

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Escola Politécnica & Escola de Química
Programa de Engenharia Ambiental

**ÍNDICE DE RISCO DE INUNDAÇÃO COMO FERRAMENTA DE
PLANEJAMENTO URBANO**

Claudia Rakel Pena Pereira



Universidade Federal do Rio de Janeiro
Escola Politécnica & Escola de Química
Programa de Engenharia Ambiental

Claudia Rakel Pena Pereira

**ÍNDICE DE RISCO DE INUNDAÇÃO COMO FERRAMENTA DE
PLANEJAMENTO URBANO**

Rio de Janeiro

2017



Claudia Rakel Pena Pereira

ÍNDICE DE RISCO DE INUNDAÇÃO COMO FERRAMENTA DE PLANEJAMENTO URBANO

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

Orientador (es): Marcelo Gomes Miguez (orientador)

Leandro Torres Di Gregório (coorientador)

Rio de Janeiro

2017

PEREIRA, Claudia Rakel Pena.
Índice de risco de inundação como ferramenta de planejamento urbano/ Claudia Rakel Pena Pereira – 2017. f.216.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica e Escola de Química, Programa de Engenharia Ambiental, Rio de Janeiro, 2011.

Orientadores: Marcelo Gomes Miguez
Leandro Torres Di Gregório

1. Risco de inundação. 2. Modelagem matemática. 3. Planejamento urbano. 4. Sistema de informação geográfica. I. Miguez, Marcelo Gomes e Di Gregório, Leandro Torres. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola Politécnica e Escola de Química. III. Título.

ÍNDICE DE RISCO DE INUNDAÇÃO COMO FERRAMENTA DE PLANEJAMENTO URBANO

Claudia Rakel Pena Pereira

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

Orientador (es): Marcelo Gomes Miguez (orientador)

Leandro Torres Di Gregório (coorientador)

Aprovada pela Banca:

Prof. Marcelo Gomes Miguez, D.Sc., UFRJ.

Prof. Leandro Torres Di Gregório, D.Sc., UFRJ.

Prof. Marcos Barreto de Mendonça, D.Sc., UFRJ.

Prof. Assed Naked Haddad, D.Sc., UFRJ.

Prof. Marcelo de Miranda Reis, Ph.D., IME.

Rio de Janeiro - RJ

Agosto de 2017

A Deus, por ter me concedido o dom da vida e iluminar os meus passos por todos os caminhos.
À virgem Maria que intercedeu por esse momento.

Aos meus pais, Cosmo e Wanderleyde pelo amor, carinho, dedicação, incentivo e confiança em todos os momentos.

A minha irmã Camila por ser amiga, companheira em todos os momentos da minha vida.

A vovó Amada (*in memoriam*) por toda dedicação e carinho.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me proporcionar mais um sonho e por conhecer pessoas especiais ao longo dessa caminhada.

A minha família, por todo amor, carinho, compreensão e dedicação pela qual me ofereceram, e por estarmos juntos nessa estrada.

A Mamãe, Papai e Camila que são as pessoas mais importantes da minha vida, agradeço todo incentivo, confiança e carinho, obrigada minha família.

Ao professor, Marcelo Miguez, por haver me concedido a oportunidade de realizar este trabalho, sob sua supervisão, podendo constantemente contar com seu auxílio. Sua tranquilidade e confiança em meu trabalho foram fundamentais. Obrigada pelo apoio na minha vida acadêmica.

Ao professor Leandro Torres, que acompanhou de perto cada etapa do desenvolvimento deste estudo, oferecendo-me valiosa contribuição.

As minhas amigas, Gabrielly (amiga para todas as horas), Andreia (amiga de longas datas) e Ianic, pelas conversas, risadas, apoio e companheirismo, meu muito obrigada.

Aos colegas do LHC, especialmente Laurent e Matheus que me ajudaram com o meu modelo hidrológico, meus sinceros agradecimentos.

As amigadas que adquiri ao longo desses três anos no Rio de Janeiro, em especial seu Francisco e dona Teresinha que me deram abrigo e muito carinho, sou muito agradecida. Minhas *roommates* Mariana, Filipa e Marlene, foram mais que colegas de quarto se tornaram minhas irmãs. Aos amigos Richard, Rafael, Mônica, Gisela, Rodrigo, Roberto, Fábio, Christophe, Lyssinho, Higson, Isabela, Marcio, Nathy e Renata, obrigada por me acolherem nessa cidade maravilhosa.

Todos que direta e indiretamente contribuíram para a realização desse trabalho.

