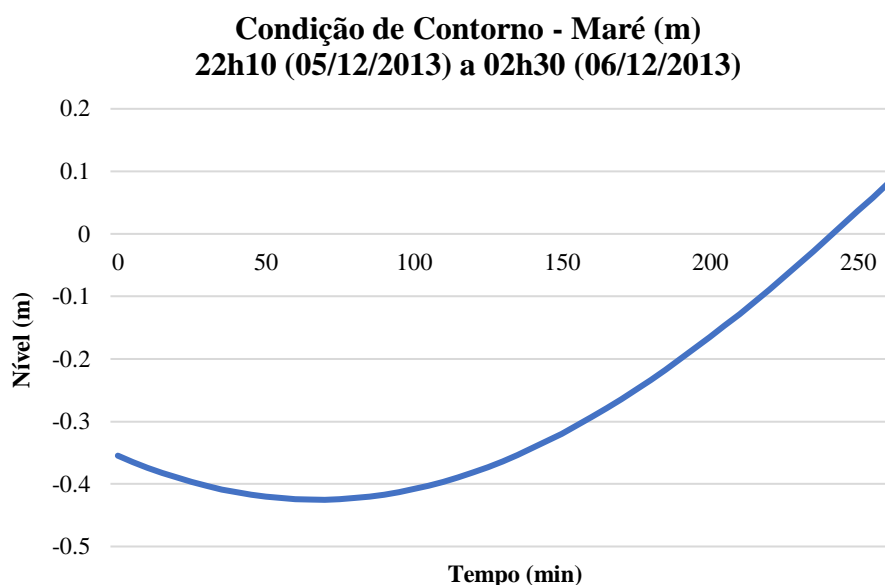


Figura 5.5: Condição de Contorno – Calibração – Maré (m) – Período: 22h10 (05/12/2013) a 02h30 (06/12/2013). Elaborado pela autora com dados da tábua de maré.

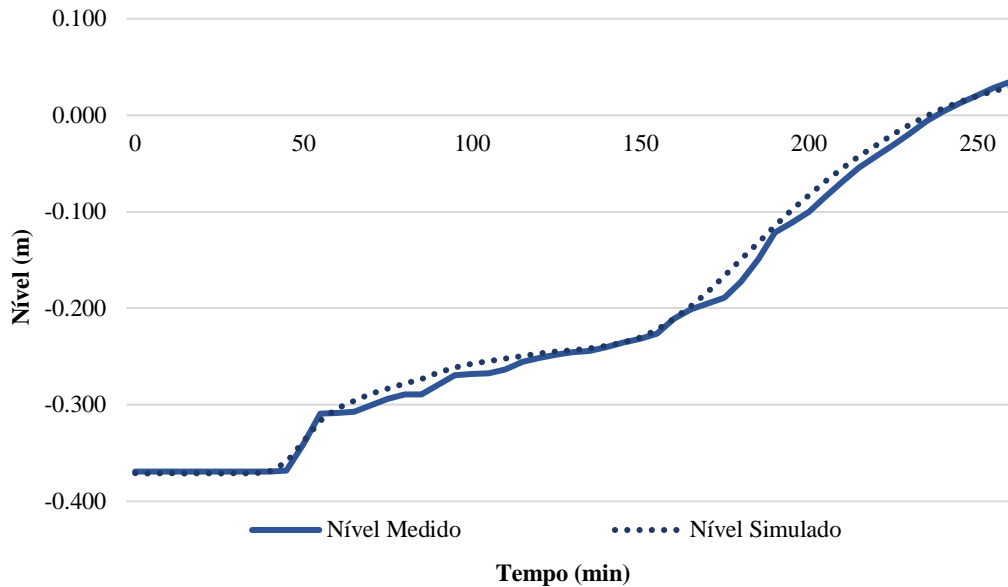


Figura 5.6: Calibração – Comparação entre os níveis medidos na Estação Canal Sernambetiba – Condomínio Maramar e os níveis simulados no MODCEL.

5.1.3. Chuva de Projeto

Conforme calculado por Pinto (2016), o tempo de concentração da bacia é de 125 minutos, utilizado como base na definição do tempo de duração da chuva de projeto. A chuva de projeto (Figura 5.7) foi calculada a partir da equação IDF Clássica, considerando um tempo de recorrência (TR) de 25 anos, assim como estipulava o Ministério das Cidades, atualmente integrante do Ministério do Desenvolvimento Regional, como referência para projetos de macrodrenagem. O total precipitado resultante foi de 109,3 mm.

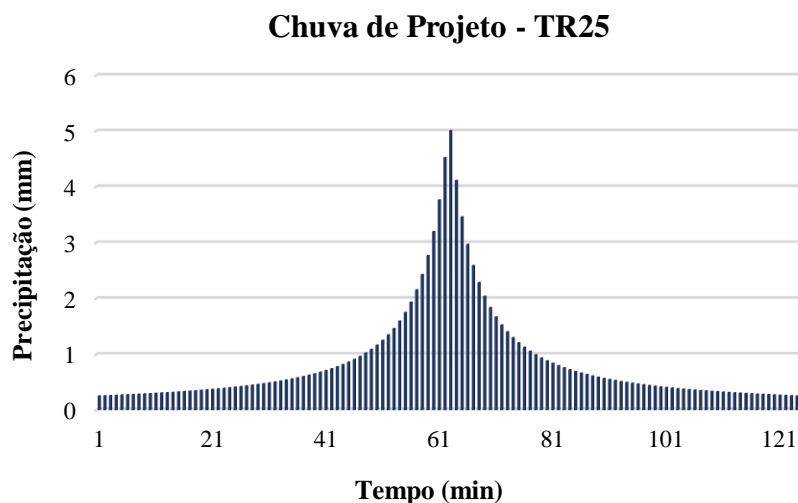


Figura 5.7: Chuva de Projeto – TR 25 anos com duração de 125 minutos. Elaborado pela autora.

5.1.4. Modelagem das Alternativas de Projeto

A divisão de células precisou sofrer alterações para a modelagem das alternativas, a fim de detalhar melhor o recorte escolhido para confecção dos projetos de loteamento. Com isso, o número total de células mudou para as alternativas consideradas com relação à Situação Atual, conforme apresentado na Tabela 5.2. A nova divisão de células para cada uma das alternativas, com foco no recorte da área de estudo, é apresentada na Figura 5.8.

Tabela 5.2: Número Total de Células por Alternativa de Urbanização Considerada

Alternativa	Número Total de Células
Situação Atual	800
Alternativa 1 - PEU das Vargens	748
Alternativa 2 - Parques Lineares	833
Alternativa 3 - Parques com Bacias de Retenção	812

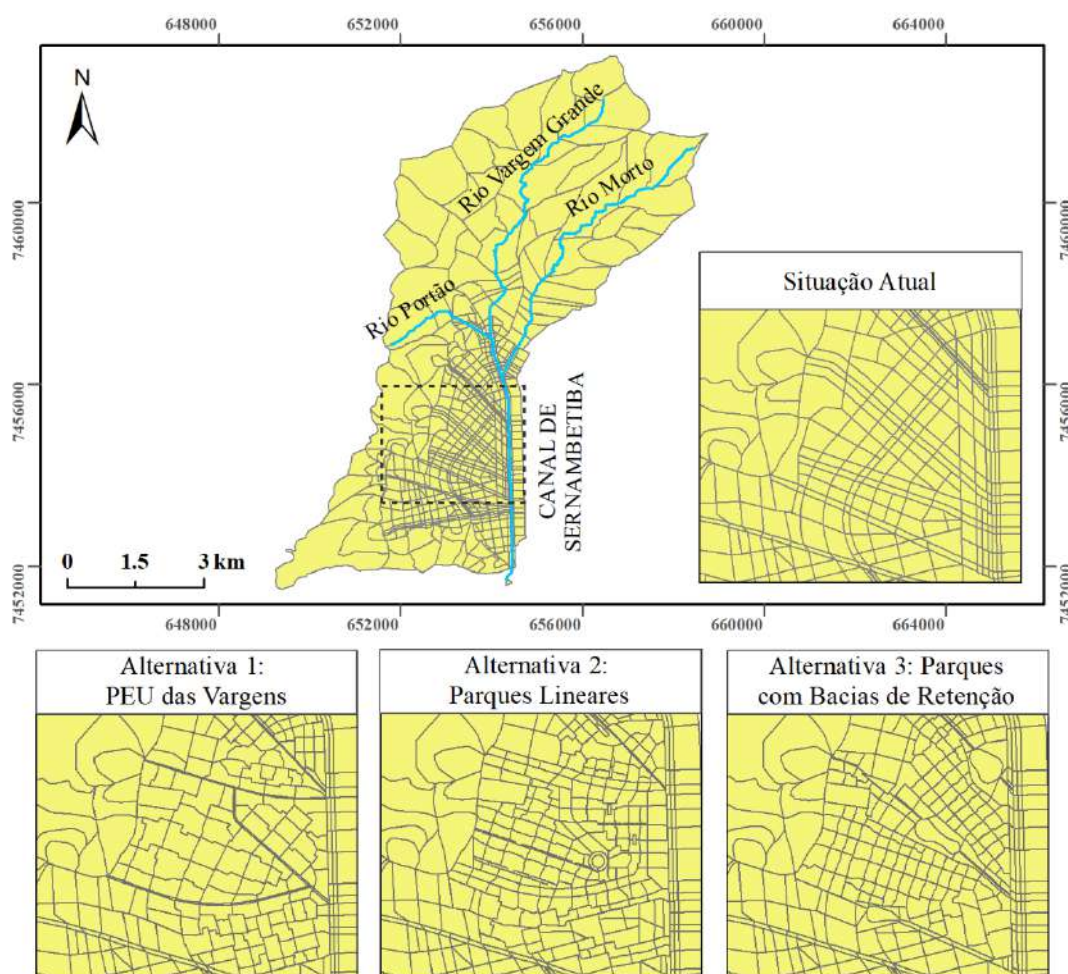


Figura 5.8: Divisão de Células para Cada Alternativa Considerada – Foco no Recorte de Estudo.

Elaborado pela autora.

Outros parâmetros também foram atualizados para a simulação das alternativas, como o coeficiente de escoamento superficial, que sofreu aumento com a introdução de ocupação em locais antes não ocupados, e as larguras de ligação e coeficientes de Manning, que passaram a considerar o escoamento principal pelas vias propostas (resultando em diminuição das larguras e do coeficiente). As cotas de fundo das células de planície também foram atualizadas, simulando a construção de aterros nas áreas de intervenção em locais com cota inferior a 2,0m. Ainda, no escoamento dos canais, foi aplicada uma diminuição no coeficiente de Manning, considerando a limpeza dos mesmos nas alternativas de projeto. Também foi simulada, para todas as alternativas, uma rede de microdrenagem hipotética, por se tratar de situação de projeto.

Além disso, ainda foram introduzidas alterações específicas para cada alternativa. Na Alternativa de Urbanização 1 - PEU das Vargens, foi considerada a dragagem dos canais principais para melhoria da capacidade hidráulica, com rebaixamento da cota de fundo, tendo como referência dados de projeto fornecidos pela Fundação Rio-Águas. Já nas Alternativas 2 e 3, que consideram parques ao longo das faixas marginais de proteção dos canais, as cotas nas áreas dos parques foram mantidas iguais às da Situação Atual.

Destaca-se que, embora a configuração na foz do Canal de Sernambetiba seja variável, segundo o transporte litorâneo e o regime hidrológico, e que seja dependente de dragagem contínua, foi utilizada na modelagem das alternativas a mesma configuração obtida no processo de calibração.

5.1.5. Resultados

A Figura 5.9 apresenta a mancha de inundação resultante da simulação da Situação Atual. Como pode-se observar, os alagamentos concentram-se, principalmente, na região da confluência dos rios Morto e Vargem Grande e na planície entre o rio Cascalho e os rios Vargem Grande/Canal de Sernambetiba, conforme destacado na Figura 5.9. Locais mapeados pela Fundação Rio Águas como receptores de alagamentos recorrentes na região estão presentes na mancha de inundação resultante, o que contribui para a aceitação da calibração do modelo para a posterior simulação das alternativas de projeto com maior confiabilidade. Estes locais se referem: as margens dos rios Vargem Grande e Morto na região da sua confluência e a Rua Zenetildes Alves Meira. Destaca-se também o alagamento observado na localização do Museu do Pontal, com lâmina acima de 50cm, que é um ponto de referência de alagamentos recorrentes.

Na região central, de interesse para as alternativas de projeto, é possível observar lâminas inferiores a 15cm devido, principalmente, ao seu caráter mais natural.

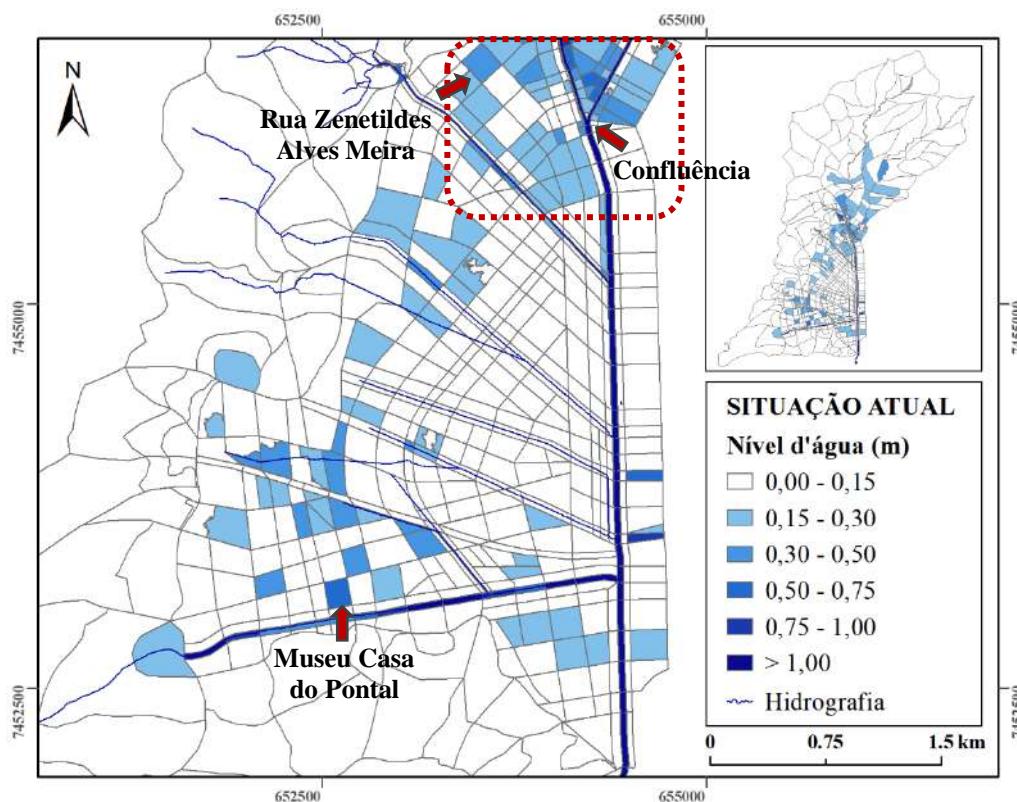


Figura 5.9: Mancha de Inundação – Situação Atual. Elaborado pela autora.

Na Tabela 5.3, são apresentados os volumes de alagamento resultantes na área de interesse e em seu entorno próximo, para cada faixa de nível d'água, na Situação Atual.

Tabela 5.3: Volumes de Alagamento por Faixa de Nível d'água – Situação Atual

Nível d'água (m)	Volume de Alagamento (m³)
0 - 0,15	669.361,7
0,15 - 0,30	657.959,4
0,30 - 0,50	457.229,4
0,50 - 0,75	53.038,7
0,75 - 1,0	11.678,5
> 1,0	0

Na Figura 5.10, é possível visualizar a mancha de inundação resultante da simulação da Alternativa de Urbanização 1 - PEU das Vargens. Destaca-se que, por se tratar de uma alternativa de projeto, não há lâminas de alagamentos superiores a 15cm na área de intervenção. Além disso, é possível notar uma pequena melhora nos alagamentos localizados na área crítica destacada na Situação Atual, devido à simulação da limpeza dos canais principais.

Como essa alternativa parte de um caráter mais rural, optou-se por simular um cenário disfuncional da Alternativa 1, em que a mesma assume um caráter mais urbano. Diferente da simulação original, que considera a situação prevista pela Prefeitura, respeitando os limites mínimos de permeabilidade definidos pelo PEU das Vargens, no cenário disfuncional é simulada uma impermeabilização esperada no longo prazo das áreas com lotes mínimos de 5000 m², com aumento do coeficiente de escoamento superficial. Também foram simulados os canais em sua condição existente, a fim de testar a necessidade de manutenção da dragagem para a melhoria da capacidade hidráulica dos mesmos. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 5.11 e demonstram que o aumento da impermeabilização e a falta de manutenção da dragagem dos canais resultam em lâminas de 15cm a 50cm dentro da área de projeto. O estado atual de manutenção e a capacidade esperada de fiscalização dos níveis de impermeabilização nos lotes, por parte da Prefeitura, indicam que este cenário disfuncional é bastante possível.

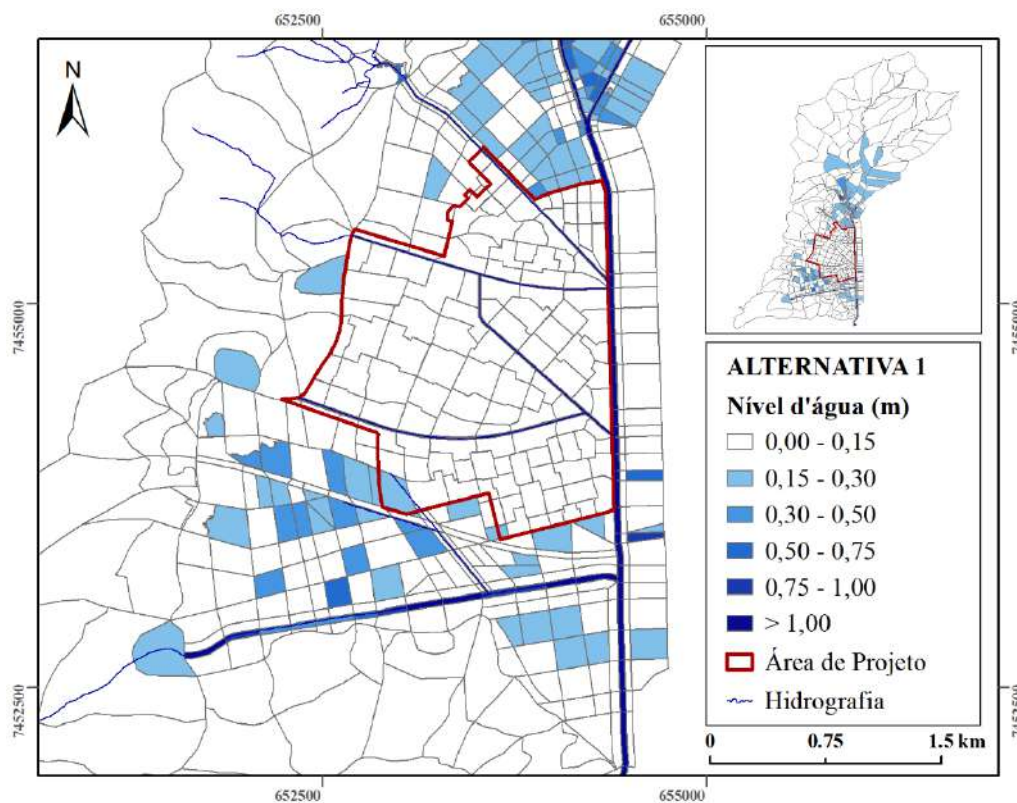


Figura 5.10: Mancha de Inundação – Alternativa 1 - PEU das Vargens. Elaborado pela autora.

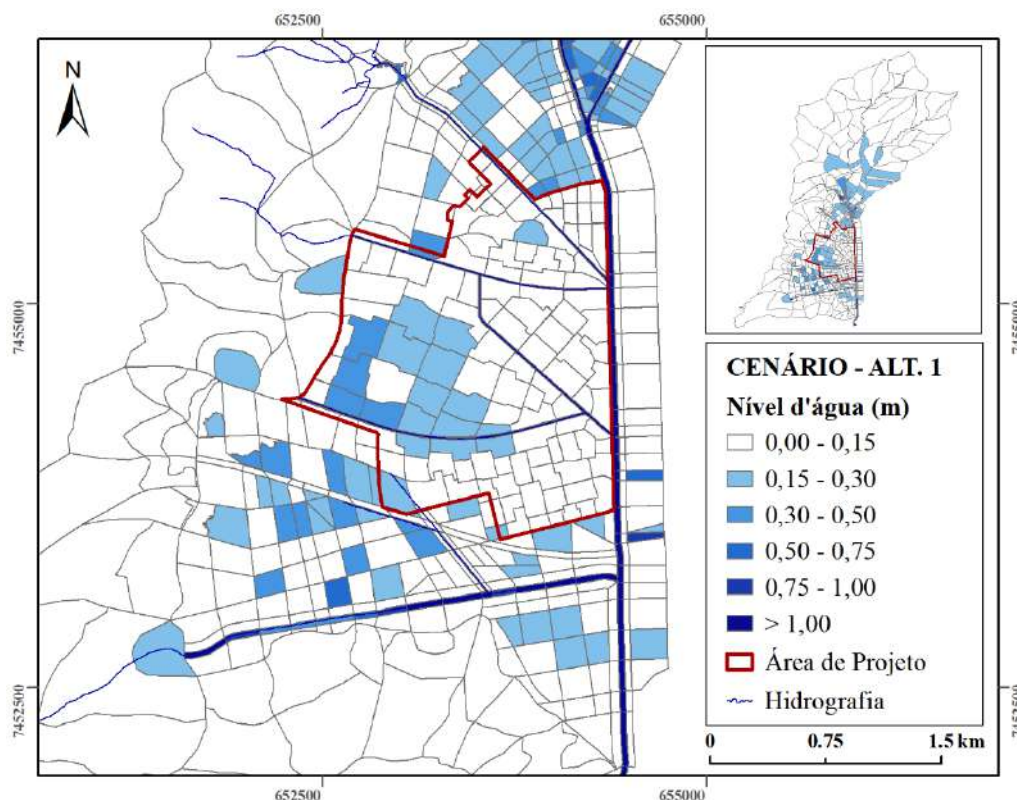


Figura 5.11: Mancha de Inundação – Cenário Disfuncional da Alternativa 1 - PEU das Vargens – Longo Prazo. Elaborado pela autora.

Na Tabela 5.4, são apresentados os volumes de alagamento resultantes na área de interesse e em seu entorno próximo, para cada faixa de nível d'água, tanto para a Alternativa 1 – PEU das Vargens quanto para o seu Cenário Disfuncional. É possível observar que, no Cenário Disfuncional, há um aumento no volume de alagamento das faixas de 0,15 m a 0,30 m e de 0,30 m a 0,50 m, com conseqüente diminuição do volume de alagamento da faixa de 0 a 0,15 m, devido a alagamentos em locais onde antes não ocorriam, como observado na comparação entre a Figura 5.10 e a Figura 5.11.

Tabela 5.4: Volumes de Alagamento por Faixa de Nível d'água – Alternativa 1 – PEU das Vargens e Cenário Disfuncional da Alternativa 1

Nível d'água (m)	Volume de Alagamento (m ³)	
	Alternativa 1 - PEU das Vargens	Cenário Disfuncional - Alternativa 1
0 - 0,15	768.145,5	764.020,6
0,15 - 0,30	650.658,6	787.930,7
0,30 - 0,50	279.669,1	356.029,3
0,50 - 0,75	52.773,0	52.773,0
0,75 - 1,0	9.303,4	9.303,4
> 1,0	0	0

A Figura 5.12 e a Figura 5.13 apresentam, respectivamente, as manchas de inundação resultantes para a Alternativa de Urbanização 2 - Parques Lineares e para a Alternativa de Urbanização 3 - Parques com Bacias de Retenção. Assim como a Alternativa 1, não há lâminas de alagamento superiores a 15cm na área de intervenção, por se tratarem de alternativas de projeto, exceto em locais previstos para parques ou corredores verdes ou, ainda, em locais sem ocupação. Também é possível observar pequena melhora nas áreas destacadas na Situação Atual.

Na Tabela 5.5, são apresentados os volumes de alagamento resultantes na área de interesse e em seu entorno próximo, para cada faixa de nível d'água, tanto para a Alternativa 2 quanto para a Alternativa 3. É possível observar que, embora na área de projeto de ambas as alternativas haja alagamento acima de 0,15 m somente nos locais previstos, o impacto das alternativas em seu entorno se mostra diferente em termos de volumes de alagamento, o que também pode ser visualizado nas manchas de inundação.

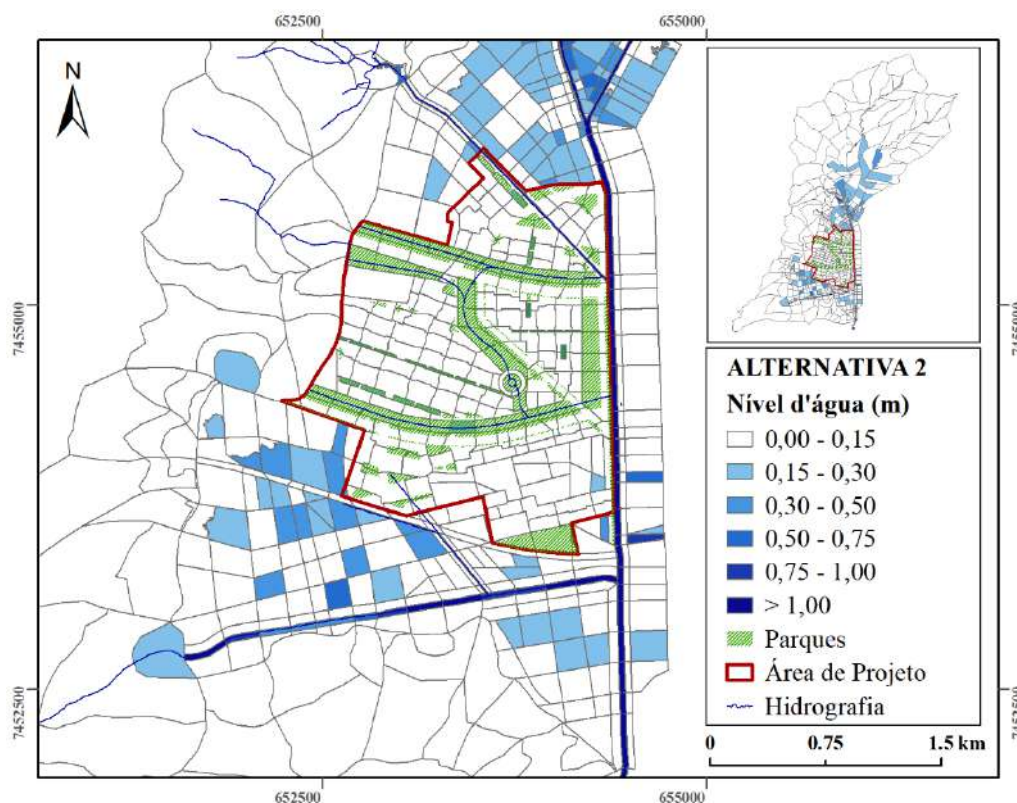


Figura 5.12: Mancha de Inundação – Alternativa 2 - Parques Lineares. Elaborado pela autora.

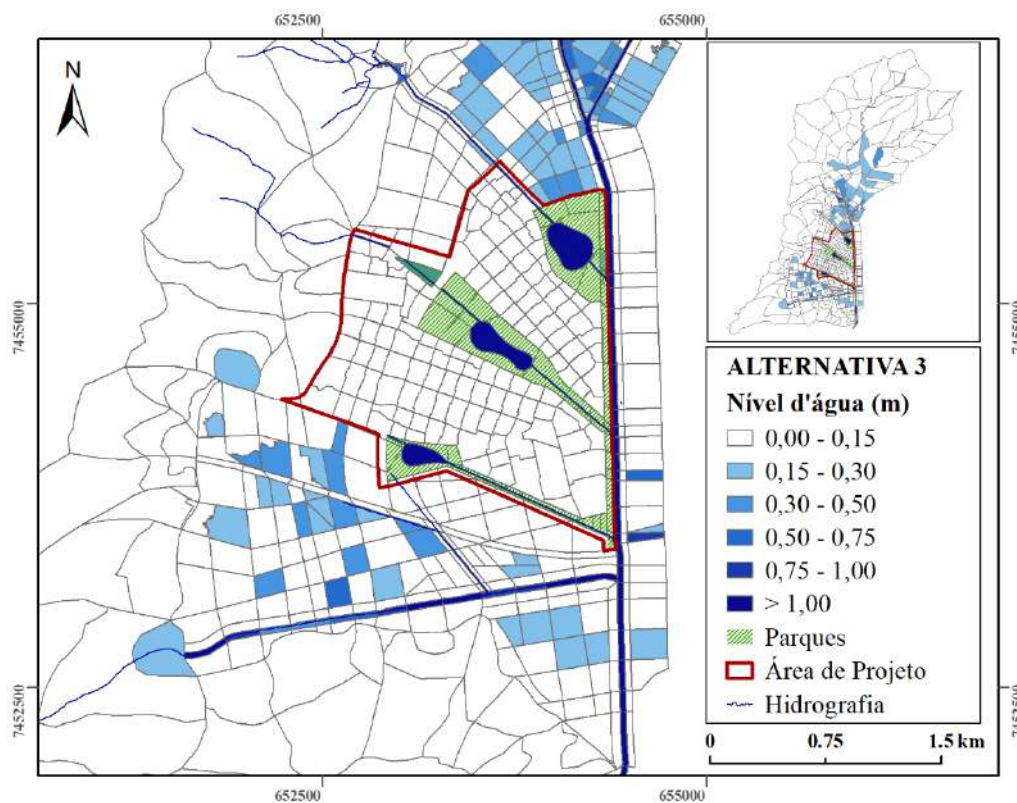


Figura 5.13: Mancha de Inundação – Alternativa 3 - Parques com Bacias de Retenção. Elaborado pela autora.

Tabela 5.5: Volumes de Alagamento por Faixa de Nível d'água – Alternativa 2 – Parques Lineares e Alternativa 3 – Parques com Bacias de Retenção

Nível d'água (m)	Volume de Alagamento (m ³)	
	Alternativa 2 - Parques Lineares	Alternativa 3 - Parques com Bacias de Retenção
0 - 0,15	719.373,9	751.456,0
0,15 - 0,30	583.265,5	559.026,0
0,30 - 0,50	293.653,2	309.461,5
0,50 - 0,75	58.379,3	52.937,3
0,75 - 1,0	9.303,4	9.303,4
> 1,0	0	0

É importante ressaltar que, diferente da Alternativa 1, as Alternativas 2 e 3 já assumem um caráter urbano, com lotes menores e densidades de ocupação maiores, com transferência de áreas permeáveis de dentro dos lotes (portanto, fora da responsabilidade privada) para o uso público, facilitando na manutenção das condições de permeabilidade previstas. Além disso, a preservação da faixa marginal de proteção dos rios e canais que cortam a área de projeto auxiliam no armazenamento de água e comportam as cheias dos rios, sendo a limpeza dos canais suficiente nas alternativas, sem a necessidade, portanto, da dragagem adicional dos canais. Desta forma, não há justificativa imediata para a simulação de um cenário disfuncional das Alternativas 2 e 3.

Com isso, após a análise dos resultados obtidos com a modelagem matemática, optou-se por descartar a Alternativa de Urbanização 1 - PEU das Vargens dentre as opções de projeto. A alternativa se mostrou passível de insustentabilidade no longo prazo, gerando custos adicionais de manutenção e aumento das lâminas de alagamento que podem prejudicar a população local.

5.2. Índice de Resiliência a Inundações (IRES)

Para a aplicação do IRES na Situação Atual, foi necessário compatibilizar as células utilizadas na modelagem, conforme apresentado na Seção 1, com os setores censitários do IBGE (Figura 5.14).

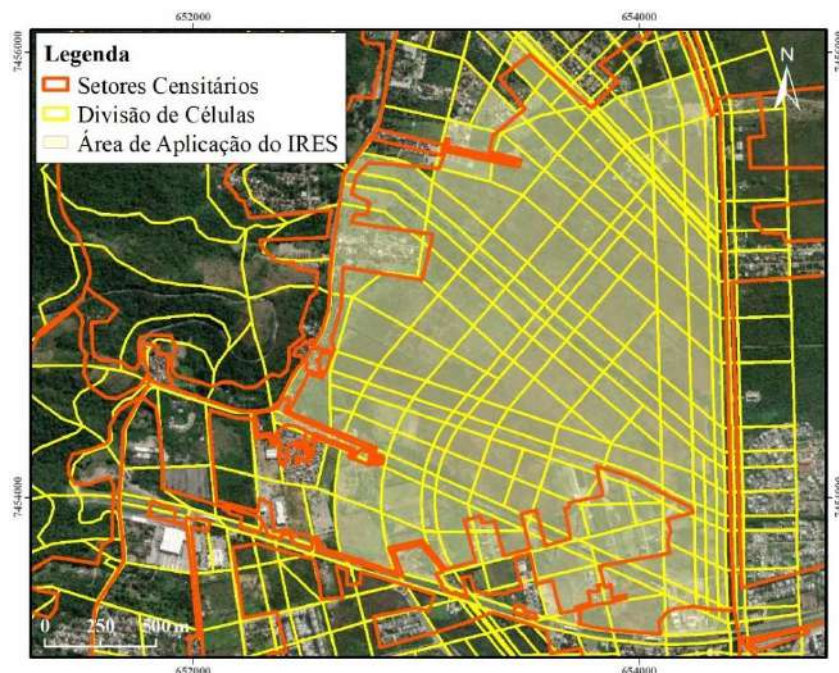


Figura 5.14: Compatibilização entre células utilizadas na modelagem da Situação Atual e setores censitários do IBGE (2010).

Como os setores censitários na área de aplicação do IRES abrangem uma grande área não ocupada, a fim de realizar uma representação mais próxima da realidade, foi feita uma análise visual da área construída a partir de imagens do Google Earth. De posse dos valores de área construída, atribuiu-se a cada célula um peso para a utilização dos dados do Censo 2010 do IBGE acerca dos domicílios e da população. Este peso foi calculado dividindo-se a área construída da célula em questão pela soma de áreas construídas do setor censitário a que ela pertence. Além disso, foi aplicada uma taxa aos valores obtidos por célula (141%) considerando o crescimento da população de 2010 para 2019, segundo informações obtidas no IBGE, a fim de atualizar o número de domicílios e de moradores para uma situação mais recente. Essa metodologia foi aproveitada para todos os indicadores/subíndices que utilizaram dados do Censo de 2010 do IBGE.

5.2.1. Subíndice Exposição

O subíndice Exposição utiliza como dados básicos a densidade de domicílios obtida por meio do Censo do IBGE (2010). Na Situação Atual, a densidade de domicílios foi calculada através da multiplicação do peso atribuído a cada célula pelo total de domicílios particulares permanentes do respectivo setor censitário e também pela taxa de crescimento, sendo o valor obtido dividido pela área da célula em análise.

Para o cálculo da densidade de domicílios nas alternativas de projeto, foi necessário, primeiramente, estimar o número total de domicílios que cada projeto comportaria em sua situação de saturação (quantidade máxima de domicílios possível), considerando o aproveitamento máximo dos pisos segundo o setor padrão utilizado do PEU das Vargens.

Para a quantificação do número de domicílios, em primeiro lugar, a área total loteada foi multiplicada pela taxa de ocupação correspondente àquela prevista para o Setor E (60%) na Lei Complementar N° 104/2009 (RIO DE JANEIRO, 2009), utilizado como padrão, resultando na projeção da área edificada. Essa projeção da área edificada foi então multiplicada pelo índice de aproveitamento do terreno (IAT) do mesmo setor (igual a 2,25) a fim de obter a área total edificada para cada projeto. Para, finalmente, chegar ao número total de domicílios em cada projeto, foi calculado um percentual de distribuição de classes sociais na Situação Atual, a partir dos dados dos setores censitários na região de estudo, aplicando-o à área total edificada, resultando na área total edificada ocupada por cada classe social separadamente. Essa estimativa prevê a diversificação de classes

sociais na área de intervenção a partir da consideração de que a proporção existente atualmente se manteria nas alternativas de projeto.

Dividindo-se a área total edificada para cada classe social pela área real de domicílio segundo o padrão de acabamento da ABNT (2006), foi possível obter o número de domicílios destinado a cada classe social. O número total de domicílios em cada projeto foi então calculado somando os números de domicílios resultantes da etapa anterior. A Figura 5.15 sintetiza o processo descrito para a obtenção do número total de domicílios nas alternativas de urbanização.

Ressalta-se que a estimativa do número total de domicílios desconsiderou a classe D por tratar-se de uma proposta formal, em que não se objetiva a manutenção de condições de moradias consideradas não ideais, com uma área que não corresponde e que não comporta a quantidade média de moradores por domicílio da área do entorno.

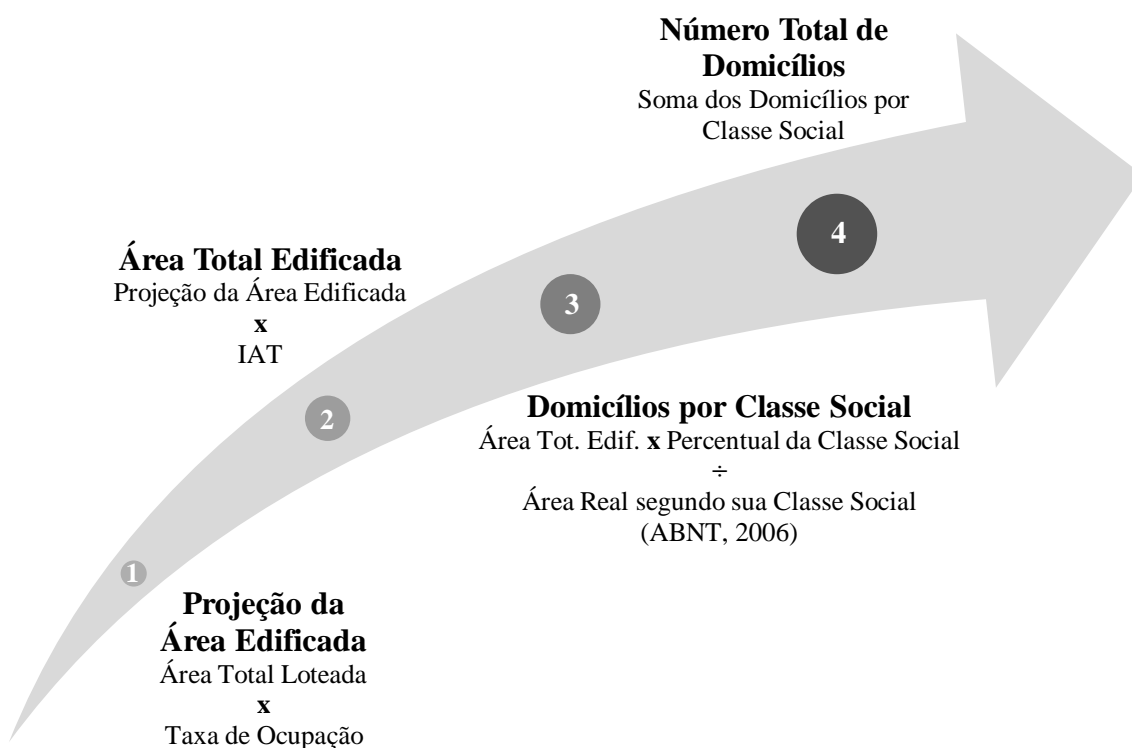


Figura 5.15: Processo de Quantificação do Número Total de Domicílios para as Alternativas de Urbanização Consideradas.

Para a distribuição dos domicílios pelas células de escoamento de cada alternativa, foi atribuído um peso a cada célula. Este peso foi calculado dividindo-se a nova área construída da célula em questão pela área total loteada de cada projeto. Também foi feita uma compatibilização entre os domicílios existentes na Situação Atual e os novos previstos em cada alternativa. Desta forma, foi possível calcular a densidade de domicílios de cada alternativa de urbanização, dividindo-se o número total de domicílios por célula pela sua respectiva área.

A densidade de domicílios de referência utilizada para a Situação Atual e para as alternativas de projeto, representativa do percentil de 75% para a cidade do Rio de Janeiro, e obtida pelo cálculo da densidade de domicílios por setor censitário do município, foi de 12.537 domicílios/km². Para valores de densidade de domicílios maior que a de referência, foi atribuído valor 1,0 ao subíndice.

5.2.2. Subíndice Susceptibilidade

Para o cálculo do subíndice Susceptibilidade na Situação Atual, foram utilizados os dados “Domicílios particulares permanentes do tipo casa”, “Domicílios particulares permanentes do tipo casa de vila ou em condomínio” e “Domicílios particulares permanentes do tipo apartamento” do Censo 2010, por setor censitário. Os domicílios diretamente susceptíveis às inundações são as casas e os térreos dos edifícios. Desta forma, foi necessário buscar o gabarito máximo da região estudada a fim de se obter o número de domicílios localizados nos térreos dos domicílios do tipo apartamento.

De acordo com a Lei Complementar Nº 104/2009, que institui o Plano de Estruturação Urbana das Vargens (RIO DE JANEIRO, 2009), a área de interesse está inserida nos Setores E e G, onde o gabarito máximo é de 4 pavimentos e/ou 14m no Setor E e 2 pavimentos e/ou 8m ou 4 pavimentos e/ou 15m no Setor G, dependendo da zona de ocupação.

Para a avaliação da susceptibilidade nas alternativas de projeto, considerou-se como gabarito máximo 4 pavimentos, segundo o indicado no PEU das Vargens para o Setor E, considerado como padrão para toda a área de intervenção. Ressalta-se que não foi realizado um estudo de distribuição de gabaritos na área de interesse. Para fins de estimativa, considerou-se o aproveitamento máximo dos pavimentos, conforme o setor de referência. Para encontrar o número total de casas e apartamentos nos pavimentos térreos, as residências existentes na Situação Atual foram somadas às novas previstas em cada alternativa.

5.2.3. Subíndice Valor Relativo

Para o cálculo do subíndice Valor Relativo, foi necessário estimar o Custo de Danos à Edificação (CRE), o Custo de Danos ao Conteúdo das Residências (CRC) e a Capacidade de Recuperação da população atingida pelo evento de inundação (CR). A seguir, são detalhados os processos de obtenção e estimativa de dados necessários para cada um dos indicadores citados.

Para obter o CRE, primeiramente foi necessária a classificação da população quanto à classe social a partir da renda familiar média, feita com base nos dados da ABEP (2012), que tem como ano base 2010 (Tabela 5.6). Optou-se por utilizar como referência o ano de 2010, visto que qualquer atualização do valor da renda obtida pelo Censo do IBGE (2010) pudesse distorcer a classificação real. Assim, a partir dos dados da ABEP (2012), foram calculados os limites de renda associados a cada classe social, apresentados também na Tabela 5.6, para a classificação e aplicação dos indicadores ao caso de estudo.

Tabela 5.6: Classe Social - ABEP (2012) - ano base 2010

Classificação econômica (Baseado em ABEP, 2012 - ano base 2010)		Faixas de Renda Familiar Utilizada para Classificação	
Classe	Renda Média Familiar Mensal (R\$)	Classe	Renda familiar (R\$)
A	12926,00	A	> 8672,00
B1	4418,00	B	Entre 8672,00 e 2053,00
B2	2565,00		
C1	1541,00	C	Entre 2053,00 e 869,00
C2	1024,00		
D	714,00	D	< 869,00

Destaca-se que, nas alternativas de projeto, foi necessário definir as áreas destinadas a cada classe social para fins de aplicação dos indicadores. Ressalta-se que representa uma estimativa e que não foi realizado nenhum estudo específico. Considerando que os projetos seriam destinados às classes A, B e C, foi calculada a proporção de cada classe na região da bacia hidrográfica estudada na Situação Atual, assumindo-se que essa proporção se manteria na área de projeto. A partir da estimativa das áreas destinadas a cada classe social (Tabela 5.7), foi feita a distribuição espacial, considerando a ocupação da Classe A nas áreas centrais e mais próximas aos parques propostos (áreas mais valorizadas), da Classe B nas áreas frontais aos parques propostos e ao longo das vias principais e da Classe C nas áreas internas e periféricas do projeto (áreas menos valorizadas). A distribuição utilizada para a Alternativa de Urbanização 2 - Parques Lineares e para a Alternativa de Urbanização 3 - Parques com bacias de Retenção é apresentada na Figura 5.16 e na Figura 5.17, respectivamente.

Tabela 5.7: Porcentagem de Área do Projeto Destinada a Cada Classe Social – Estimativa com base nos dados do Censo do IBGE (2010) para a área de estudo

Classe Social	Porcentagem de Área do Projeto Destinada
A	6,3%
B	47,4%
C	46,3%

Para cada classe social, foi atribuído o valor de renda familiar médio conforme apresentado na Tabela 5.6. No entanto, como a unidade de análise neste estudo é a célula de escoamento e não necessariamente cada célula abrangeria uma única classe social, a renda familiar média por célula foi definida a partir de uma média ponderada pela área destinada a cada classe social em cada célula. Assim, foi possível definir uma classe social por célula a partir da renda média ponderada.