RESUMO

PEREIRA, Claudia Rakel Pena Pereira. **Índice de risco de inundação como ferramenta de planejamento urbano**. Rio de Janeiro, 2017. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica e Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

O adensamento urbano e os graves problemas da falta de moradia das camadas baixas e médias da população vêm se agravando e, hoje, processos de risco associados à dinâmica fluvial têm gerado gastos e preocupações à gestão pública. O crescimento urbano traz em si riscos que se expressam pela ausência de ajuste e aderência da produção do espaço urbano aos sistemas naturais. A saída para o problema de inundação é o adequado planejamento urbano, associado a um manejo dos corpos hídricos e educação da população o que permite alcançar bons resultados na gestão de risco de inundação. Em vista disso, o objetivo principal deste trabalho consiste no desenvolvimento de um procedimento de análise de risco de inundação que dê suporte para a solução de alguns desses inconvenientes. Trata-se de uma análise multicritério, representada por um índice quantitativo, denominado Índice de Risco de Inundação (IRI), variável de 0 a 100, capaz de conjugar fatores relacionados tanto a características naturais da bacia quanto às características socioeconômicas da população e da região afetada. Nessa abordagem, se propõe utilizar modelos hidrodinâmicos para a representação dos eventos perigosos. Uma vez normalizados, cada um dos fatores que compõe o índice é operado, a partir de uma formulação relativamente simples, composta por somatórios e produtórios ponderados. Assim, o índice constitui uma ferramenta de suporte à decisão que permite: comparação quantitativa entre zonas críticas e comparação quantitativa da efetividade de soluções ou cenários para uma mesma região. O IRI foi aplicado a um estudo de caso na bacia do rio Bacanga, no município de São Luís, utilizando, para isso, um sistema de informações geográficas como ferramenta de apoio. Para validação do índice foi utilizado uma ferramenta de modelagem matemática, o Modcel. Os resultados obtidos pela modelagem matemática são coerentes com a situação mensurada através do IRI, que são também consistentes com observações práticas reais e relatos históricos para a bacia de estudo.

Palavras-chave: Risco de inundação, modelagem matemática e planejamento urbano.

ABSTRACT

PEREIRA, Claudia Rakel Pena Pereira. Flood risk index as an urban planning tool. Rio de Janeiro, 2017. Dissertation (Master degree) - Environmental Engineering Program, Polytechnic School and School of Chemistry, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

The urban densification and the severe housing deficit problem regarding the low and middle strata of the urban population have been worsening for decades and, today, risk processes associated to river dynamics have generated economic losses and several concerns to the public management. Urban growth aggravates risks that are expressed by the absence of adjustment and adherence of the urban space production to the natural system limits. The solution to urban flooding problems lies on an adequate urban planning, in association with the urban water management and education of the population allowing to achieve good results in the management of flood risk. In view of this, the main objective of this work is to develop a flood risk analysis procedure that targets some of these drawbacks. A multi-criteria analysis is used to build a quantitative index, called Flood Risk Index (IRI), varying from 0 to 100, capable of combining factors related to both the natural characteristics of the basin and the socioeconomic characteristics of the population and the affected region. Once normalized, each of these factors is operated from a relatively simple formulation, composed of weighted sums and products – a mathematical hydrodynamic model is requested in this proposal. Thus, the index is a decision support tool that allows: a quantitative comparison between critical zones and a quantitative comparison among different alternatives effectiveness for the same region. The IRI was applied to a case study in the Bacanga river basin, in the municipality of São Luís, using a geographic information system as a supporting tool. To validate this index, a mathematical modeling tool, Modcel, was used. The results obtained are consistent with the situation measured by IRI, which was also able to simulate practical measures and historic reports for the studied basin.

Keywords: Flood risk, mathematical modeling and urban planning.

ÍNDICE

1 INTRODUÇÃO	19
1.1 Contexto	19
1.2 Justificativa	20
1.3 Objetivos	22
1.4 Estratégia de trabalho de Pesquisa	22
1.5 Organização do trabalho	23
2 CRESCIMENTO URBANO	25
2.1. Planejamento Urbano	25
2.2 Crescimento populacional, déficit habitacional e ocupação de áreas de risco	28
2.3 Impactos nas infraestruturas urbanas	34
3 RISCO E RESILIÊNCIA	38
3.1 Conceitos	38
3.2 Componentes de risco	42
3.3 Avaliação de risco	46
3.4 Ferramentas de gestão de risco	53
3.5 Resiliência	55
4 GESTÃO INTEGRADA DAS ÁGUAS URBANAS	61
4.1 Inundações	62
4.2 Plano de Águas Urbanas	66
4.3 Gestão de Risco de Inundação	68
4.4 Medidas de controle de inundação	72
5 FERRAMENTAS DE GEOPROCESSAMENTO E MODELAGEM MATEMÁTICA	78
5.1 GEOPROCESSAMENTO E SIG	78
5.1.1 Conceitos de Geoprocessamento e SIG	78
5.1.2 Componentes do SIG	79
5.1.3 Etapas da construção de produtos a partir da operação de um SIG	82
5.1.4 Alcance e limitação do Geoprocessamento	82
5.1.5 O uso do SIG no planejamento urbano e gestão de risco de inundação	83