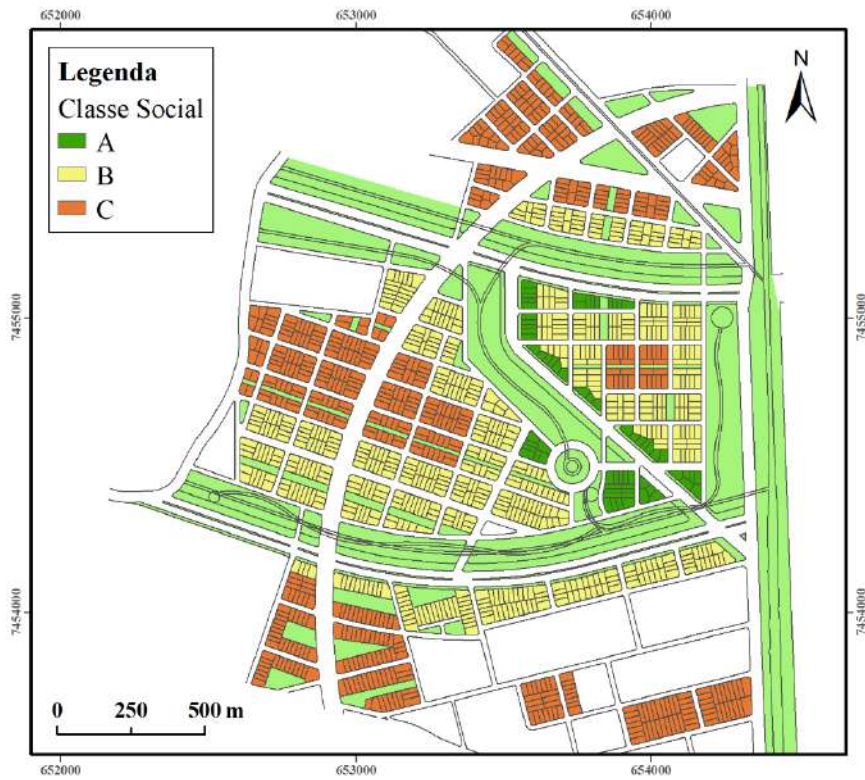


Figura 5.16: Distribuição de Classe Social: Alternativa 2 - Parques Lineares

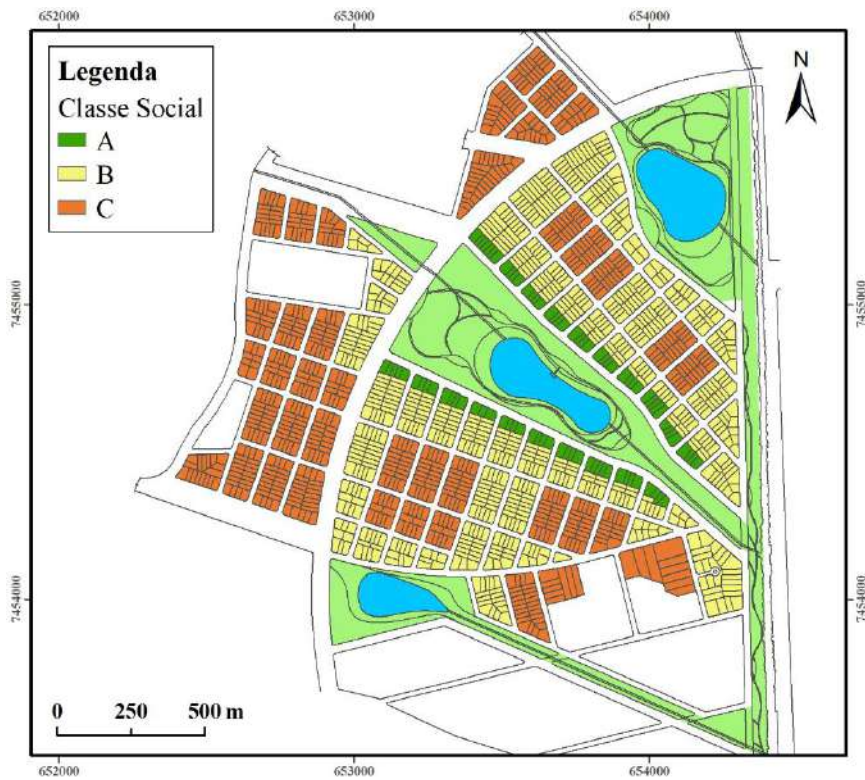


Figura 5.17: Distribuição de Classe Social: Alternativa 3 - Parques com Bacias de Retenção

Os dados acerca do Custo Unitário Básico das Edificações foram obtidos em SINDUSCON-RIO (2010) e as áreas reais das residências a partir de sua classificação em Residência Popular, associada a famílias de classes sociais D e E, Residência Padrão Baixo, associada a famílias de classe social C, Residência Padrão Normal, associada a famílias de classe social B, e Residência Padrão Alto, associada a famílias de classe A, obtidas em ABNT (2006). Os dados são apresentados na Tabela 5.8.

Tabela 5.8: Áreas Reais (m²) e CUB (R\$/m²)

Classificação econômica (Baseado em ABEP, 2012 - ano base 2010)		Áreas (ABNT, 2006)		SINDUSCON-RIO (2010)
Grupo	Renda familiar (R\$)	Tipo de residência Unifamiliar	Área real (m ²)	CUB Valor R\$/m ²
E D	< 869,00	Residência Popular (RP1Q)	39,56	892,81
C	Entre 869,00 e 2053,00	Residência Padrão Baixo (R1-B)	58,64	885,98
B	Entre 2053,00 e 8672,00	Residência Padrão Normal (R1-N)	106,44	1051,23
A	> 8672,00	Residência Padrão Alto (R1-A)	224,82	1327,51

Para o cálculo da Porcentagem da Edificação Danificada (PED), foram utilizados como referência os dados apresentados na Tabela 5.9, adaptados de Salgado (1995). Com a média entre os valores de porcentagem para cada altura de inundação, foi feita uma interpolação polinomial e obtida uma equação (Figura 5.18), utilizada para o cálculo da PED para cada altura de inundação obtida no processo de modelagem.

Tabela 5.9: Porcentagem da Edificação Danificada (Adaptado de Salgado, 1995)

Padrão de Acabamento	Altura de inundação em (m)										
	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,75	3,25
Alto	0	0,09	0,16	0,17	0,17	0,19	0,19	0,20	0,21	0,22	0,24
Médio	0	0,06	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,23
Baixo	0	0,04	0,13	0,14	0,14	0,16	0,17	0,18	0,18	0,19	0,22
Média	0	0,06	0,14	0,15	0,15	0,17	0,18	0,19	0,19	0,20	0,23

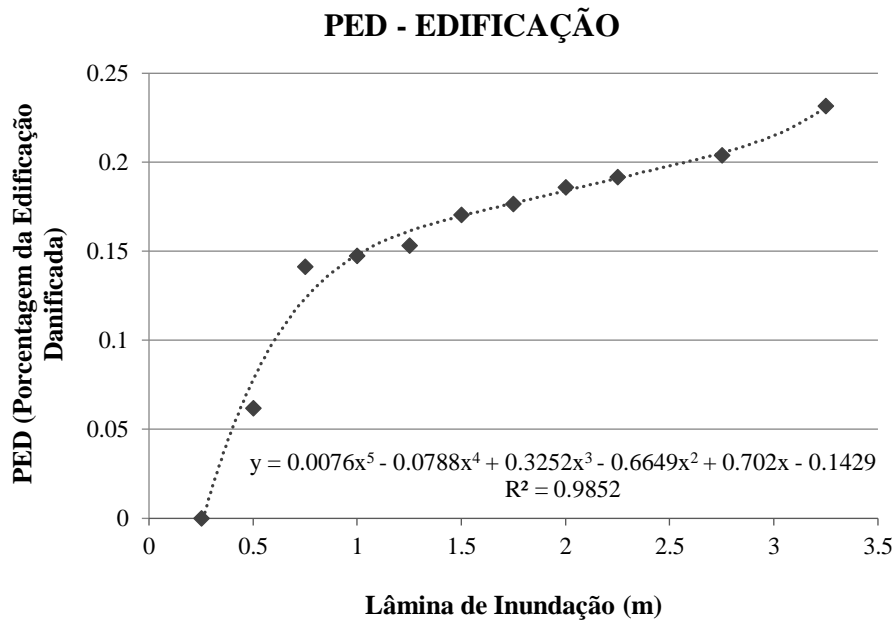


Figura 5.18: Porcentagem da Edificação Danificada (PED)

O CRC foi obtido, primeiramente, calculando-se o Custo Unitário do Conteúdo a partir de ajuste dos valores citados por Salgado (1995). Como os valores são antigos, tornou-se necessário fazer uma correção monetária para o ano de referência a partir do Índice de Preços ao Consumidor Amplo-Especial (IPCA-E). As áreas utilizadas foram as descritas em ABNT (2006), conforme citado anteriormente. Os resultados são apresentados na Tabela 5.10.

Tabela 5.10: CUB do Conteúdo (R\$/m²) em 1995 e seu valor corrigido pelo IPCA-E para 2010

Classe social	Área Real (m ²)	CUB 1995 (R\$/m ²)	IPCA-E	Valor Atual (R\$/m ²)
A	224,82	71,86	3,00	215,52
B	106,44	62,99	3,00	188,92
C	58,64	36,30	3,00	108,87

Em seguida, para o cálculo da Porcentagem do Conteúdo Danificado (PCD), foram utilizados como referência os dados apresentados na Tabela 5.11, adaptados de Salgado (1995). Com a média entre os valores de porcentagem para cada altura de inundação, foi feita uma interpolação polinomial e obtida uma equação (Figura 5.19), utilizada para o cálculo da PCD para cada altura de inundação obtida no processo de modelagem.

Tabela 5.11: Porcentagem do Conteúdo Danificado (Adaptado de Salgado, 1995)

Padrão de Acabamento	Altura de inundação em (m)										
	0,50	0,75	1,00	1,25	1,5	1,75	2,00	2,25	2,50	3,00	3,50
Alto	0	0,28	0,36	0,38	0,61	0,62	0,65	0,69	0,74	0,75	0,77
Médio	0	0,31	0,39	0,39	0,57	0,57	0,61	0,65	0,73	0,73	0,74
Baixo	0	0,39	0,50	0,50	0,70	0,71	0,73	0,81	0,81	0,81	0,82
Média	0	0,33	0,42	0,42	0,63	0,63	0,66	0,72	0,76	0,76	0,78

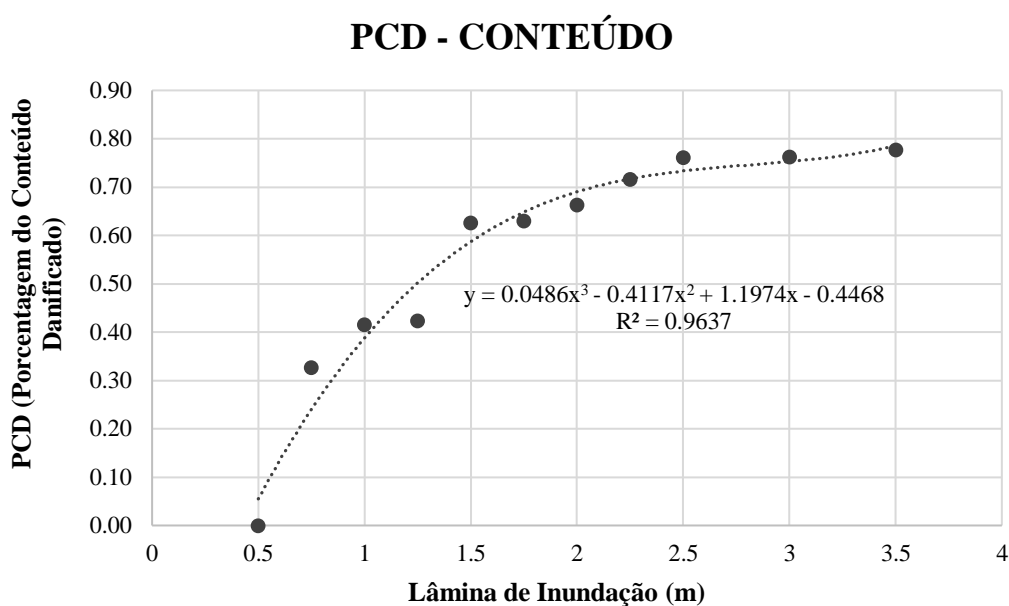


Figura 5.19: Porcentagem do Conteúdo Danificado (PCD)

Por fim, estimou-se a capacidade de recuperação das famílias afetadas pelos eventos de inundação, assim como apresentado no item 3.3.2.3, exceto a normalização.

Destaca-se que a utilização do valor de 30% da renda domiciliar foi definida segundo um limite de crédito, que especifica um percentual limite de comprometimento da renda mensal. No entanto, para as classes D e E, a renda está integralmente comprometida com as necessidades básicas, o que faria a consideração não ser válida nesses casos (GUIMARÃES, 2016).

Já a renda disponível, é calculada como sendo a diferença entre as rendas domiciliar, segundo informações do Censo do IBGE, e a mínima necessária. A renda mínima necessária corresponde à opinião do informante sobre o valor da renda mensal familiar mínima necessária para suprir as necessidades de um mês inteiro (ROSA, 2015). Desta forma, é assumido que o custo de vida de uma família é igual à renda mínima necessária. Os valores de referência utilizados são apresentados na Tabela 5.12. Destaca-se que para a atualização da renda mínima necessária utilizada por Rosa (2015), foi calculada uma taxa referente à renda média domiciliar do mesmo ano e aplicada aos seus valores para o ano de referência de 2010.

Tabela 5.12: Valores médios de renda domiciliar e renda mínima necessária por classe social
(Adaptado de Guimarães (2016) e Rosa (2015))

Classe Social	Renda Média Familiar Mensal	Renda Mínima Necessária Média
A	R\$ 12926,00	R\$ 8034,00
B1	R\$ 4418,00	R\$ 3199,00
B2	R\$ 2565,00	R\$ 1949,00
C1	R\$ 1541,00	R\$ 1334,00
C2	R\$ 1024,00	R\$ 1014,00
DE	R\$ 714,00	R\$ 807,00

5.2.4. Subíndices Perigo e Fator de Permanência

Os subíndices Perigo e Fator de Permanência utilizam como informação básica para o seu cálculo os resultados obtidos por meio da modelagem matemática da Situação Atual e das alternativas de projeto consideradas.

O cálculo do subíndice Perigo foi realizado dividindo-se a lâmina de inundação máxima obtida para cada célula pela altura de referência igual a 1,30m. É importante ressaltar que, para alturas de inundação inferiores a 0,15 m, considerou-se que não há perigo para a população ou para o tráfego da cidade. Além disso, para lâminas maiores que 1,30 m, atribuiu-se valor máximo ao subíndice.

Já o cálculo do subíndice Fator de Permanência, utiliza os resultados de lâmina de inundação a cada intervalo de tempo do modelo matemático, a fim de associar as alturas de inundação com o seu tempo de permanência em cada célula de modelagem.

5.2.5. Resultados

Na Figura 5.20, são apresentados os valores médios obtidos com a aplicação do IRES para a área de intervenção, para o evento de projeto, com 25 anos de tempo de recorrência. É possível observar que ambas as alternativas consideradas são capazes de manter uma resiliência máxima, superando, inclusive, a Situação Atual, por corrigir locais hoje com falhas nos sistemas de drenagem. Nas alternativas, embora a exposição seja aumentada com a urbanização proposta, o perigo é reduzido a partir da manutenção de lâminas de inundação baixas, mesmo com o aumento das áreas impermeáveis, justificando os valores encontrados.

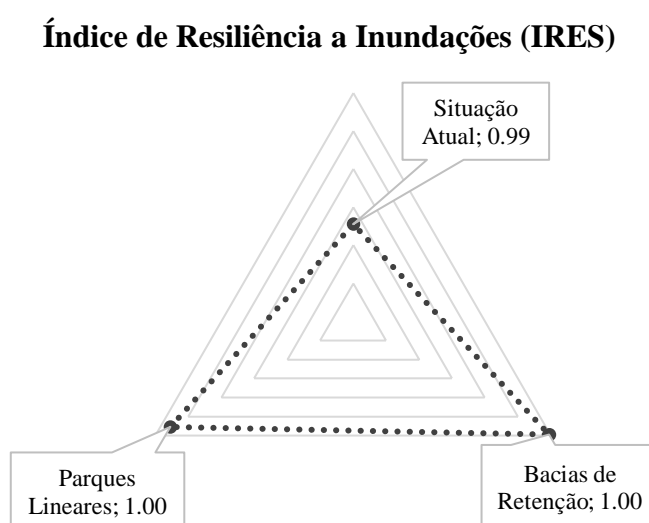


Figura 5.20: Resultados Médios da Aplicação do IRES para cada Alternativa

Para avaliar a distribuição espacial dos valores de resiliência, algumas faixas de valores foram definidas para uma classificação entre resiliência crítica, baixa, média, média-alta e alta, conforme apresentado na Tabela 5.13. Como esperado, na área de intervenção, não foram obtidos valores de resiliência crítica, baixa e média. Nas alternativas de urbanização, foram obtidos valores de resiliência alta em toda a área analisada (Figura 5.21), indicando, apenas pela avaliação dos resultados obtidos com a aplicação do IRES, que ambas as alternativas são equivalentes em termos de resiliência a inundações.

Tabela 5.13: Faixas de Resiliência - IRES

Resiliência Crítica	0,00 a 0,20
Resiliência Baixa	0,20 a 0,40
Resiliência Média	0,40 a 0,60
Resiliência Média-Alta	0,60 a 0,80
Resiliência Alta	0,80 a 1,00

COMPARAÇÃO DE RESULTADOS - IRES

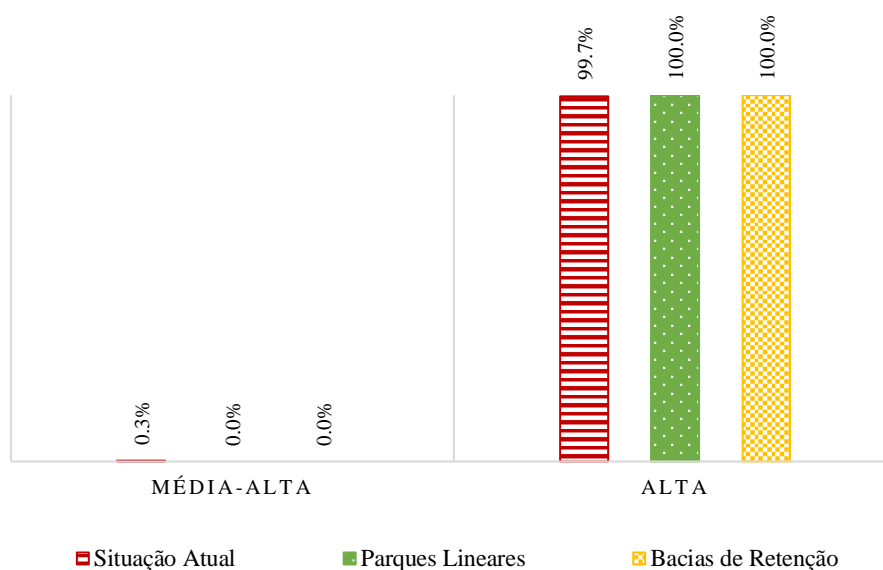


Figura 5.21: Porcentagens de Área Correspondentes às Faixas de Resiliência

5.3.Índice de Vulnerabilidade a Inundações (IVI)

Nesta seção, inicialmente, é descrito o processo de aplicação do IVI e todas as hipóteses utilizadas para a obtenção e estimativa dos dados necessários para o cálculo de cada subíndice, para cada componente de vulnerabilidade. Todo o processo de obtenção de informação acerca dos domicílios e dos moradores tanto para a Situação Atual quanto das alternativas de projeto é o mesmo descrito no item 5.2, necessário também para a aplicação do IRES. Por fim, são apresentados e discutidos os resultados obtidos.

5.3.1. IVI – Componente de Vulnerabilidade Social

As hipóteses e os procedimentos utilizados para a aplicação do índice em seu componente social são apresentados nos itens 5.3.1.1, 5.3.1.2 e 5.3.1.3.

5.3.1.1.Subíndice Exposição

O subíndice Exposição utiliza como dados básicos a densidade populacional obtida por meio do Censo do IBGE (2010). Na Situação Atual, a densidade populacional foi calculada a partir da multiplicação do peso atribuído a cada célula pelo total de moradores em domicílios particulares permanentes do respectivo setor censitário e também pela taxa de crescimento, sendo o valor obtido dividido pela área da célula em análise.

Para o cálculo da densidade populacional nas alternativas de projeto, foi necessário fazer uma estimativa do número total pessoas que cada projeto comportaria em sua situação de saturação, considerando o aproveitamento máximo dos pisos segundo o setor padrão utilizado do PEU das Vargens. O número total de pessoas para cada projeto foi calculado multiplicando-se a média de moradores por domicílio dos setores censitários inseridos na bacia pelo número total de domicílios respectivo, obtido segundo metodologia apresentada no item 5.2.1. O mesmo peso utilizado para distribuir os domicílios pelas células de escoamento na aplicação do IRES foi utilizado para a mesma finalidade considerando o número de pessoas.

Também foi feita uma compatibilização entre os moradores existentes na Situação Atual e os novos previstos em cada alternativa. Desta forma, foi possível calcular a densidade populacional de cada alternativa de urbanização, dividindo-se o número total de pessoas por célula pela sua respectiva área.

A densidade populacional de referência utilizada para a Situação Atual e para as alternativas de projeto, representativa do percentil de 75% para a cidade do Rio de Janeiro, e obtida pelo cálculo da densidade populacional por setor censitário do município, foi de 35.316 hab/km². Para valores de densidade populacional maior que a de referência, foi atribuído valor 1,0 ao subíndice.

5.3.1.2.Subíndice Susceptibilidade

Para o cálculo do subíndice Susceptibilidade na Situação Atual, foi utilizado o arquivo *raster* de declividade para a cidade do Rio de Janeiro, adaptado de IPP (2013). Com o uso do *software* ArcGis, foi calculada uma declividade média para cada célula de modelagem considerada na aplicação do índice.

Para as alternativas de projeto, por haver modificação da superfície original do terreno com a implantação de aterros para atingir a cota mínima de ocupação de 2,0m, foram utilizados dados referentes às ligações entre células da modelagem hidrodinâmica. Com as cotas de cada célula e a distância entre centros, foi calculada a declividade entre cada duas células e, por fim, feita uma média entre as declividades obtidas para cada uma. Com os valores de declividade por célula, prosseguiu-se para a normalização a fim de obter o valor final do subíndice.

5.3.1.3.Subíndice Resiliência

Para o cálculo do subíndice Resiliência na Situação Atual, foram utilizados os dados do Censo 2010, por setor censitário, apresentados na Tabela 5.14. Para a obtenção do número de pessoas alfabetizadas com 12 anos ou mais, a soma dos dados de pessoas alfabetizadas de 5 a 11 anos de idade foi subtraída do dado “Pessoas alfabetizadas com 5 ou mais anos de idade”. Após a distribuição das informações de pessoas alfabetizadas com 12 anos ou mais e do total de moradores em domicílios particulares permanentes nas células, segundo metodologia apresentada no item 5.2, o subíndice foi calculado.

Tabela 5.14: Variáveis utilizadas para o cálculo do indicador de alfabetização

Variável	
Pessoas alfabetizadas com 5 ou mais anos de idade	
Pessoas alfabetizadas com 5 anos de idade	
Pessoas alfabetizadas com 6 anos de idade	
Pessoas alfabetizadas com 7 anos de idade	
Pessoas alfabetizadas com 8 anos de idade	Pessoas alfabetizadas com menos de 12 anos
Pessoas alfabetizadas com 8 anos de idade	
Pessoas alfabetizadas com 9 anos de idade	
Pessoas alfabetizadas com 10 anos de idade	
Pessoas alfabetizadas com 11 anos de idade	
Moradores em domicílios particulares permanentes	

Nas alternativas de projeto, buscou-se relacionar a taxa de alfabetização com a classe social. A partir de dados do Data Rio (2018) de pessoas de 10 anos ou mais de idade, por classe de renda nominal mensal e condição de alfabetização, baseados no Censo de 2010 para a cidade do Rio de Janeiro, verificou-se uma estimativa de 100% de alfabetização para as classes A, B e C. Como nas alternativas de projeto foram consideradas somente essas classes, foi atribuído valor 1 para o indicador de alfabetização. Também foi feita uma compatibilização entre a taxa de alfabetização na Situação Atual e a nova prevista em cada alternativa.

5.3.2. IVI – Componente de Vulnerabilidade Econômica e Infraestrutural

As hipóteses e os procedimentos utilizados para a aplicação do índice em seu componente econômico e infraestrutural são apresentados nos itens 5.3.2.1, 5.3.2.2 e 5.3.2.3.

5.3.2.1. Subíndice Exposição

A metodologia de cálculo do subíndice Exposição tanto para a Situação Atual quanto para as alternativas de projeto é a mesma utilizada no subíndice homônimo do IRES, apresentada no item 5.2.1.

5.3.2.2. Subíndice Susceptibilidade

Para o cálculo do subíndice Susceptibilidade na Situação Atual, foram utilizados os dados do Censo 2010, por setor censitário, apresentados na Tabela 5.15, acerca das condições de entorno dos domicílios no que diz respeito à iluminação pública, pavimentação, abastecimento de água, esgotamento sanitário e coleta de lixo. Após a distribuição das informações obtidas nas células, segundo metodologia apresentada no item 5.2, o subíndice foi calculado. Cada informação é dividida pelo número total de domicílios particulares permanentes em cada célula e, por meio de um somatório ponderado, é encontrada uma taxa referente às condições de entorno adequadas por célula. Para calcular o subíndice, então, é encontrado o complemento desse valor para determinar uma taxa de condições de entorno inadequadas, associadas a uma maior susceptibilidade.

Tabela 5.15: Variáveis utilizadas para o cálculo do indicador de condições do entorno

Variável	
Domicílios particulares permanentes	
Domicílios particulares permanentes próprios – Existe iluminação pública	Domicílios com iluminação pública
Domicílios particulares permanentes alugados – Existe iluminação pública	
Domicílios particulares permanentes cedidos – Existe iluminação pública	
Domicílios particulares permanentes próprios – Existe pavimentação	
Domicílios particulares permanentes alugados – Existe pavimentação	Domicílios com pavimentação
Domicílios particulares permanentes cedidos – Existe pavimentação	
Domicílios particulares permanentes com abastecimento de água da rede geral	
Domicílios particulares permanentes com banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via rede geral de esgoto ou pluvial	
Domicílios particulares permanentes com lixo coletado	

Para as alternativas de projeto, foi considerado que as condições de entorno dos novos lotes eram adequadas, gerando valor nulo para o subíndice susceptibilidade. Para células que continham urbanização já existente, foi feita uma compatibilização entre os valores por meio de uma média ponderada pelo número de domicílios.

5.3.2.3. Subíndice Resiliência

A metodologia de cálculo para a obtenção da capacidade de recuperação tanto para a Situação Atual quanto para as alternativas de projeto é apresentada no item 5.2.3. Com os resultados obtidos, prosseguiu-se para a sua normalização a fim de encontrar os valores finais do subíndice Resiliência.

5.3.3. IVI – Componente de Vulnerabilidade Ambiental

As hipóteses e os procedimentos utilizados para a aplicação do índice em seu componente ambiental são apresentados nos itens 5.3.3.1, 5.3.3.2 e 5.3.3.3.

5.3.3.1. Subíndice Exposição

Para o cálculo do subíndice Exposição, inicialmente foi definida a área destinada à Faixa Marginal de Proteção (FMP) tanto para a Situação Atual quanto para as alternativas de projeto, segundo o Novo Código Florestal (BRASIL, 2012b). Para cursos d'água com largura de até 10m, maioria no estudo de caso deste trabalho, foi definida uma FMP de 30m. No caso do Canal de Sernambetiba, que possui cerca de 35m de largura na área de aplicação do índice, foi definida uma FMP de 50m.

Posteriormente, uma análise visual da área de FMP foi realizada a fim de delimitar as áreas ocupadas inseridas em seus limites. Considerou-se como ocupação tanto as edificações quanto as vias, que contribuem para perda de área destinada à preservação.

Em seguida, foi feita uma interseção entre a área da FMP e as células, assim como entre as áreas ocupadas na FMP e as células, para obter o valor do subíndice em cada célula, calculado dividindo-se a área ocupada na FMP pela área destinada a ela. Se a célula não está inserida na FMP, é atribuído valor nulo ao subíndice.

5.3.3.2. Subíndice Susceptibilidade

O subíndice Susceptibilidade utiliza os valores de coeficiente de escoamento superficial considerados na modelagem matemática da Situação Atual e das alternativas de projeto, que tiveram como referência a recomendação da Fundação Rio-Águas (2010), órgão responsável pela drenagem urbana na cidade do Rio de Janeiro. Na Tabela 5.16, são apresentados os valores médios utilizados para a área de aplicação do índice.

Tabela 5.16: Coeficientes de Escoamento Superficial Médios Utilizados

	Coeficiente de Escoamento Superficial Médio
Situação Atual	0,33
Alternativa 2 - Parques Lineares	0,50
Alternativa 3 - Parques com Bacias de Retenção	0,60

5.3.3.3.Subíndice Resiliência

Para o cálculo do subíndice Resiliência, foram delimitadas as áreas com capacidade de reservação natural na Situação Atual e nas alternativas de projeto. Na Situação Atual, foram consideradas as áreas sem ocupação na área de aplicação do índice. Na Alternativa de Urbanização 2 - Parques Lineares, foram consideradas as áreas destinadas aos parques, canteiros e corredores verdes entre lotes, como ilustrado na Figura 5.22. Na Alternativa de Urbanização 3 - Parques com Bacias de Retenção, foram consideradas as áreas destinadas aos parques e às bacias de retenção, como ilustrado na Figura 5.23. Os valores totais de área obtidos para a Situação Atual e para as alternativas de projeto são apresentados na Tabela 5.17.

Em seguida, foi feita uma interseção entre as áreas com possibilidade de reservação natural e as células, tanto para a Situação Atual, quanto para as alternativas de projeto, a fim de calcular a área de reservação natural disponível em cada célula. Para obter o valor final do subíndice, a área calculada foi dividida pela área da célula correspondente.

Tabela 5.17: Total de área com capacidade de reservação natural

	Área de Reservação (m ²)	% Área de Reservação
Situação Atual	3387389,0	87,8%
Alternativa 2 - Parques Lineares	864722,6	22,8%
Alternativa 3 - Parques com Bacias de Retenção	786110,5	24,5%

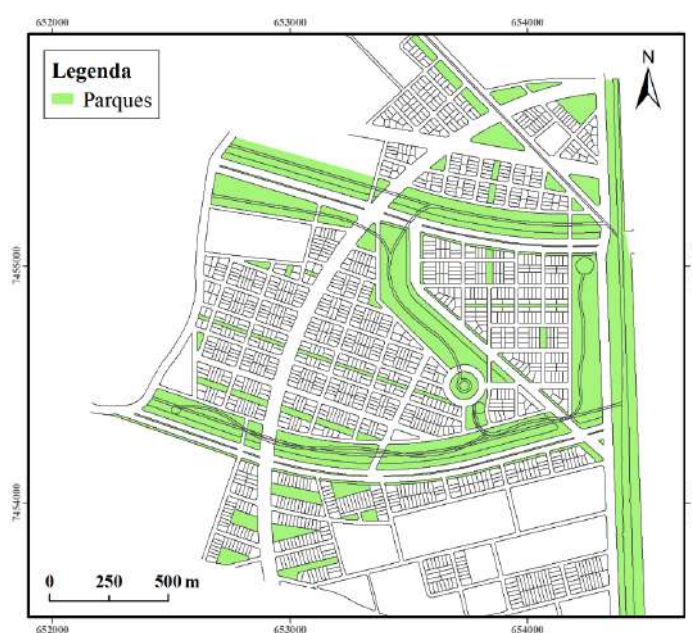


Figura 5.22: Áreas consideradas como Reservação Natural – Alternativa 2 - Parques Lineares



Figura 5.23: Áreas consideradas como Reserva Natural – Alternativa 3 - Parques com Bacias de Retenção

5.3.4. Resultados

Na Figura 5.24, são apresentados os resultados médios obtidos com a aplicação do Índice de Vulnerabilidade a Inundações para a área de intervenção. Pode-se observar que tanto a Alternativa de Urbanização 2 - Parques Lineares quanto a Alternativa de Urbanização 3 - Parques com Bacias de Retenção possuem o mesmo valor de vulnerabilidade, igual a 0,19. Como era esperado, o valor resultante para as alternativas é superior ao obtido para a Situação Atual (0,13), no entanto, não é significativamente maior que o da situação sem ocupação, apesar de agora haver uma alta exposição, tendo em vista que agora há uma área ocupada, diferentemente da Situação Atual, quando não era, verificando o baixo impacto da implantação das alternativas na vulnerabilidade da área de interesse.

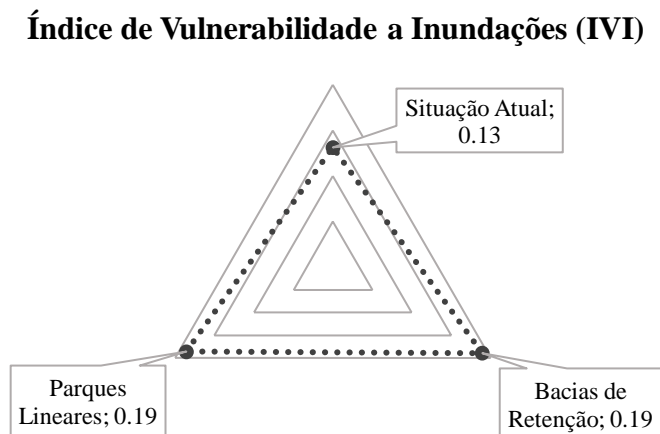


Figura 5.24: Resultados da Aplicação do IVI para cada Alternativa

Ao analisar com maior detalhe os resultados obtidos para a Situação Atual, pode-se observar que a Vulnerabilidade Ambiental é a principal responsável pelo valor do índice, sendo a Vulnerabilidade Social e a Vulnerabilidade Econômica e Infraestrutural menos importantes nessa composição (Figura 5.25). Também na Figura 5.25 podem ser observados os resultados para os cenários com as alternativas de projeto. Uma mudança significativa é que a Vulnerabilidade Social reduz a zero (segundo critérios de medição aqui propostos, lembrando que os indicadores devem ser lidos com cuidado e vulnerabilidade zero é algo não esperado, de fato, quando analisado o problema real em toda a sua complexidade).

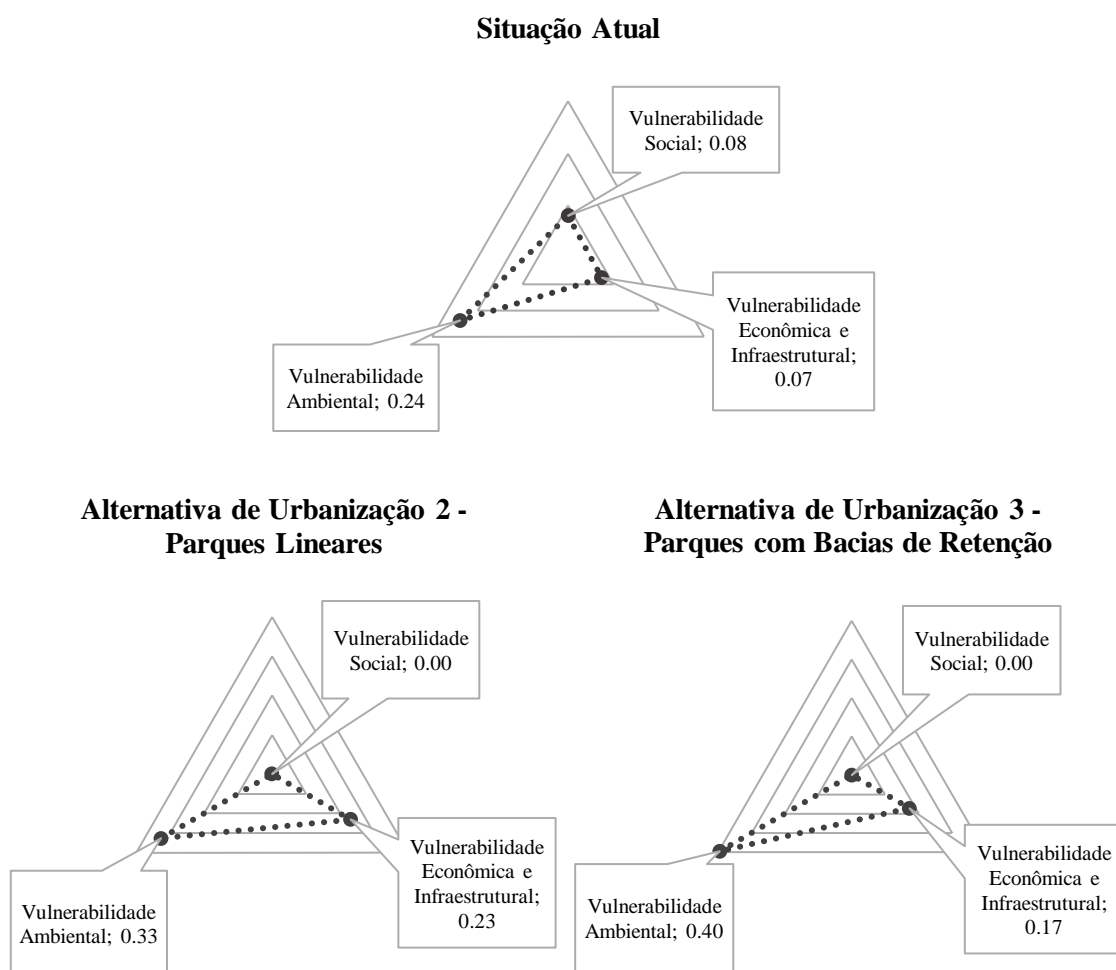


Figura 5.25: Resultados da Aplicação do IVI por Alternativa e por Dimensão

Por fim, é possível analisar também os resultados parciais obtidos para cada dimensão da vulnerabilidade, conforme destacado na Figura 5.26. Quanto à Vulnerabilidade Social, observam-se, como já destacado, valores nulos para as alternativas de projeto e um valor bastante baixo para a Situação Atual. Embora os valores de Densidade Populacional (Exposição) e de Declividade (Susceptibilidade) sejam bastante relevantes quando analisados separadamente, o indicador de Alfabetização, representante da Resiliência, é o responsável pelos baixos valores obtidos nessa dimensão.

No que se refere à Vulnerabilidade Econômica e Infraestrutural, o maior valor obtido foi na Alternativa de Urbanização 2 - Parques Lineares (0,23), em comparação com a Alternativa de Urbanização 3 - Parques com Bacias de Retenção. Pode-se dizer que isso é explicado pelos indicadores Condições do Entorno (Susceptibilidade) e Capacidade de Recuperação (Resiliência). A Alternativa 2 resultou em um maior valor para o primeiro indicador e em um menor valor para o segundo, embora os valores fossem bem próximos para as duas alternativas. Isso pode ser explicado pela distribuição espacial das classes sociais, que é diferente em cada projeto. A Situação Atual apresenta um valor baixo para a vulnerabilidade econômica e infraestrutural devido à baixa densidade de domicílios na área de aplicação do índice, bem como do alto valor do subíndice Resiliência (Capacidade de Recuperação), já que é atribuído valor máximo quando não há ocupação e, na condição existente, há baixa ocupação na área de aplicação do índice.

A respeito da Vulnerabilidade Ambiental, a Alternativa de Urbanização 3 - Parques com Bacias de Retenção é a que possui maior valor nessa dimensão. Isso é explicado pelos indicadores Ocupação na FMP (Exposição) e Uso do Solo (Susceptibilidade), que, por não terem a mesma abrangência espacial da Alternativa de Urbanização 2 - Parques Lineares, acabam produzindo uma maior vulnerabilidade para a Alternativa 3 - Parques com Bacias de Retenção, na comparação direta das duas alternativas. A Situação Atual apresenta uma vulnerabilidade ambiental menor do que as alternativas de projeto, devido à sua baixa ocupação na área de interesse, possuindo assim, menores valores para o indicador de Uso do Solo e maiores valores do indicador de Reserva Natural, representativo da Resiliência nessa dimensão.

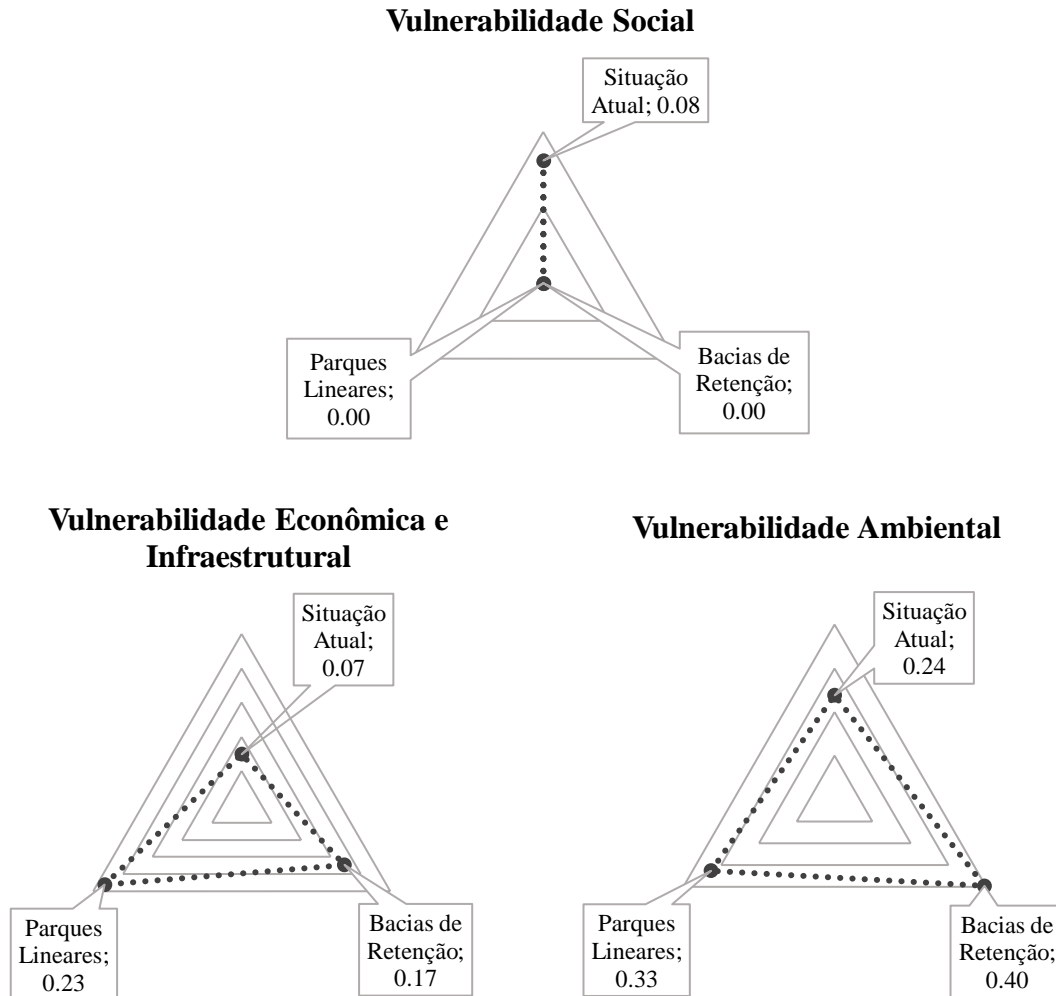


Figura 5.26: Resultados da Aplicação do IVI para cada Dimensão da Vulnerabilidade

5.4. Índice de Requalificação Fluvial Urbana (REFLU)

Para a aplicação do REFLU à Situação Atual e às alternativas de projeto, a bacia foi dividida em dois trechos, conforme apresentado na Figura 5.27: o Trecho 1 contém toda a área da bacia a montante da área de projeto (sendo igual nas três situações), enquanto o Trecho 2 abrange as células de projeto e seu entorno imediato. A soma dos dois trechos equivale à área total da bacia, tendo como exutório a na interseção com a ponte da Avenida das Américas. Desta forma, a aplicação do índice foi realizada para cada trecho isoladamente e para toda extensão da bacia considerada.

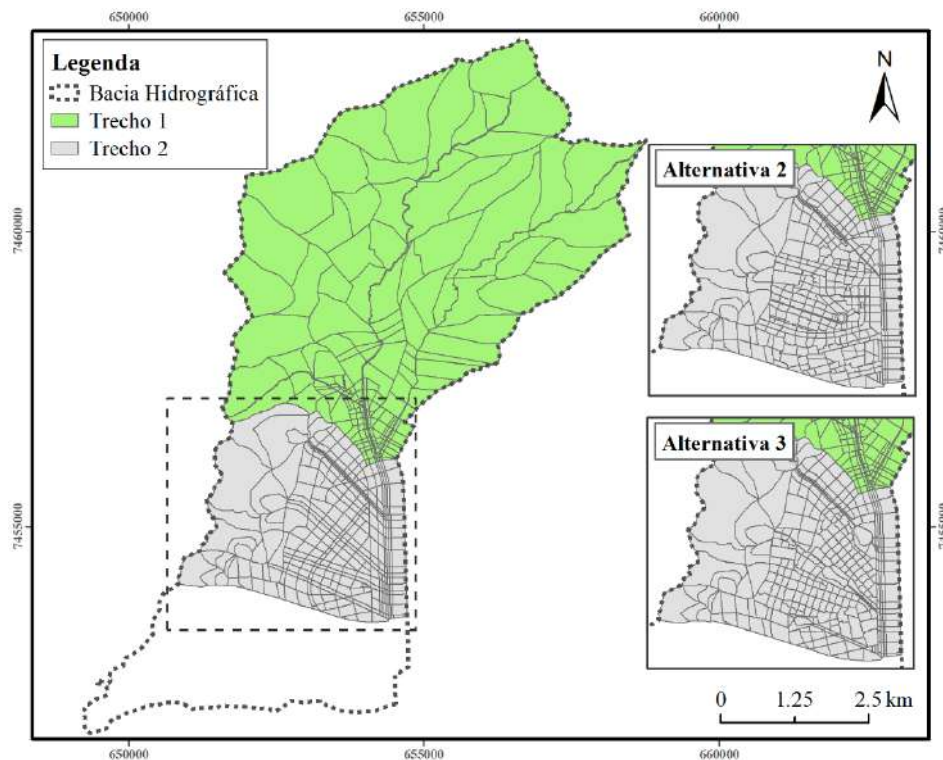


Figura 5.27: Divisão de Trechos para a Aplicação do REFLU

5.4.1. Subíndice Estado Geral da Bacia (EGB)

As hipóteses e os procedimentos utilizados para o cálculo do subíndice *Estado Geral da Bacia (EGB)* são apresentados nos itens 5.4.1.1, 5.4.1.2 e 5.4.1.3.

5.4.1.1. Permeabilidade

O indicador de Permeabilidade utiliza os dados de escoamento superficial fornecidos pela modelagem matemática. O coeficiente de escoamento superficial de cada célula é multiplicado pela sua área de armazenagem, e a soma dos resultados indica a área impermeável da bacia, inversa à área permeável. Para a normalização do indicador, a área permeável da bacia é dividida pela sua área total de armazenagem. A Tabela 5.18 contém o coeficiente de escoamento superficial médio na Situação Atual e nas alternativas de projeto.

Tabela 5.18: Coeficientes de Escoamento Superficial Médios

Situação Atual		
Trecho 1	Trecho 2	Trecho 1+2
0,43	0,33	0,39
Alternativa de Urbanização 2 - Parques Lineares		
Trecho 1	Trecho 2	Trecho 1+2
0,43	0,47	0,45
Alternativa de Urbanização 3 - Parques com Bacias de Retenção		
Trecho 1	Trecho 2	Trecho 1+2
0,43	0,49	0,46

5.4.1.2. Condições de Saneamento

Para o cálculo do indicador Condições de Saneamento na Situação Atual, foram utilizados os dados “Domicílios particulares permanentes”, “Domicílios particulares permanentes com banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via rede geral de esgoto ou pluvial” e “Domicílios particulares permanentes com lixo coletado” do Censo 2010, por setor censitário. A sobreposição das células de modelagem com os setores censitários permite calcular um valor para cada célula, segundo metodologia apresentada no item 5.2.

Para o esgotamento sanitário, foram considerados como inadequados os domicílios com esgotamento sanitário realizado por fossa séptica, fossa rudimentar, vala, etc., sendo desconsiderados, desta forma, no cálculo do indicador. Já para coleta de lixo, foram considerados adequados lixo coletado por serviço de limpeza e lixo coletado em caçamba de serviço de limpeza, sendo considerados inadequados outros tipos de descarte, como lixo queimado na propriedade, enterrado, jogado em terreno baldio e jogado em rio, lago ou mar. Assim, foram calculados os valores de esgotamento sanitário e coleta de lixo adequados para cada célula, sendo adotado o valor mais baixo obtido, representando a situação mais desfavorável. Em seguida, foi feita uma média ponderada dos valores de saneamento em função da área de cada célula.

Para o cálculo do indicador nas alternativas de projeto, foi considerado que as condições de saneamento dos novos lotes eram adequadas, sendo atribuído valor máximo ao indicador. Para células que continham urbanização já existente, foi feita uma compatibilização entre os valores por meio de uma média ponderada pelo número de domicílios.

5.4.1.3. Margens Não Ocupadas pela Urbanização

Esse indicador manifesta a presença de construções próximas às margens do rio, uma vez que funcionam como uma barreira para o caminho das águas superficiais. Além disso, é entendido que essas casas são fontes de poluição por conta do esgoto sanitário e lixo despejados, geralmente clandestinamente, na rede de drenagem ou até mesmo diretamente nos rios.

Para a medição desse indicador, foi considerada uma faixa de 30 m ou de 50 m (dependendo da largura do corpo d'água, segundo a definição de Faixa Marginal de Proteção, do Novo Código Florestal) em ambas as margens dos corpos fluviais presentes na bacia. Como a urbanização na área estudada não é muito intensa, os trechos com margens ocupadas foram poucos em relação à extensão total dos rios. No que se refere às alternativas de projeto, a Faixa Marginal de Proteção foi respeitada em quase toda a extensão dos rios.

5.4.2. Subíndice Conectividades (C)

As hipóteses e os procedimentos utilizados para o cálculo do subíndice *Conectividades (C)* são apresentados nos itens 5.4.2.1, 5.4.2.2 e 5.4.2.3.

5.4.2.1. Conectividade Transversal

Para o cálculo desse indicador, foram consideradas as margens totalmente vegetadas inseridas na Faixa Marginal de Proteção (faixa de 30 m para cursos d'água com largura de até 10 m, maioria no estudo de caso deste trabalho; faixa de 50 m para o Canal de Sernambetiba, que chega a cerca de 35 m de largura no Trecho 2). Assim, as margens com ocupação por casas, ruas, terra ou muros, por exemplo, foram desconsideradas.

5.4.2.2. Conectividade Longitudinal

Tanto na Situação Atual quanto na Alternativa de Urbanização 2 - Parques Lineares, não há nenhuma barreira no sentido longitudinal dos rios presentes na bacia hidrográfica estudada, adotando-se, portanto, o valor de 1 para a conectividade longitudinal, que é o melhor resultado possível.

Já na Alternativa de Urbanização 3 - Parques com Bacias de Retenção, devido à presença de duas barragens no Trecho 2, o indicador precisou ser calculado. Em primeiro lugar, foram obtidos os valores de área à montante de cada uma delas e a área total da sub-bacia a que pertencem. Dessa forma, foi calculado o indicador individual por sub-bacia com barragem. Como ambas as barragens permitem a passagem de água através de um orifício, foi atribuído peso 0,5 ao indicador, segundo indicação apresentada no item 3.4.2.2. Para o cálculo da conectividade longitudinal no Trecho 2, também foi aplicado um peso que relaciona a área de cada sub-bacia com a área total do trecho.

5.4.2.3. Conectividade Vertical

Esse indicador avalia as margens e fundos naturais, e, desta forma, desconsidera rios canalizados, com paredes e fundo de concreto, e trechos de rios que percorrem em galerias subterrâneas. As margens esquerda, direita e o fundo são medidos separadamente, somados e depois divididos pelo comprimento do rio multiplicado por 3.

Na medição, foram notados alguns trechos em que o rio percorre em galerias, nas áreas com maior ocupação. Além disso, ambas as alternativas de projeto preveem alguns trechos artificiais, em que o rio passa por galerias ou por baixo de pontes, a fim de facilitar a malha viária.

5.4.3. Subíndice Redução do Risco Hidráulico (RRH)

O subíndice *Redução do Risco Hidráulico* utiliza como informações básicas para o seu cálculo os resultados obtidos por meio da modelagem matemática da Situação Atual e das alternativas de projeto consideradas. São elas: o volume de alagamento, o coeficiente de escoamento superficial e as lâminas de alagamento.

Para cada célula, foi calculado o volume de alagamento multiplicando-se a lâmina máxima de alagamento pela respectiva área de armazenagem, seguindo uma lógica de alagamento gradual em patamares (primeiro as ruas, depois as calçadas e parques/ áreas verdes e, por fim, as edificações). Em seguida, é calculado o volume de chuva efetiva multiplicando-se o total precipitado pela área total do respectivo trecho considerado e pelo coeficiente de escoamento médio do trecho.

5.4.4. Resultados

Na Figura 5.28, são apresentados os resultados obtidos com a aplicação do REFLU, por trecho considerado. É possível observar que as alternativas de projeto superam a Situação Atual no Trecho 1. Isso é explicado exclusivamente pela redução nas lâminas de alagamento devido à limpeza de trechos dos canais, melhorando a capacidade hidráulica dos mesmos. No Trecho 2, que integra a área de implantação dos projetos, a Alternativa de Urbanização 2 - Parques Lineares é capaz de superar a Situação Atual, melhorando a qualidade fluvial da bacia mesmo com a introdução de ocupação na área. Já a Alternativa de Urbanização 3 - Parques com Bacias de Retenção, possui o menor valor do REFLU para o Trecho 2 devido aos subíndices Estado Geral da Bacia e Conectividades, este com uma diferença maior resultante da presença de barragens, que afetam a conectividade longitudinal, e da maior presença de margens não vegetadas, afetando a conectividade transversal.

Para a área total da bacia considerada (Trecho 1 +2), os valores obtidos para o REFLU se mostraram equivalentes, com ambas as alternativas de projeto com valor de 0,83 superando a Situação Atual (0,82).

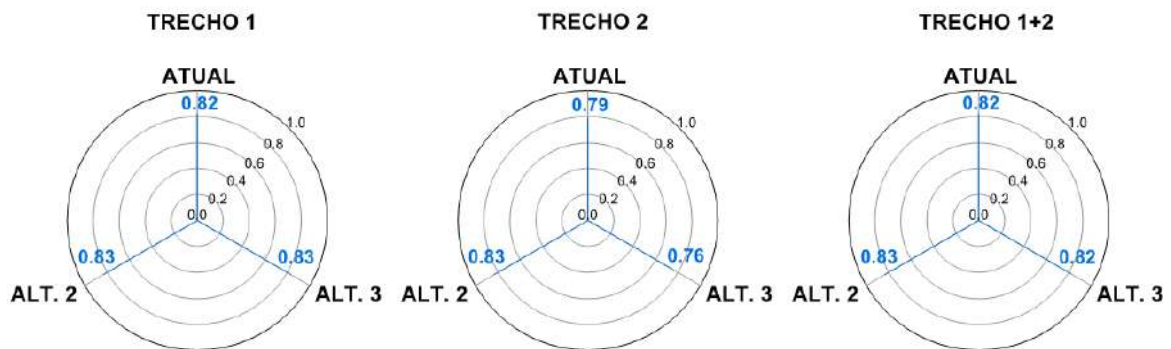


Figura 5.28: Resultados da Aplicação do REFLU por Trecho da Bacia

Os resultados obtidos para cada subíndice do REFLU tanto para a Situação Atual quanto para as alternativas de projeto são apresentados na Figura 5.29. Na Situação Atual, o subíndice Estado Geral da Bacia (EGB) praticamente se mantém nos trechos considerados, assim como o subíndice Redução do Risco Hidráulico (RRH), enquanto o subíndice Conectividades (C) apresenta seu pior resultado no Trecho 2 (0,86). Na Alternativa de Urbanização 2 - Parques Lineares, o subíndice EGB mantém seu valor inalterado nos trechos considerados, o subíndice C tem uma pequena redução no Trecho

2 e o subíndice RRH apresenta uma melhora no Trecho 2 devido às intervenções de projeto. Já na Alternativa de Urbanização 3 - Parques com Bacias de Retenção, o subíndice EGB tem uma pequena redução no Trecho 2. Também é possível observar uma redução considerável no subíndice C e uma melhora no subíndice RRH no mesmo trecho.

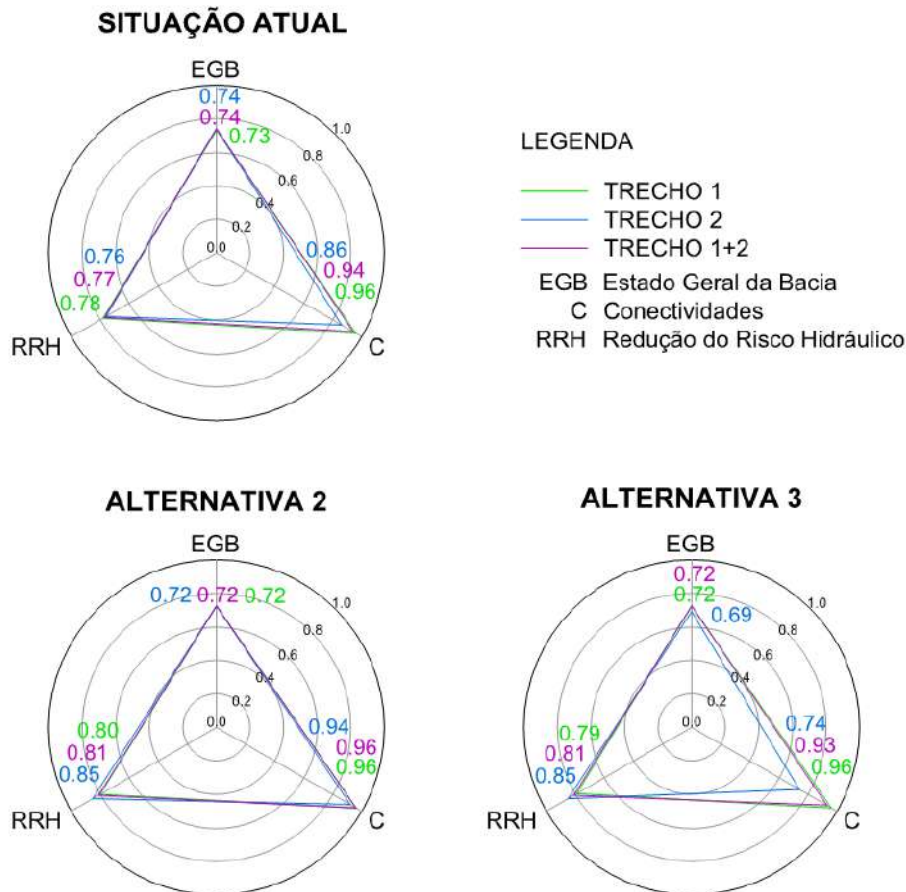


Figura 5.29: Resultados da Aplicação do REFLU por Alternativa

5.5. Índice de Avaliação da Qualidade Ambiental (IAQA)

Para o cálculo do IAQA, em primeiro lugar, calculou-se o Índice de Forma. Destaca-se que a área de aplicação é a mesma considerada no Trecho 2 da aplicação do REFLU (Figura 5.27). Assim, para a obtenção da área e do perímetro dos fragmentos na Situação Atual, foi utilizado o uso do solo da cidade do Rio de Janeiro (IPP, 2015) na área de interesse. Foram considerados os usos “Cobertura Arbórea e Arbustiva”, “Cobertura Gramíneo Lenhosa”, “Áreas Sujeitas à Inundação” não ocupadas e “Corpos Hídricos”, entendendo que a conectividade entre os fragmentos também é realizada por meio dos rios e canais.

Para as alternativas de projeto, as novas áreas verdes propostas foram compatibilizadas com o uso do solo atual da região de entorno da área destinada à implantação dos projetos.

Assim, foi possível calcular as áreas e os perímetros de cada fragmento para cada alternativa de urbanização. Após a soma das áreas e dos perímetros dos fragmentos para a Situação Atual e para cada alternativa de urbanização, foi calculada a proporção de áreas verdes na área total do Trecho 2 e aplicada a Equação (3.30).

Na Figura 5.30, são apresentados os valores médios obtidos com a aplicação do Índice de Avaliação da Qualidade Ambiental para a Situação Atual e para as alternativas de projeto. É possível observar que o menor valor do índice foi obtido na Alternativa de Urbanização 2 - Parques Lineares, o que já era esperado, devido à forma alongada dos parques lineares propostos, gerando efeitos de borda, embora a proporção de áreas verdes na área de interesse seja um pouco maior do que a da Alternativa de Urbanização 3 - Parques com Bacias de Retenção. O resultado indica que esta alternativa é a mais susceptível às perturbações externas pelo efeito de borda, e a menos eficiente, portanto, sob o ponto de vista da qualidade ambiental da área urbana.

Índice de Avaliação da Qualidade Ambiental (IAQA)

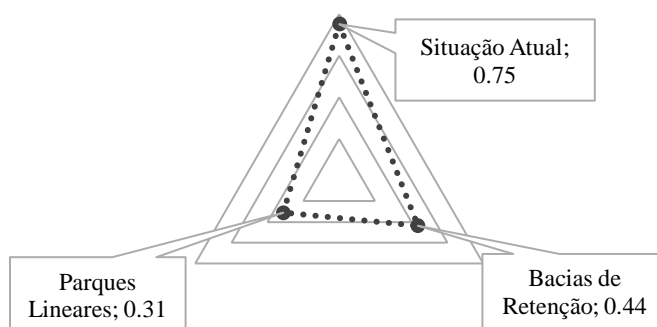


Figura 5.30: Resultados da Aplicação do IAQA para cada Alternativa

5.6. Índice de Eficiência da Infraestrutura Urbana (IEIU)

Para a aplicação do Índice de Eficiência da Infraestrutura Urbana, foi necessário estimar o número total de pessoas na área de interesse. Na Situação Atual, foram utilizadas informações do Censo de 2010 do IBGE, enquanto nas alternativas de projeto foi utilizada a estimativa do número de pessoas realizada para cada uma segundo metodologia apresentada no item 5.3.1.1. Ressalta-se que, na Situação Atual, há pouca ocupação na área de interesse, justificando o baixo número de habitantes. Já nas alternativas de projeto, é considerada a ocupação e verticalização (4 pavimentos) de grande porção da área, o que explica o crescimento substancial do número de habitantes quando comparado ao total atual.

Para a obtenção da extensão total de vias na área de interesse, foi utilizado o *software* ArcGis e imagens de satélite. Desta forma, foi possível calcular o índice dividindo-se o número total de pessoas pela extensão total de vias. Na Tabela 5.19, são apresentadas as informações necessárias obtidas para a aplicação do IEIU.

Tabela 5.19: Informações necessárias para a aplicação do IEIU

	Total Habitantes	Extensão de vias (m)
Situação Atual	2439	10916,2
Alternativa 2 - Parques Lineares	60675	51829,2
Alternativa 3 - Parques com Bacias de Retenção	67713	37258,7

Na Tabela 5.20, são apresentados os resultados obtidos para a aplicação do índice de Eficiência da Infraestrutura Urbana. Pode-se observar que o valor obtido para a Situação Atual é bastante baixo, resultante da baixa ocupação na área de estudo complementada pela ocupação esparsa, com lotes grandes unifamiliares, um tipo de ocupação desfavorável para a eficiência da infraestrutura urbana de acordo com as premissas adotadas na concepção do IEIU. Com a mudança no padrão de ocupação proposta nas alternativas de projeto, os valores do índice aumentam consideravelmente, sendo a Alternativa de Urbanização 3 - Parques com Bacias de Retenção a mais favorável sob o ponto de vista econômico, associado aos custos de implantação e manutenção da infraestrutura urbana por habitante.

Tabela 5.20: Resultados obtidos com a aplicação do IEIU

	IEIU
Situação Atual	0,22
Alternativa 2 - Parques Lineares	1,17
Alternativa 3 - Parques com Bacias de Retenção	1,82

5.7. Índice de Avaliação de Projeto (IAP)

Na Tabela 5.21, é apresentada a síntese dos resultados obtidos para os índices aplicados e o valor resultante do cálculo integrado do Índice de Avaliação de Projeto. Segundo o resultado do IAP, usando pesos iguais entre as suas parcelas componentes, a Alternativa de Urbanização 3 - Parques com Bacias de Retenção se apresenta como a melhor alternativa de projeto para a área de estudo, embora, sob o ponto de vista de inundação, as duas alternativas de projeto sejam análogas, visto que os resultados obtidos para o IRES e para o IVI são iguais, e, sob o ponto de vista de qualidade fluvial (REFLU), a Alternativa de Urbanização 2 - Parques Lineares se apresente como melhor solução.

Ressalta-se que, neste trabalho, foram utilizados pesos iguais para o cálculo do IAP por se pretender mostrar a viabilidade e potencial da metodologia proposta na hierarquização de projetos. Embora as alternativas apresentadas possam ser utilizadas em referências futuras de projeto, não se tem o objetivo de definir, de fato, a melhor proposta como resultado desta dissertação. Portanto, variações nos pesos não foram aqui exploradas. Cabe ao decisor ponderar os índices parciais segundo a necessidade, a vocação ou o desejo da população do local de interesse. Por exemplo, se o interesse maior fosse ter um projeto que obtivesse a melhor qualidade fluvial, a Alternativa de Urbanização 2 - Parques Lineares poderia ser considerada como a mais adequada.

Tabela 5.21: Tabela síntese dos resultados obtidos por índice e valor final do IAP

	Situação	Alternativa 2 -	Alternativa 3 - Parques
	Atual	Parques Lineares	com Bacias de Retenção
IRES	0,99	1,00	1,00
1 - IVI	0,87	0,81	0,81
REFLU (Trecho 2)	0,79	0,83	0,76
IAQA	0,75	0,31	0,44
IEIU	0,22	1,17	1,82
IAP	0,72	0,82	0,97

6. CONCLUSÕES

Este trabalho procurou fornecer um quadro metodológico conceitual quantitativo que permitisse avaliar diferentes alternativas de projeto sob o ponto de vista de redução de risco, aumento de resiliência e requalificação fluvial e ambiental no meio urbano, bem como da eficiência da infraestrutura urbana. Esse quadro conceitual foi composto por diferentes índices multicritério, com suporte de modelagem matemática hidrodinâmica, com vistas a produzir um acervo de ferramentas que, combinadas, permite avaliar diferentes concepções de projeto, de viés sustentável, elencando em uma escala hierárquica aqueles de melhor desempenho em termos de redução de riscos, construção de resiliência, redução de vulnerabilidades, melhoria ambiental urbana, requalificação do corredor fluvial e otimização de infraestrutura.

A fim de realizar uma demonstração da aplicação da metodologia proposta, este trabalho teve como estudo de caso Vargem Grande, Bairro da Zona Oeste do Município do Rio de Janeiro, que se assenta em zona frágil, sob o ponto de vista ambiental, propensa a alagamentos, e que hoje sofre pressões de desenvolvimento urbano, especialmente a partir das obras de infraestrutura implantadas por ocasião das Olimpíadas de 2016 no Rio de Janeiro.

A Situação Atual, com a região parcamente ocupada, foi utilizada como base de comparação para três alternativas de projeto. A Alternativa de Urbanização 1 - PEU das Vargens considerou o desenvolvimento urbano da área de interesse segundo o Plano de Estruturação Urbana das Vargens, de 2009. Já a Alternativa de Urbanização 2 - Parques Lineares e a Alternativa de Urbanização 3 - Parques com Bacias de Retenção, consideraram uma abordagem mais sustentável, com reserva de espaços para o extravasamento natural dos rios e armazenamento de volumes excedentes de cheia. Estas alternativas têm uma maior preocupação com a dinâmica das águas e a alocação de espaços para esta dinâmica.

Como primeiro passo, a modelagem matemática permitiu realizar um diagnóstico da área de interesse e reconhecer os locais críticos para alagamentos, como a região da confluência entre os rios Morto e Vargem Grande e a planície da bacia do rio Cascalho. As modificações necessárias para a simulação das alternativas de projeto foram realizadas no modelo originalmente construído e a comparação entre as manchas de inundação resultantes permitiu avaliar a resposta de cada alternativa ao evento de cheia simulado.

Foi possível constatar a eficiência das três alternativas, que, por definição da metodologia proposta, deveria ser verificada. Ou seja, no procedimento aqui desenvolvido, o que se espera é oferecer condições de distinguir e hierarquizar o comportamento de alternativas igualmente funcionais, no que se refere a risco, resiliência, vulnerabilidade, qualidade ambiental e desempenho urbano.

Uma primeira etapa da metodologia propôs avaliar a capacidade de sustentação das alternativas, hoje funcionais, no longo prazo. Nesse processo, a simulação de um cenário disfuncional da Alternativa de Urbanização 1 - PEU das Vargens foi realizada, em que a alternativa assumiu um caráter mais urbano, com uma impermeabilização esperada, no longo prazo, das áreas com lotes mínimos de 5000m². Também foram simulados, neste cenário, os canais em sua condição existente, a fim de testar a necessidade de manutenção da dragagem para a melhoria da capacidade hidráulica dos mesmos. Destaca-se que não foi reconhecida justificativa para a simulação de um cenário disfuncional das Alternativas 2 e 3, visto que ambas já possuem um caráter urbano e sem necessidade de dragagem dos canais. Assim, ao final desta etapa inicial de avaliação, em condições de capacidade de sustentação do controle de inundações ao longo prazo das medidas propostas, a Alternativa de Urbanização 1 foi descartada, já que se mostrou passível de insustentabilidade, gerando custos adicionais de manutenção e aumento das lâminas de alagamento na área do projeto. Já as Alternativas de Urbanização 2 e 3, seguiram para a avaliação quantitativa da segunda etapa da metodologia.

A segunda etapa consistiu na aplicação de índices capazes de avaliar quantitativamente aspectos sociais, econômicos, infraestruturais e ambientais de cada alternativa considerada. O Índice de Resiliência a Inundações (IRES) e o Índice de Vulnerabilidade a Inundações (IVI) foram aplicados a fim de avaliar aspectos de risco de inundação, com destaque para a resiliência e a vulnerabilidade, respectivamente. Já o Índice de Requalificação Fluvial Urbana (REFLU) e o Índice de Avaliação da Qualidade Ambiental (IAQA), visam quantificar aspectos de melhoria da qualidade ambiental nas cidades, a partir dos conceitos de requalificação fluvial e de ecologia da paisagem, respectivamente. Aspectos da eficiência da infraestrutura urbana também foram avaliados a partir da aplicação do Índice de Eficiência da Infraestrutura Urbana (IEIU).

Individualmente, a análise dos resultados da aplicação de cada índice nas Alternativas de Urbanização 2 e 3 indicou diferenças ora positivas para uma alternativa ora positivas para outra. O valor obtido para o Índice de Resiliência a Inundações (IRES) foi máximo em ambas as alternativas, dado que as duas alternativas controlam eficientemente os escoamentos, sem alagamentos residuais. Já para a aplicação do Índice de Vulnerabilidade a Inundações (IVI), embora o resultado final tenha mostrado um valor final igual para as duas alternativas, a Alternativa de Urbanização 2 - Parques Lineares se mostrou mais vulnerável em seu componente econômico e infraestrutural e menos vulnerável em seu componente ambiental, quando comparada à Alternativa de Urbanização 3 - Parques com Bacias de Retenção. Os resultados obtidos com os dois índices mostraram que ambas as alternativas de projeto são análogas sob o ponto de vista de risco de inundações. Com a aplicação do Índice de Requalificação Fluvial Urbana (REFLU), foi possível constatar que a Alternativa de Urbanização 2 - Parques Lineares é capaz de fornecer uma melhor qualidade fluvial, inclusive mantendo o nível de naturalidade atual, principalmente devido à presença de barragens na Alternativa de Urbanização 3, que afetam a continuidade longitudinal dos rios nesta alternativa e reduzem a qualidade fluvial do sistema. Por outro lado, a aplicação do Índice de Avaliação da Qualidade Ambiental (IAQA) indicou que a Alternativa de Urbanização 3 oferece melhor qualidade ambiental para o meio urbano, devido às formas mais regulares das manchas de vegetação, sendo menos susceptível às perturbações do meio externo provenientes do efeito de borda, que, por outro lado, é mais marcado nos parques lineares, mais estreitos. Finalmente, a aplicação do Índice de Eficiência da Infraestrutura Urbana (IEIU) indicou a Alternativa de Urbanização 3 como mais eficiente sob o ponto de vista de melhor aproveitamento da rede de infraestrutura urbana por habitante, indicando menores custos de implantação e manutenção desta infraestrutura.

Dados todos esses parâmetros, que vão muito além de apenas observar o efeito de diminuição da inundação ou de elaborar um projeto sem considerar a importância da água no meio urbano, tem-se ferramentas suficientes para escolher melhores alternativas de projeto sob uma ótica mais abrangente e integrada com a própria expectativa de desenvolvimento urbano sustentável e com qualidade de vida. Com isso, os resultados individuais da aplicação de cada índice foram combinados de forma a compor o Índice de Avaliação de Projeto (IAP). Neste trabalho, foram atribuídos pesos iguais às parcelas, supondo que as preocupações são iguais no estudo de caso proposto. De fato, esses pesos

podem ser variados, para refletir diferentes desejos, de diferentes gestores ou atores envolvidos, e não foi objetivo deste trabalho avançar sobre a discussão de definição de pesos ou de metodologias para auxiliar nesta escolha. A contribuição deste trabalho recai na própria formulação oferecida, que pode ser usada, caso a caso, com pesos não necessariamente fixos e convenientes para cada situação. O valor obtido indicou que a Alternativa de Urbanização 3 - Parques com Bacias de Retenção seria um pouco melhor do que a Alternativa de Urbanização 2 - Parques Lineares, para pesos iguais, embora ambas possam ser consideradas aceitáveis sob determinadas condições específicas. Destaca-se que ambas as alternativas foram concebidas com o objetivo de obter o melhor resultado, com premissas semelhantes de projeto, que visavam dar espaço e valor para a água como elemento de ordenação do espaço urbano.

Neste trabalho, portanto, o objetivo foi o de oferecer mecanismos que permitam decidir qual o melhor projeto para uma dada área e não definir qual é, de fato, o projeto mais adequado para a área de estudo, que serviu, principalmente, como piloto de testes para validação da metodologia. O melhor projeto depende do que deseja o decisor e os atores participantes do processo de decisão, que também está subordinada aquilo que é melhor para a cidade como sistema urbano integrado e que provavelmente muda de cidade para cidade e para diferentes grupos de atores.

Desta forma, como a decisão a respeito da melhor alternativa é feita por parte do gestor, não foi realizada análise de sensibilidade de pesos. Assim, o decisor tem a possibilidade de, matematicamente, por meio da atribuição de pesos segundo o seu objetivo, escolher entre um melhor rio ou uma área urbana que compartilha a melhor solução ambiental, ou ainda o melhor projeto para controle de inundações e segurança futura de resiliência equivalente.

A aplicação do quadro metodológico proposto demonstra o seu bom potencial para avaliar diferentes alternativas de projeto, de forma objetiva, com a leitura matemática de seus desempenhos em diferentes áreas de avaliação; portanto, não só sob o ponto de vista do comportamento da bacia frente às inundações, como também da qualidade fluvial e ambiental no meio urbano e da eficiência da infraestrutura urbana. Configura-se, assim, como uma importante ferramenta a ser utilizada para subsidiar o planejamento urbano.

Uma recomendação sugerida para possíveis interessados é avançar na discussão acerca dos pesos, mais especificamente na análise de sensibilidade, para orientar o gestor na aplicação do índice. Outra possibilidade recai na distribuição de questionários a especialistas e grupos de interesse, para avaliação dos pesos e, em última análise, dos próprios indicadores propostos, colhendo sugestões de aprimoramento da avaliação (que pode ser complementada) para, por fim, aumentar a confiabilidade do processo de escolha dos pesos e do próprio processo de decisão.

No que diz respeito às ferramentas metodológicas propostas neste trabalho, é sugerida uma avaliação do Índice de Vulnerabilidade a Inundações (IVI), principalmente do seu componente social. Foi possível perceber, com a aplicação ao estudo de caso, que o indicador Alfabetização, correspondente ao subíndice Resiliência, se mostrou pouco sensível, capaz de mascarar o valor final do índice no respectivo componente. O fato de ser um índice aplicável a uma situação de projeto, destinada a ocupações formais, faz com que o resultado obtido seja alto para o subíndice. Desta forma, de acordo com a formulação proposta, quaisquer que sejam os valores encontrados para a Exposição e para a Susceptibilidade, é possível esperar valores baixos para a vulnerabilidade social. Além disso, é sugerida uma complementação do Índice de Avaliação da Qualidade Ambiental (IAQA) com a inserção de algum indicador capaz de avaliar a conectividade entre os fragmentos, importante para a manutenção dos fluxos ecológicos. Ressalta-se que o processo de tomada de decisão também requer uma análise de custos de implantação e manutenção das alternativas, não abordada neste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE PESQUISA. **Critério de Classificação Econômica – Brasil**, 2012. Disponível em: <<http://www.abep.org/criterio-brasil>>

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12721:2006 de 28 de agosto de 2006. **Avaliação de custos de construção**, 2006.

ADB - ASIAN DEVELOPMENT BANK. **Reducing Disaster Risk by Managing Urban Land Use: Guidance Notes for Planners**. Philippines: Asian Development Bank, 2016.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil**. Brasília - DF, 2005.

ARAÚJO, S. B. **Administração de Desastres: Conceitos & Tecnologias**. Rio de Janeiro: SYGMA SMS, 2012.

ATLANTA REGIONAL COMMISSION. **Georgia Stormwater Management Manual - Volume 2: Technical Handbook**. 1ª ed. Georgia: Atlanta Regional Commission, 2001.

BALICA, S. **Development and Application of Flood Vulnerability Indices for Various Spatial Scales**. Dissertação de MSc., UNESCO-IHE, Delft, Holanda, 2007.

BARREIROS, M. A. F.; ABIKO, A. K. Reflexões sobre o Parcelamento do Solo Urbano. **Boletim Técnico Da Escola Politécnica Da Usp Departamento De Engenharia De Construção Civil**, p. 1–26, 1998.

BASSUL, J. R. Reforma urbana e Estatuto da Cidade. **EURE (Santiago)**, v. 28, n. 84, p. 9, 2002.

BERTILSSON, LOUISE; WIKLUND, KARIN; TEBALDI, I. DE M. *et al.* Urban flood resilience – A multi-criteria index to integrate flood resilience into urban planning. **Journal of Hydrology**, v. 573, n. April, p. 970–982, 2019.

BEZERRA, R. D. O. P. Projeto de Loteamento em Área Ambientalmente Sensível na Cidade do Rio de Janeiro – Campos de Sernambetiba. In: **9ª Semana de Integração Acadêmica da UFRJ - 9ª SIAC**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2018.

BRAGA, R. Política urbana e gestão ambiental: considerações sobre o plano diretor e o zoneamento urbano. **Perspectivas de Gestão Ambiental em Cidades Médias**, p. 95–109, 2001.

BRASIL. Lei Nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979. **Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências**, 1979.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**, 1988.

BRASIL. Lei Nº. 10.257, de 10 de julho de 2001 (Estatuto da Cidade). **Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências**, 2001.

BRASIL. Lei Nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. **Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico [...]**, 2007.

BRASIL. Lei Nº 12.608, de 10 de abril de 2012. **Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC [...]**, 2012a.

BRASIL. Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012 (Novo Código Florestal). **Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa [...]**, 2012b.

BRASIL. Medida Provisória Nº 870, de 1º de Janeiro de 2019. **Estabelece a organização básica dos órgãos da Presidência da República e dos Ministérios**, 2019.

BRITO, F. A.; FERNANDEZ, F. F. .; MIGUEZ, M. G. *et al.* Projeto de Loteamento Destinado a Ordenar a Ocupação de uma Área Ambientalmente Sensível na Cidade do Rio de Janeiro. In: **Anais do Congresso ABES/Fenasan 2017**. São Paulo: ABES, 2017.

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. 2ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

CARDEMAN, R. G. **A Transformação da Paisagem em Área de Expansão Urbana: Planejamento em Vargem Grande na cidade do Rio de Janeiro**. Tese de DSc., PROARQ/ UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2014.

CARNEIRO, P. R. F.; MIGUEZ, M. G. **Controle de Inundações em Bacias Hidrográficas Metropolitanas**. 1ª ed. São Paulo: Annablume, 2011.

CARVALHO, V. F. R. **Sistema de Parques em Vargem Grande**. Trabalho Final de Graduação, FAU/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2017.

CE - COMUNIDAD EUROPEA. Directive 2007/60/EC, de 23 de Outubro de 2007. **Directive on the assessment and management of flood risks**, 2007.

CE – COMUNIDAD EUROPEA. Directiva 2000/60/CE, de 23 de outubro de 2000. **Establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas**, 2000.

CETESB. **Norma técnica P4.261**. São Paulo: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2011.

CHASLES, V. Saúde urbana e higienismo, o exemplo da França. **Revista do Instituto de Estudos Brasileiros**, v. 3, n. 64, p. 65, 2016.

CHO, S. Y.; CHANG, H. Recent research approaches to urban flood vulnerability, 2006–2016. **Natural Hazards**, v. 88, n. 1, p. 633–649, 2017.

CIRF – CENTRO ITALIANO PER LA RIQUALIFICAZIONE FLUVIALE. **La riqualificazione fluviale in Italia: linee guida, strumenti ed esperienze per gestire i corsi d’acqua e il territorio**. 1ª ed. Venezia: Mazzanti, 2006.

CNM - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE MUNICÍPIOS. **O Plano Diretor como instrumento de Desenvolvimento Urbano Municipal: Orientações para o processo de elaboração e revisão do Plano Diretor**. Brasília: CNM, 2013.

CNM - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE MUNICÍPIOS. **Proteção e Defesa Civil em Âmbito Local: Conceitos e Competências**. Brasília: CNM, 2015.

COFFMAN, L.S.; CHENG, M.; WEINSTEIN, N. *et al.* Low-Impact Development Hydrologic Analysis and Design. In: **Proceedings of the 25th Annual Conference on Water Resources Planning and Management**. Nova York: ASCE, 1998.

CONSELHO MUNDIAL DA ÁGUA. **Comece pela Água - Incluindo a água nas agendas de ação local para promover mudanças globais**. Conselho Mundial da Água, 2018.

COSTA, M. A.; FAVARÃO, C. B. Institucionalidade e Governança na Trajetória Recente da Política Urbana Brasileira: Legislação e Governança Urbanas. In: **O ESTATUTO DA CIDADE E A HABITAT III: um balanço de quinze anos da política urbana no Brasil e a Nova Agenda Urbana**. Brasília: IPEA, 2016. p. 109–129.

DATA RIO. **Pessoas de 10 anos ou mais de idade, por classe de renda nominal mensal e condição de alfabetização, segundo Áreas de Planejamento (AP), Regiões de Planejamento (RP), Regiões Administrativas (RA) e Bairros no Município do Rio de Janeiro - 2010**, 2018. Disponível em: <<http://www.data.rio/datasets/pessoas-de-10-anos-ou-mais-de-idade-por-classe-de-renda-nominal-mensal-e-condição-de-alfabetização-segundo-áreas-de-planejamento-ap-regiões-de-planejamento-rp-regiões-administrativas-ra-e-bairros-no-município-do-rio-de-janeiro>>

DE BONIS, A. **IDU – Índice de Drenagem Urbana**. Monografia, Curso de Pós Graduação Lato Sensu de Gerenciamento de Recursos Hídricos Integrado ao Planejamento Municipal/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2006.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. In: **Reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1979. p. 83.

FERNANDES, T. Barra da Tijuca (RJ), Plano Piloto, Legislação e Realidade: o processo de urbanização, ocupação e suas consequências ambientais. **Revista VITAS – Visões Transdisciplinares sobre Ambiente e Sociedade**, v. 3, n. 6, 2013.

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

FONTES, A. R. M.; BARBASSA, A. P. Diagnóstico e Prognóstico da Ocupação e da Impermeabilização Urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 2, p. 137–147, 2003.

FUNDAÇÃO RIO-ÁGUAS. **Instruções Técnicas para Elaboração de Estudos Hidrológicos e Dimensionamento Hidráulico de Sistemas de Drenagem Urbana**. Rio de Janeiro, 2010.

GUIMARÃES, L. F. **Metodologia para a Avaliação da Capacidade de Recuperação em Função de Prejuízos de Sucessivos Eventos de Inundação**. Dissertação de MSc., COPPE/ UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2016.

HABITAT III, U. **Habitat III Issue Papers**. New York: United Nations, 2017. v. 2015

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010**, 2010.

INEA. Resolução INEA N° 74, de 02 de julho de 2013. **Aprova o Plano de Manejo do Parque Estadual da Pedra Branca - PEPB**, 2013.

IPP - INSTITUTO PEREIRA PASSOS. **Modelo Digital de Terreno da Cidade do Rio de Janeiro 5x5m**, 2013.

IPP - INSTITUTO PEREIRA PASSOS. **Uso do Solo da Cidade do Rio de Janeiro**, 2015.

JHA, A.; BACA, A.; BRHANE, M. *et al.* **Building Urban Resilience: Principles, Tools and Practice**. Washington, USA: The World Bank, 2012.

JHA, A. K.; BLOCH, R.; LAMOND, J. **Cities and Flooding: A Guide to Integrated Urban Flood Risk Management for the 21st Century**. Washington, USA: The World Bank, 2012.

JHA, A. K.; MINER, T. W.; STANTON-GEDDES, Z. **Building Urban Resilience: Principles, Tools, and Practice**. Washington, USA: The World Bank, 2013.

JORNAL O GLOBO. **Moradores elaboram Plano Popular das Vargens, contraproposta aos projetos da prefeitura.** Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/rio/bairros/moradores-elaboram-plano-popular-das-vargens-contraproposta-aos-projetos-da-prefeitura-22070442>>. Acesso em: 23 jan. 2019.

KOKS, E. E.; JONGMAN, B.; HUSBY, T. G. *et al.* Combining hazard, exposure and social vulnerability to provide lessons for flood risk management. **Environmental Science and Policy**, v. 47, p. 42–52, 2015.

KOTZEE, I.; REYERS, B. Piloting a social-ecological index for measuring flood resilience: A composite index approach. **Ecological Indicators**, v. 60, p. 45–53, 2016.

LIAO, K. H. A theory on urban resilience to floods-A basis for alternative planning practices. **Ecology and Society**, v. 17, n. 4, 2012.

LLOYD, S.; WONG, T.; CHESTERFIELD, C. **Water Sensitive Urban Design-A Stormwater Management Perspective (Industry Report)**. Melbourne, Australia: Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology, 2002.

LOURENÇO, I. B. **Rios Urbanos e Paisagens Multifuncionais: O Projeto Paisagístico na Requalificação Urbana e Ambiental**. Dissertação de MSc., PROURB/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2013.

LOURENÇO, R. DE C. A Gestão dos Espaços Ambientais Protegidos: o Caso das APPs do Rio Morto-Vargem Grande. In: **Anais do IX Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia – SEGeT**. Resende: SEGeT, 2012.

LUDY, J.; KONDOLF, G. M. Flood risk perception in lands “protected” by 100-year levees. **Natural Hazards**, v. 61, n. 2, p. 829–842, 2012.

MACEDO, S. S.; CUSTÓDIO, V.; GALLENDER, F. *et al.* Os sistemas de espaços livres e a constituição da esfera pública contemporânea no Brasil. In: **Paisagens culturais**. Rio de Janeiro: EBA-UFRJ, 2007. p. 286–297.

MACEDO, S. S.; QUEIROGA, E. F.; GALLENDER, F. C. *et al.* Os Sistemas de Espaços Livres na Constituição da Forma Urbana Contemporânea no Brasil: Produção e Apropriação (Quapá-Sel II). **Paisagem e Ambiente: Ensaio**, n. 30, p. 137–172, 2012.

MACHADO, M. L.; NASCIMENTO, N.; BAPTISTA, M. *et al.* Curvas de danos de inundação versus profundidade de submersão: desenvolvimento de metodologia. **Revista de Gestão de Água da América Latina - Rega**, v. 2, n. 1, p. 35–52, 2005.

MAGNOLI, M. M. Em busca de "outros" espaços livres de edificação. **Paisagem e Ambiente**, n. 21, p. 141, 2006.

MALTA, V. DE F. **A Busca de uma Solução de Compromisso em Problemas de Conflitos em Recursos Hídricos Utilizando um Modelo de Análise de Conflitos - MACPROL**. Tese de DSc., COPPE/ UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2006.

MARGARIDA, C. **Manual de Defesa Civil**. Florianópolis: CEPED/UFSC, 2009.

MARGUTI, B. O.; COSTA, M. A.; GALINDO, E. P. A Trajetória Brasileira em Busca do Direito à Cidade: os quinze anos de Estatuto da Cidade e as novas perspectivas à luz da Nova Agenda Urbana. In: **O ESTATUTO DA CIDADE E A HABITAT III: um balanço de quinze anos da política urbana no Brasil e a Nova Agenda Urbana**. Brasília: IPEA, 2016. p. 11–25.

MASCARENHAS, F.C.B.; MIGUEZ, M. G. Urban Flood Control through a Mathematical Flow Cell Model. **Water International Resources**, v. 27, n. 2, p. 208–218, 2002.

MCBAIN, W.; WILKES, D.; RETTER, M. **Flood Resilience and Resistance for Critical Infrastructure**. Londres: CIRIA, 2010.

MEINIG, D. W. O Olho que Observa: Dez Versões da Mesma Cena. **Espaço e Cultura**, n. 16, p. 35–46, 2003.

MENDOZA, G.A.; MACOUN, P. **Guidelines for applying multi-criteria analysis to the assessment of criteria and indicators**. Indonésia: Center for International Forestry Research (CIFOR), 1999.

MERZ, B.; HALL, J.; DISSE, M. *et al.* Fluvial flood risk management in a changing world. **Natural Hazards and Earth System Science**, v. 10, n. 3, p. 509–527, 2010.

METZGER, J. P. O que é ecologia de paisagens? **Biota Neotropica**, v. 1, n. 1, p. 1–9, 2001.

MICHAELIS. **Moderno Dicionário da Língua Portuguesa**. Disponível em: <<http://michaelis.uol.com.br/>>. Acesso em: 8 abr. 2018.

MIGUEZ, M. G.; BATTEMARCO, B. P.; SOUSA, M. M. *et al.* Urban flood simulation using MODCEL-an alternative quasi-2D conceptual model. **Water (Switzerland)**, v. 9, n. 6, 2017.

MIGUEZ, M. G.; DI GREGORIO, L. T.; VERÓL, A. P. **Gestão de riscos e desastres hidrológicos**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.

MIGUEZ, M. G.; MASCARENHAS, F. C. B.; VERÓL, A. P. MODCEL: A Mathematical Model for Urban Flood Simulation and Integrated Flood Control Design. In: **Proceedings IV Conference “Acqua e Città”**. Venice: Centro Studi Idraulica Urbana, 2011.

MIGUEZ, M. G.; TARDIN-COELHO, R. H.; VERÓL, A. P. *et al.* Water Dynamics as a Preceding Driver for Risk Prevention and Urban Planning Guidelines. In: **Proceedings of the 13th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment System**. Palermo: SDEWES, 2018. p. 1–21.

MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P.; BATTEMARCO, B. P. *et al.* A framework to support the urbanization process on lowland coastal areas: Exploring the case of Vargem Grande – Rio de Janeiro, Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 231, p. 1281–1293, 2019.

MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P.; CARNEIRO, P. R. F. Sustainable Drainage Systems: An Integrated Approach, Combining Hydraulic Engineering Design, Urban Land Control and River Revitalisation Aspects. **Drainage Systems**, 2012.

MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P.; RÊGO, A. Q. S. F. *et al.* Urban Agglomeration and Supporting Capacity: The Role of Open Spaces within Urban Drainage Systems as a Structuring Condition for Urban Growth. In: **Urban Agglomeration**. Croácia: InTech, 2018. p. 3–28.

MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P.; REZENDE, O. M. **Drenagem Urbana: do Projeto Tradicional à Sustentabilidade**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

MIGUEZ, M.G.; VERÓL, A. P.; DE SOUSA, M. M. *et al.* Urban floods in lowlands-levee systems, unplanned urban growth and river restoration alternative: A case study in Brazil. **Sustainability (Switzerland)**, v. 7, n. 8, p. 11068–11097, 2015.

MIGUEZ, M. G.; REZENDE, O. M.; VERÓL, A. P. City growth and urban drainage alternatives: Sustainability challenge. **Journal of Urban Planning and Development**, v. 141, n. 3, p. 1–10, 2015.

MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P. A catchment scale Integrated Flood Resilience Index to support decision making in urban flood control design. **Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science**, 2016.

MIRANDA, F. M. **Índice De Susceptibilidade Do Meio Físico a Inundações Como Ferramenta Para O Planejamento Urbano**. Dissertação de MSc., COPPE/ UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2016.

MONTEZUMA, R. C. M.; OLIVEIRA, R. R. Os ecossistemas da Baixada de Jacarepaguá. **Estudos preliminares do PEU da Vargem**. NIMA, 2010.

MORA, R. Sustainable Urban Drainage. In: **Proceedings of the 3rd International Congress on Sustainable Construction and Eco- Efficient Solutions**. Sevilla: Universidad de Sevilla. Escuela Técnica Superior de Arquitectura., 2017. p. 902–925.

MORGAN, C.; BEVINGTON, C.; LEVIN, D. *et al.* **Water Sensitive Urban Design in the UK: Ideas for Built Environment Practitioners**. Londres: CIRIA, 2013.

MOTA, F. S. B. **Disciplinamento do uso e ocupação do solo urbano visando a preservação do meio ambiente**. Tese de DSc., Faculdade de Saúde Pública/USP, São Paulo, SP, Brasil, 1980.

NAGEM, F. R. M. **Avaliação Econômica dos Prejuízos Causados pelas Cheias Urbanas**. Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Engenharia Civil, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2008.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Relatório Brundtland – Our Common Future**, 1987. Disponível em: <<https://ambiente.wordpress.com/2011/03/22/relatorio-brundtland-a-verso-original/>>

PELLEGRINO, P. R. M. Pode-se Planejar a Paisagem? **Paisagem e Ambiente: Ensaios**, n. 13, p. 159–179, 2000.

PEREIRA, C. R. P. **Índice de Risco de Inundação como Ferramenta de Planejamento Urbano**. Dissertação de MSc., POLI/ UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2017.

PINTO, R. B. DE C. P. **Estudo de Inundação do Canal de Sernambetiba e seus Afluentes Utilizando o Programa Modcel**. Projeto Final de Graduação, POLI/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2016.

POMPÊO, C. A. Drenagem Urbana Sustentável. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 1, p. 15–23, 2000.

PORTAL DA PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO. **Plano Diretor da Cidade do Rio de Janeiro**. Disponível em: <<http://www.rio.rj.gov.br/web/smu/plano-diretor1>>. Acesso em: 10 abr. 2018.

PORTAL INEA. **Parque Estadual da Pedra Branca**. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/Portal/Agendas/BIODIVERSIDADEEAREASPROTEGIDAS/UnidadesdeConservacao/INEA_008594>. Acesso em: 11 nov. 2019.

PRATT, C. R.; KALY, U. L.; MITCHELL, J. **Manual: How to Use the Environmental Vulnerability Index (EVI)**. SOPAC Technical Report 383. SOPAC, UNEP, , 2004. Disponível em: <<http://islands.unep.ch/EVI Manual.pdf>>

QUEIROGA, E. F. Sistemas de espaços livres e esfera pública em metrópoles brasileiras. **Resgate: Revista Interdisciplinar de Cultura**, v. XIX, n. 21, p. 25–35, 2011.

RAMOS, H. M.; PÉREZ-SÁNCHEZ, M.; FRANCO, A. B. *et al.* Urban floods adaptation and sustainable drainage measures. **Fluids**, v. 2, n. 4, p. 1–18, 2017.

RAN, J.; NEDOVIC-BUDIC, Z. Integrating spatial planning and flood risk management: A new conceptual framework for the spatially integrated policy infrastructure. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 57, p. 68–79, 2016.

REVISTA PARQUES CARIOCAS. **Corredor Verde Recreio**, 2015. Disponível em: <https://issuu.com/embya/docs/parquescariocas_n__4>

REZENDE, D. A.; ULTRAMARI, C. Plano diretor e planejamento estratégico municipal: introdução teórico-conceitual. **Revista de Administração Pública**, v. 41, n. 2, p. 255–271, 2007.

REZENDE, O. M. **Integração de Ferramentas de Manejo das Águas Pluviais no Processo de Planejamento do Território para Redução dos Riscos de Inundação e Incremento da Resiliência das Cidades**. Tese de DSc., COPPE/ UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2018.

RIO DE JANEIRO (ESTADO). Lei N° 2.377, de 28 de junho de 1974. **Cria o Parque Estadual da Pedra Branca e dá outras providências**, 1974.

RIO DE JANEIRO (ESTADO). Decreto N° 42.356, de 16 de março de 2010. **Dispõe sobre o tratamento e a demarcação das faixas marginais de proteção nos processos de licenciamento ambiental e de emissões de autorizações ambientais no Estado do Rio de Janeiro e dá outras providências**, 2010.

RIO DE JANEIRO (MUNICÍPIO). Lei Complementar N° 104, de 27 de novembro 2009. **Institui o Projeto de Estruturação Urbana – PEU dos bairros de Vargem Grande, Vargem Pequena, Camorim e parte dos bairros do Recreio dos Bandeirantes, Barra da Tijuca e Jacarepaguá [...]**, 2009.

RIO DE JANEIRO (MUNICÍPIO). Lei Complementar n° 111, de 01 de fevereiro de 2011. **Dispõe sobre a Política Urbana e Ambiental do Município, institui o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Sustentável do Município do Rio de Janeiro e dá outras providências**, 2011.

RIO DE JANEIRO (MUNICÍPIO). Projeto de Lei Complementar N° 140, de 09 de dezembro de 2015. **Institui a operação urbana consorciada da região das vargens e o plano de estruturação urbana de vargens, define normas de aplicação de instrumentos de gestão do uso e ocupação do solo e dá outras providências**, 2015a.

RIO DE JANEIRO (MUNICÍPIO). **Plano Municipal de Saneamento Básico da Cidade do Rio de Janeiro: Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas**, 2015b.

ROCHA, J. P. M. **O Bairro de Vargem Grande: Recomendações para a Valorização da Cultura em seu Desenvolvimento**. Dissertação de MSc., POLI/ UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2018.

RODRÍGUEZ-ROJAS, M. I.; HUERTAS-FERNÁNDEZ, F.; MARTÍNEZ, G. *et al.* The use of urban drainage systems in sustainable cities. **Sustainable Development and Planning VIII**, v. 1, p. 775–784, 2016.

RODRÍGUEZ, M. I.; CUEVAS, M. M.; MARTÍNEZ, G. *et al.* Planning criteria for water sensitive urban design. **WIT Transactions on Ecology and the Environment**, v. 191, p. 1579–1591, 2014.

ROMERO-LANKAO, P.; GNATZ, D. M.; WILHELMI, O. *et al.* Urban sustainability and resilience: From theory to practice. **Sustainability (Switzerland)**, v. 8, n. 12, p. 1–19, 2016.

ROOS, M. M. D.; HARTMANN, T. T.; SPIT, T. T. J. M. *et al.* Constructing risks – Internalisation of flood risks in the flood risk management plan. **Environmental Science and Policy**, v. 74, n. May, p. 23–29, 2017.

ROSA, T. M. **Ensaio sobre Consumo**. Dissertação de MSc., PPGDE/ UFPR, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2015.

SALGADO, J. C. M. **Avaliação Econômica de Projetos de Drenagem e de Controle de Inundações em Bacias Urbanas**. Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Engenharia Civil, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1995.

SAMUELS, P.; GOULDBY, B. **Language of Risk – Project Definitions (Second Edition)**. Wallingford: Integrated Flood Risk Analysis and Management Methodologies, FLOODSite, 2009. Disponível em: <www.floodsite.net>.

SANTOS, M. **A Natureza do Espaço: Técnica e tempo, razão e emoção**. 4^a ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2006.

SAYERS, P.; LI, Y.; GALLOWAY, G. *et al.* **Flood Risk Management A strategic Approach**. Paris: UNESCO, 2013.

SCHANZE, J. Flood Risk Management – a Basic Framework. **Flood Risk Management: Hazards, Vulnerability and Mitigation Measures**, p. 1–20, 2006.

SCHLEE, M. B.; NUNES, M. J.; REGO, A. Q. *et al.* Sistema de Espaços Livres nas Cidades Brasileiras – Um Debate conceitual. **Paisagem e Ambiente**, n. 26, p. 225, 2009.

SERPA, A. Milton Santos e a Paisagem: Parâmetros para a Construção de uma Crítica da Paisagem Contemporânea. **Paisagem e Ambiente**, n. 27, p. 131, 2010.

SERRAO-NEUMANN, S.; RENOUF, M.; KENWAY, S. J. *et al.* Connecting land-use and water planning: Prospects for an urban water metabolism approach. **Cities**, v. 60, p. 13–27, 2017.

SHAH, M. A. R.; RAHMAN, A.; CHOWDHURY, S. H. Sustainability assessment of flood mitigation projects: An innovative decision support framework. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 23, n. April, p. 53–61, 2017.

SHAH, M. A. R.; RAHMAN, A.; CHOWDHURY, S. H. Challenges for achieving sustainable flood risk management. **Journal of Flood Risk Management**, v. 11, p. S352–S358, 2018.

SILVA, T. F. D. DA. **Baixada de Jacarepaguá, Barra da Tijuca e Plano Piloto: O Projeto Lúcio Costa e suas alterações urbanísticas ao longo quase 45 anos**, 2014. Disponível em: <<http://www.publicadireito.com.br/artigos/?cod=c7f746b7939ba6db>>

SILVA, G. C. O. E. **Uso de Instrumentos da Gestão do Risco de Cheias como Ferramenta no Planejamento Urbano**. Tese de DSc., COPPE/ UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2017.

SILVA, G. DA C. Conflitos socioambientais e ocupação urbana no Rio de Janeiro. **Cadernos Metr pole**, n. 16, p. 163–186, 2006.

SINDUSCON-RIO – SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRU O CIVIL NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **Custos Unitários Básicos de Constru o - Janeiro/2010**, 2010. Disponível em: <http://memoria.cub.org.br/p_reports.php?sid=20&id=38>

SMAC - SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE. **Relatório de Análise da Cobertura Vegetal e Uso do Solo nas Sub-bacias Hidrográficas. Sub-Bacia da Zona dos Canais, ID 29.** Rio de Janeiro, 2015.

SOUZA, W. W. C.-D. **Análise e propostas de procedimentos técnicos para a elaboração de mapas de paisagem aplicados no planejamento ambiental da RMSP.** Tese de DSc., Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas/ USP, São Paulo, SP, Brasil, 2019.

TARDIN, R. **Espaços Livres: Sistema e Projeto Territorial.** 2^a ed. Rio de Janeiro: Rio Book's, 2016.

TEBALDI, I.M; MIGUEZ, M.G; BATTEMARCO, B. P. *et al.* Índice de Resiliência a Inundações: Aplicação para a Sub Bacia do Rio Joana, Rio de Janeiro, RJ. In: **Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.** Brasília: ABRH, 2015. p. 1–8.

TEBALDI, I. M. Planejamento e Gestão da Paisagem nos Sistemas de Drenagem Urbana. In: **XXXVI Jornada Giulio Massarani de Iniciação Científica, Artística e Cultural (JICTAC-2014).** Rio de Janeiro: UFRJ, 2014.

TINGSANCHALI, T. Urban flood disaster management. **Procedia Engineering**, v. 32, p. 25–37, 2012.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia Ciência e Aplicação.** 1^a ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS: ABRH: EDUSP, 1993.

TUCCI, C. E. M. Águas Urbanas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 97–112, 2008.

ULTRAMARI, C. Significados do Urbanismo. **Pós. Revista do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAUUSP**, v. 16, n. 25, p. 166–184, 2009.

UNDP. **Reducing disaster risk: a challenge for development, a global report.** UNDP Bureau for Crisis Prevention and Recovery. New York: UNDP, 2004.

UNISDR. **How To Make Cities More Resilient: A Handbook For Local Government Leaders.** Genebra: UNISDR, 2017.

UNISDR. **Implementation guide for local disaster risk reduction and resilience strategies**. Geneva: UNISDR, 2018.

UNISDR - UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION. **Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres**. Geneva: UNISDR, 2009.

VERÓL, A. P.; BATTEMARCO, B. P.; MERLO, M. L. *et al.* The urban river restoration index (URRIX) - A supportive tool to assess fluvial environment improvement in urban flood control projects. **Journal of Cleaner Production**, v. 239, 2019.

VERÓL, A. P.; MIGUEZ, M. G.; YAMAMOTO, L. M. T. *et al.* Guidelines for the Urbanization of Environmentally Sensitive Areas Subjected to Floods. In: **Proceedings of the 1st Latin American Conference on Sustainable Development of Energy, Water, and Environment Systems**. Rio de Janeiro: 1st Latin America SDEWES, 2018. p. 1–19.

VERÓL, A. P. **Requalificação Fluvial Integrada ao Manejo de Águas Urbanas para Cidades mais Resilientes**. Tese de DSc., COPPE/ UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2013.

WESSELINK, A. J.; BIJKER, W. E.; DE VRIEND, H. J. *et al.* Dutch Dealings with the Delta. **Nature and Culture**, v. 2, n. 2, p. 188–209, 2016.

WHEATER, H.; EVANS, E. Land use, water management and future flood risk. **Land Use Policy**, v. 26, n. SUPPL. 1, p. 251–264, 2009.

WONG, T. H. F. Water sensitive urban design - the journey thus far. **Journal of Water Resources**, v. 10, n. 3, p. 213–222, 2006.

WONG, T. H. F.; BROWN, R. R. The water sensitive city: Principles for practice. **Water Science and Technology**, v. 60, n. 3, p. 673–682, 2009.

WOODS-BALLARD, B.; WILSON, S.; UDALE-CLARKE, H. *et al.* **The SUDS manual**. Londres: Construction Industry Research and Information Association, 2015.

YAMAMOTO, L. M. T. **Projeto Urbano de Área Ambientalmente Sensível Visando Controle de Cheias, Resiliência Urbana e Requalificação Fluvial - Caso de Loteamento de Vargem Grande**. Projeto Final de Graduação, POLI/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2017.

ZANOBETTI, D.; LORGERÉ, H.; PREISSMAN, A. *et al.* Mekong Delta Mathematical Program Construction. **Journal of the Waterways and Harbours Division**, v. 96, n. WW2, p. 181–199, 1970.

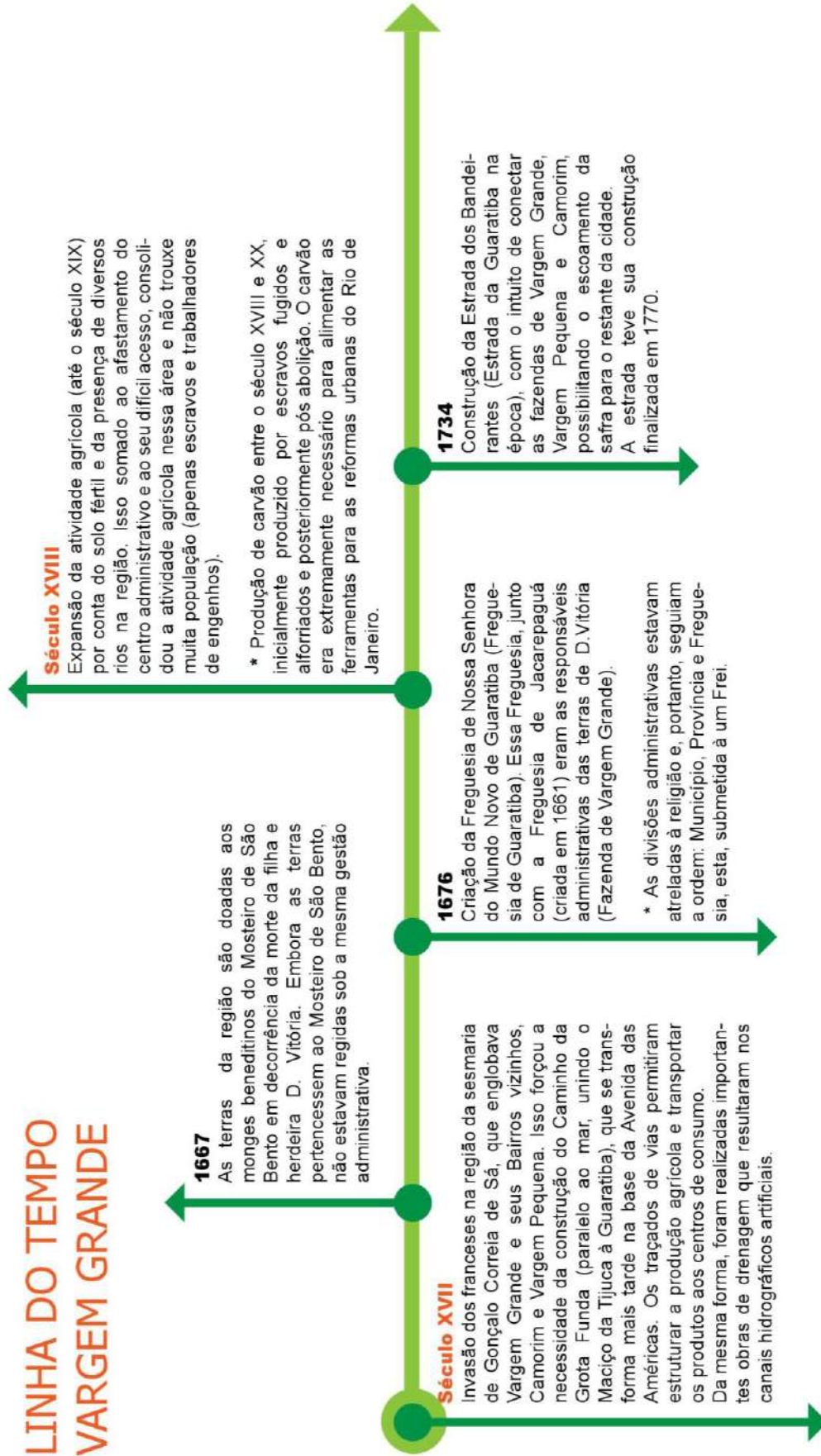
ZONENSEIN, J. **Índice De Risco De Cheia Como Ferramenta De Gestão De Enchentes**. Dissertação de MSc., COPPE/ UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2007.

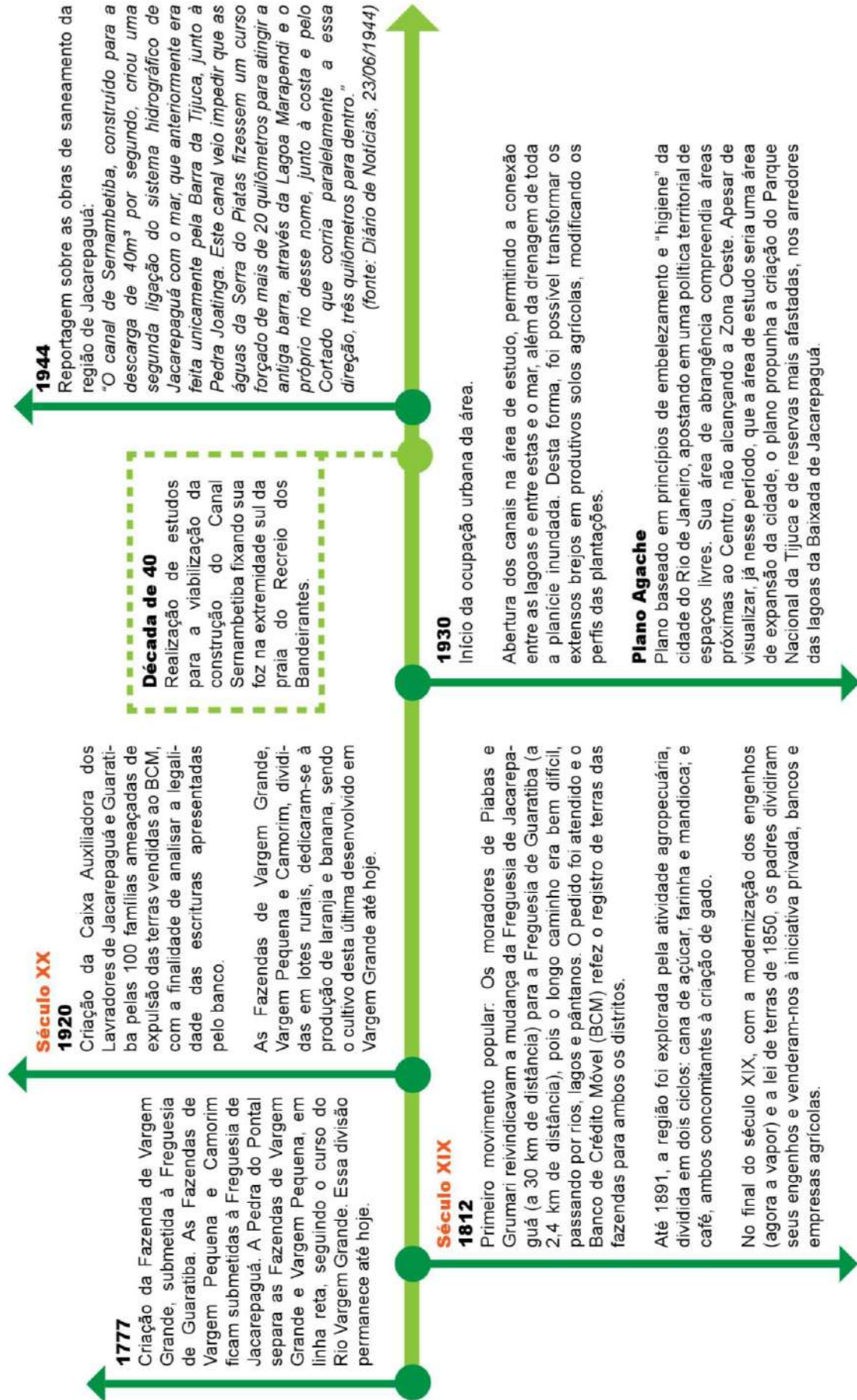
ANEXO

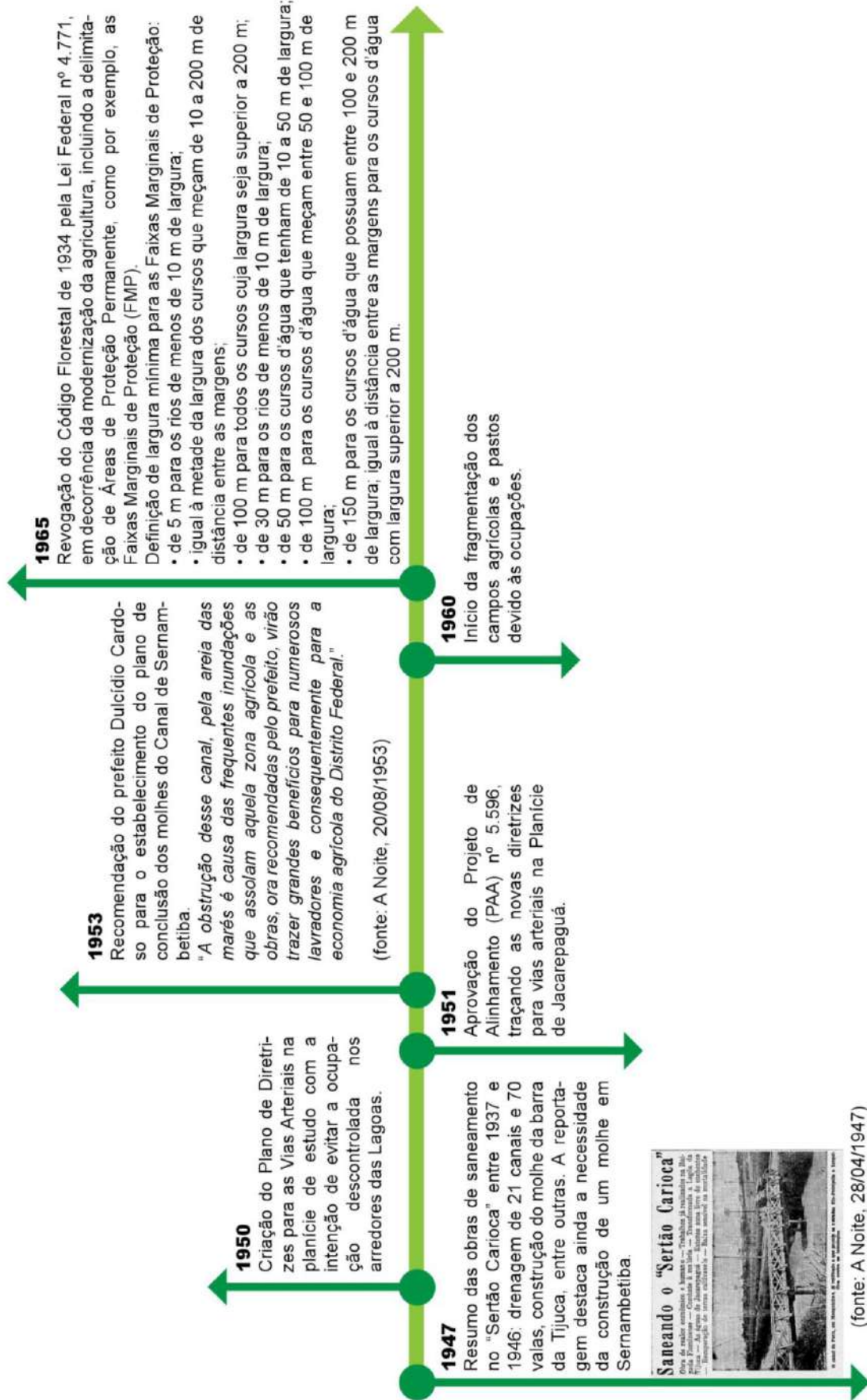
Anexo 1

Linha do Tempo – Vargem Grande e Baixada de Jacarepaguá

LINHA DO TEMPO VARGEM GRANDE







Década de 70

Bloqueio da conexão do Canal de Sernambetiba com o complexo lagunar de Jacarepaguá, devido à construção da Av. das Américas.

1970

Aquisição de terrenos na região desenhada por Lúcio Costa para ser o eixo de expansão da cidade por Carvalho Hosken.

Consolidação da rede viária, por meio de aterros, e da pavimentação, trazendo alterações importantes na rede de água e nos ecossistemas correlativos, principalmente quanto à separação entre a lagoa e as áreas inundáveis, essas agora "acima e abaixo" da Avenida das Américas.

1976

Aprovação do Decreto Municipal nº 322 que regula o zoneamento do Município do Rio de Janeiro.

Canalização dos cursos d'água que atravessavam os traçados das vias, e também cruzamento deles por pontes. Com essa alteração, em muitos casos, houve a redução de suas calhas.

1969

Plano Lúcio Costa (Plano Piloto da Barra e Baixada de Jacarepaguá)

Plano de ocupação da Região da Barra da Tijuca, com o objetivo de conectar o antigo Centro Histórico do Rio de Janeiro com o que seria o novo Centro em Santa Cruz, visando direcionar o crescimento populacional para a zona oeste. Dividiu a região em 46 áreas. As áreas de Vargem Grande, Vargem Pequena, e Sernambetiba deveriam ser incentivadas como áreas de cultura, com sítios, granjas e chácaras.

Neste período, com o objetivo de ocupar a área, conexões de acesso direto para Zona Sul e Centro foram estabelecidas, concentrando os esforços de ocupação de infraestruturas nas proximidades do mar. Devido às cotas muito baixas do relevo, diversos aterros foram aplicados ao longo da Av. das Américas e da Via 11 (atual/Av. Ayrton Senna).

1974

Criação do Parque Estadual da Pedra Branca, através da Lei Estadual nº 2377.



(Fonte: RJ Notícias)



(Fonte: Fernandes, 2013)

1977

Plano Urbanístico Básico da Cidade do Rio de Janeiro (PUB-RIO)

O PUB-RIO buscava fortalecer a posição do município como centralidade metropolitana e referência das economias regional e nacional a fim de promover maior produtividade e bem-estar para a população carioca.

Incorporação pelo PUB-Rio do Plano Piloto de urbanização e zoneamento da Baixada de Jacarepaguá e Barra da Tijuca, aprovado em 1969 por Francisco Negrão de Lima (então governador do Estado da Guanabara) através do Decreto-lei nº 42, passando, portanto, a se submeter às políticas municipais. Dividiu a cidade em 6 Áreas de Planejamento (AP's), subdivididas em 55 Unidades Especiais de Planejamento (UEP's), cada unidade correspondendo a um ou mais bairros.

1981

Promulgação do Decreto Municipal nº 3.158, consolidando a divisão das fazendas em bairros.

Redução de 6 para 5 áreas de planejamento no município, com seus respectivos PEUs. Tais áreas de planejamento têm o objetivo de definir traçados viários, planos de massa e padrões de uso do solo. Essa redução foi feita, unindo-se a AP6 (área da Ilha do Governador) com a AP3 (área da Zona Norte).

Promulgação do Decreto Municipal nº 3046: Avanço legislativo para a ocupação da região das Vargens.

1979

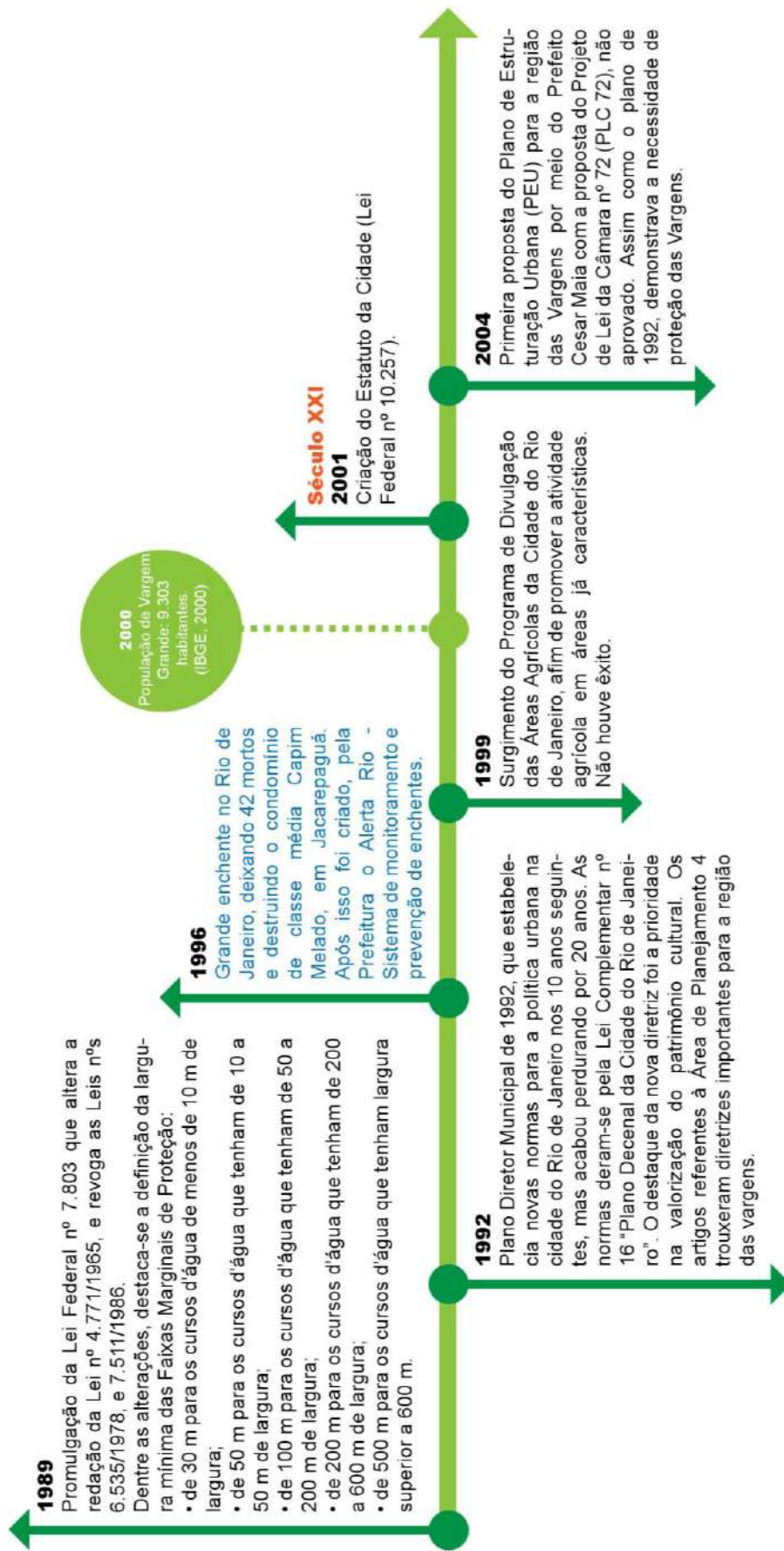
Criação da Lei de Parcelamento do Solo Urbano (Lei Federal nº 6.766)

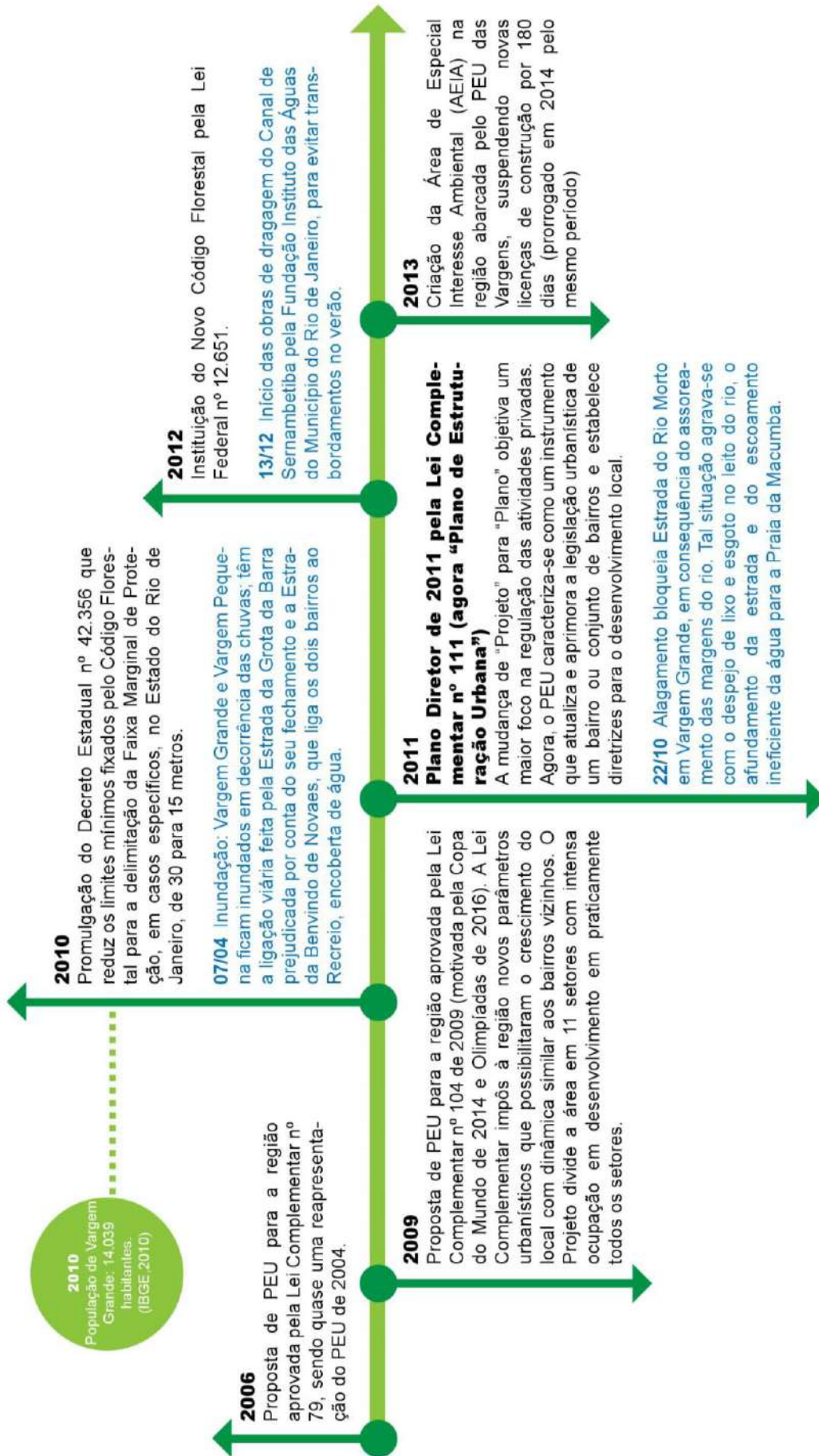
1980

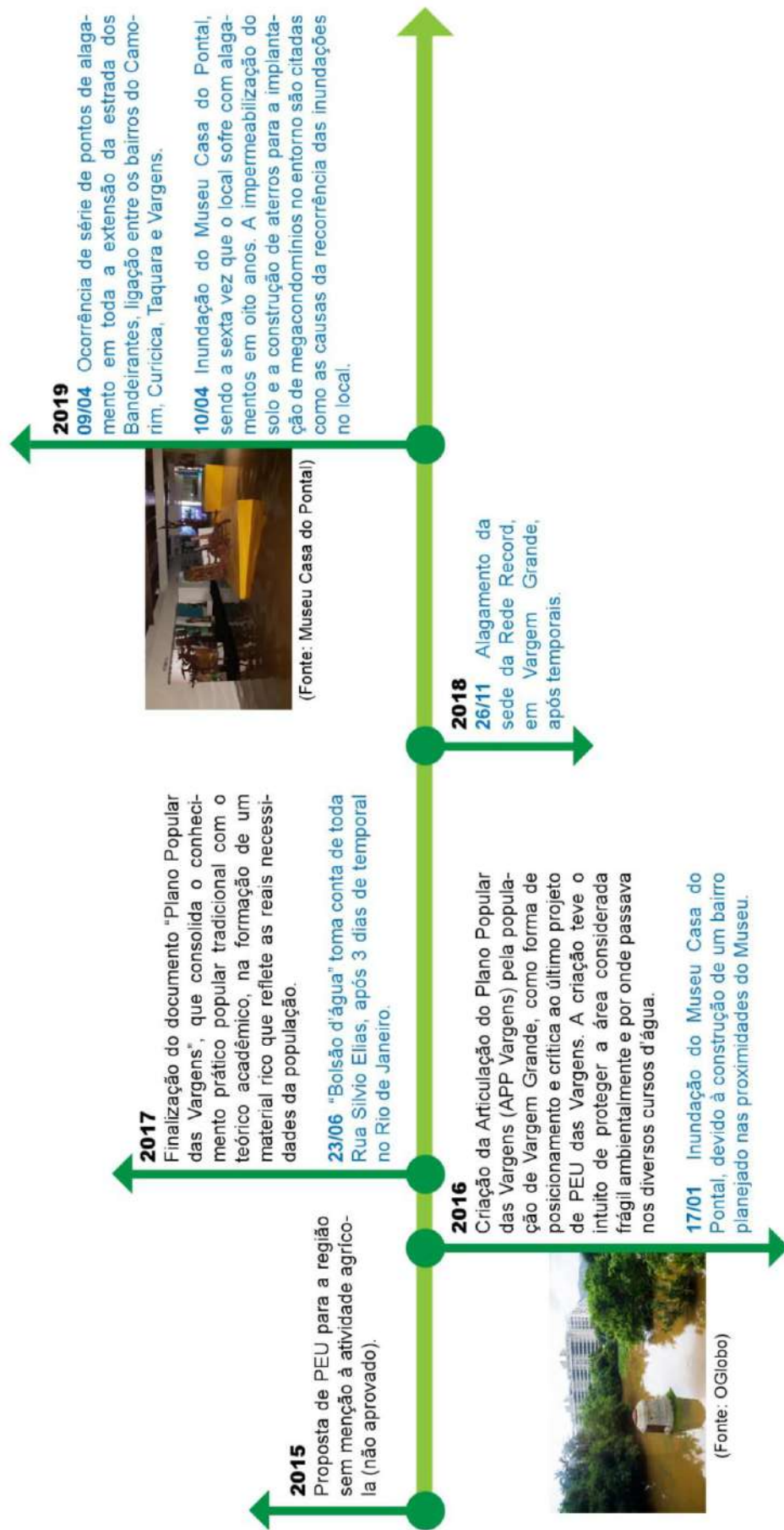
Início do processo de adensamento da planície na Barra da Tijuca e em Jacarepaguá, intensificando o processo de ocupação urbana.

1988

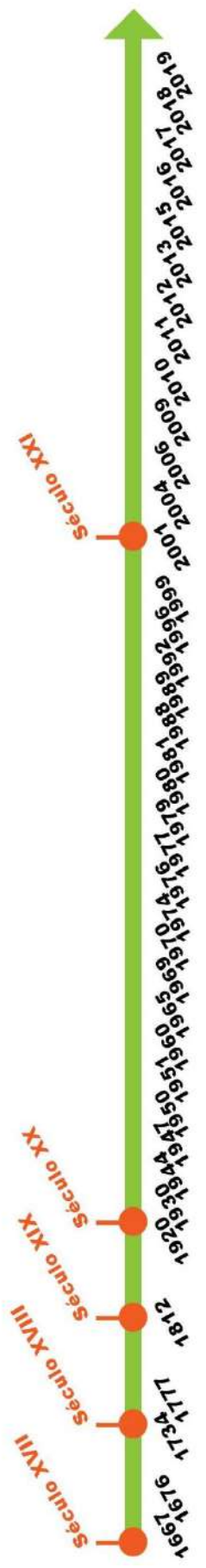
Instituição da Nova Constituição Federal, garantindo a definição da função social da propriedade e a capacidade do estado de distribuidor e mantenedor (de forma justa) do desenvolvimento urbano.







LINHA DO TEMPO VARGEM GRANDE



REFERÊNCIAS – LINHA DO TEMPO

ALAGAMENTOS bloqueiam Estrada do Rio Morto em Vargem Grande. **O Globo**, 2011. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/rio/alagamentos-bloqueiam-estrada-do-rio-morto-em-vargem-grande-2898221>>. Acesso em: 15 jan. 2019.

AMIM, J. **Museu Casa do Pontal, no Recreio, fica inundado após chuva**. O Globo, 2016. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/rio/museu-casa-do-pontal-no-recreio-fica-inundado-apos-chuva-18493637>>. Acesso em: 15 jan. 2019.

BRASIL. Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. **Institui o novo Código Florestal, 1965**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L4771.htm>. Acesso em: 26 mar. 2019.

BRASIL. Lei Nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979. **Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências, 1979**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L6766.htm>. Acesso em: 26 mar. 2019.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. **Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências, 1981**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938compilada.htm>. Acesso em: 26 mar. 2019.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil, 1988**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acesso em: 26 mar. 2019.

BRASIL. Lei nº 7.803, de 18 de julho de 1989. **Altera a redação da Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, e revoga as Leis nºs 6.535, de 15 de junho de 1978, e 7.511, de 7 de julho de 1986, 1989**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L7803.htm>. Acesso em: 26 mar. 2019.

BRASIL. Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001 (Estatuto da Cidade). **Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências, 2001**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/LEIS_2001/L10257.htm>. Acesso em 26 mar. 2019.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. **Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa [...]**, 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm>. Acesso em 26 mar. 2019.

CARDEMAN, R. G. **A Transformação da Paisagem em Área de Expansão Urbana: Planejamento em Vargem Grande na cidade do Rio de Janeiro**. Tese de DSc., PROARQ/ UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2014.

CARIELLO, G. Obras para dar vida ao Rio Morto. **O Globo**, 2012. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/rio/bairros/obras-para-dar-vida-ao-rio-morto-7032789>>. Acesso em: 15 jan. 2019.

FREITAS, T. Sede da Record TV no Rio de Janeiro fica inundada após temporais. **Portal Overtube**, 2018. Disponível em: <<https://portalovertube.com/2018/11/26/sede-da-record-tv-no-rio-de-janeiro-fica-inundada-apos-temporais/>>. Acesso em: 15 jan. 2019.

O SANEAMENTO da Região de Jacarepaguá. **Diário de notícias**, Rio de Janeiro, 23 jun. 1944, n. 6.646, p. 7. Disponível em: <http://memoria.bn.br/DocReader/DocReader.aspx?bib=093718_02&PagFis=0>. Acesso em: Acesso em: 11 maio 2019.

PARQUE Estadual da Pedra Branca pode virar laboratório vivo. **RJNotícias**, 2017. Disponível em: <<http://www.rjnoticias.com/2017/01/parque-estadual-da-pedra-branca-pode- virar-laboratorio-vivo/>>. Acesso em: 15 jan. 2019.

RIO DE JANEIRO (Estado). Lei nº 2.377, de 28 de junho de 1974. **Cria o Parque Estadual da Pedra Branca e dá outras providências**, 1974. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/documents/document/zwew/mde3/~edisp/inea0017768.pdf>>. Acesso em: 26 mar. 2019.

RIO DE JANEIRO (Município). Decreto nº 322, de 3 de março de 1976. **Aprova o Regulamento de Zoneamento do Município do Rio de Janeiro**, 1976. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a1/rj/r/rio-de-janeiro/decreto/1976/32/322/decreto-n-322-1976-aprova-o-regulamento-de-zoneamento-do-municipio-do-rio-de-janeiro>>. Acesso em: 26 mar. 2019.

RIO DE JANEIRO (Município). Decreto Municipal nº 3.158, de 23 de julho de 1981. **Estabelece a denominação, a codificação e a delimitação dos bairros da Cidade do Rio de Janeiro**, 1981. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a/rj/r/rio-de-janeiro/decreto/1981/316/3158/decreto-n-3158-1981-estabelece-a-denominacao-a-codificacao-e-a-delimitacao-dos-bairros-da-cidade-do-rio-de-janeiro-1981-07-23-versao-original>>. Acesso em: 26 mar. 2019.

RIO DE JANEIRO (Município). Decreto Municipal nº 3.046, de 27 de abril de 1981. **Consolida as Instruções Normativas e os demais atos complementares baixados para disciplinar a ocupação do solo na área da Zona Especial 5 (ZE-5), definida e delimitada pelo Decreto nº 322, de 03.03.76**, 1981. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a/rj/r/rio-de-janeiro/decreto/1981/305/3046/decreto-n-3046-1981-consolida-as-instrucoes-normativas-e-os-demais-atos-complementares-baixados-para-disciplinar-a-ocupacao-do-solo-na-area-da-zona-especial-5-ze-5-definida-e-delimitada-pelo-decreto-n-322-de-030376-1988-04-15-versao-consolidada>>. Acesso em: 26 mar. 2019.

RIO DE JANEIRO (Município). Lei Complementar nº 16, de 04 de junho de 1992. **Dispõe sobre a política urbana do município, institui o Plano Diretor Decenal da cidade do Rio de Janeiro e dá outras providências**, 1992. Disponível em: <<https://cm-rio-de-janeiro.jusbrasil.com.br/legislacao/287415/lei-complementar-16-92>>. Acesso em: 26 mar. 2019.

RIO DE JANEIRO (Município). Lei Complementar nº 79, de 30 de maio de 2006. **Institui o Projeto de Estruturação Urbana - PEU dos Bairros de Vargem Grande, Vargem Pequena, Camorim e parte dos bairros do Recreio dos Bandeirantes, Barra da Tijuca e Jacarepaguá, nas XXIV E XVI Regiões Administrativas, integrantes das unidades espaciais de planejamento números 46, 47, 40 e 45 e dá outras providências**, 2006. Disponível em: <<https://cm-rio-de-janeiro.jusbrasil.com.br/legislacao/286708/lei-complementar-79-06>>. Acesso em: 26 mar. 2019.

RIO DE JANEIRO (Município). Lei Complementar nº 104, de 27 de novembro de 2009. **Institui o Projeto de Estruturação Urbana - PEU dos bairros de Vargem Grande, Vargem Pequena, Camorim e parte dos bairros do Recreio dos Bandeirantes, Barra da Tijuca e Jacarepaguá, nas XXIV e XVI Regiões Administrativas [...]**, 2009. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a/rj/r/rio-de-janeiro/lei-complementar/2009/10/104/lei-complementar-n-104-2009-institui-o-projeto-de-estruturacao-urbana-peu-dos-bairros-de-vargem-grande-vargem-pequena-camorim-e-parte-dos-bairros-do-recreio-dos-bandeirantes-barra-da-tijuca-e-jacarepagua-nas-xxiv-e-xvi-regioes-administrativas-integrantes-das-unidades-espaciais-de-planejamento-numeros-46-47-40-e-45-e-da-outras-providencias>>. Acesso em: 26 mar. 2019.

RIO DE JANEIRO (Estado). Decreto nº 42.356, de 16 de março de 2010. **Dispõe sobre o tratamento e a demarcação das faixas marginais de proteção nos processos de licenciamento ambiental e de emissões de autorizações ambientais no Estado do Rio de Janeiro e dá outras providências**, 2010. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=159053>>. Acesso em: 26 mar. 2019.

RIO DE JANEIRO (Município). Lei Complementar nº 111, de 1º de fevereiro de 2011. **Dispõe sobre a política urbana e ambiental do município, institui o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Sustentável do município do Rio de Janeiro e dá outras providências**, 2011. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a1/plano-diretor-rio-de-janeiro-rj>>. Acesso em: 26 mar. 2019.

ROCHA, J. P. M. **O Bairro de Vargem Grande: Recomendações para a Valorização da Cultura em seu Desenvolvimento**. Dissertação de MSc., POLI/ UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2018.

SANEANDO o “Sertão Carioca”. **A noite**, Rio de Janeiro, 28 abr. 1947, n. 12.551, p.10. Disponível em: <http://memoria.bn.br/DocReader/docreader.aspx?bib=348970_04&pasta=ano%20194&pesq=>>. Acesso em: 11 maio 2019.

SANEANDO o “Sertão Carioca”. **A noite**, Rio de Janeiro, 20 ago. 1953, n. 14.483, p.3. Disponível em: <http://memoria.bn.br/DocReader/docreader.aspx?bib=348970_05&pasta=ano%20195&pesq=>>. Acesso em: 11 maio 2019.

TARDIN, R. **Espaços Livres: Sistema e Projeto Territorial**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Rio Book's, 2016.

TRÊS dias após temporal, Rio ainda tem ruas alagadas na Zona Oeste. **G1**, 2017.
Disponível em: <<https://g1.globo.com/rio-de-janeiro/noticia/tres-dias-apos-temporal-rio-ainda-tem-ruas-alagadas-na-zona-oeste.ghtml>>. Acesso em: 15 jan. 2019.