5.2 MODELAGEM MATEMÁTICA	85
5.2.1 MODCEL: Modelo de células para escoamento em bacias urbanas	85
5.3. ÍNDICE E INDICADORES	88
5.3.1 Características dos Indicadores	90
5.3.2 Componentes dos Índices com base na análise multicritério	94
6 METODOLOGIA	97
6.1 Etapas de Geoprocessamento	97
6.2 Etapas de Índices e Indicadores	99
6.2.1 Formulação: Produtório Ponderado de Somatórios Ponderados	101
6.2.2 Escolhas dos indicadores e normalização	101
6.2.2.1 Subíndice Suscetibilidade à Inundação	103
6.2.2.2 Subíndice Vulnerabilidade Social	108
6.2.2.3 Atribuição de pesos	113
6.2.2.4 Domínio do Índice do Risco de Inundação	113
6.3 Etapas de Modelagem Matemática	114
7 ESTUDO DE CASO: Bacia hidrográfica do rio Bacanga	118
7.1 Localização da área de estudo	118
7.2 Características físicas da bacia hidrográfica do rio Bacanga	121
7.3 Característica urbana da bacia do Bacanga	139
7.4 Breve histórico de desastres socioambientais no município de São Luís – MA.	177
7.5 Aplicação do IRI à bacia hidrográfica do rio Bacanga	184
8 CONCLUSÕES E SUGESTÕES	219
REFERÊNCIAS	222

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 Relações entre os componentes do risco	42
Figura 3.2 Etapas de análises dos riscos	48
Figura 3.3 Estruturas de zonas de aceitabilidade de risco	49
Figura 4.1 Visão Integrada	62
Figura 4.2 Perdas e mortes registradas	66
Figura 4.3 Estrutura do Plano de Águas Pluviais	67
Figura 4.4 Gerenciamento de risco	69
Figura 5.1 Componentes do SIG	80
Figura 5.2 Conceito de estruturação de informações por camadas	81
Figura 5.3 Funcionamento esquemático de uma célula de escoamento	86
Figura 5.4 Representação esquemática de uma região dividida em células, mostrando interfaces dos escoamentos superficiais	87
Figura 5.5 Considerações quanto à constituição do índice	90
Figura 5.6 Interpolação com função constante	93
Figura 5.7 Interpolação com função linear	93
Figura 5.8 Exemplo de função de normalização empírica	94
Figura 6.1 Fluxograma da Metodologia	98
Figura 7.1 Mapa de localização da Ilha do Maranhão	119
Figura 7.2. Mapa de localização da bacia hidrográfica do Bacanga	120
Figura 7.3 Mapa de Geologia da bacia hidrográfica do Bacanga	122
Figura 7.4 Mapa Altimétrico da bacia hidrográfica do Bacanga	128
Figura 7.5 Mapa de Declividade da bacia hidrográfica do Bacanga	129
Figura 7.6 Mapa de Solos da bacia hidrográfica do Bacanga	131
Figura 7.7 Mapa hidrográfico da bacia do Bacanga	134
Figura 7.8 Mapa de cobertura vegetal da bacia hidrográfica do rio Bacanga/1984	137
Figura 7.9 Mapa cobertura vegetal da bacia hidrográfica do rio Bacanga/ 2014	138
Figura 7.10 Mapa de localização da Barragem do Bacanga	142
Figura 7.11 Crescimento urbano da Ilha do Maranhão	145
Figura 7.12 População residente por setor censitário	148

Figura 7.13 Mapa do Crescimento urbano da bacia do Bacanga – Anos 1984 e 2014	150
Figura 7.14 Mapa – Área de Proteção da Barragem do Bacanga	153
Figura 7.15 Mapa de Aglomerações Subnormais da bacia do rio Bacanga	157
Figura 7.16 Mapa de Macrozoneamento Ambiental - Plano Diretor (Vigente) / Bacia do rio Bacanga	161
Figura 7.17 Mapa da Proposta do novo Macrozoneamento Ambiental/ Bacia do Bacanga	163
Figura 7.18 Mapa -Macrozoneamento Urbano da Bacia do Bacanga	165
Figura 7.19 Mapa do Zoneamento da Bacia Hidrográfica do Bacanga (Vigente 92)	168
Figura 7.20 Mapa da Proposta do Zoneamento da bacia hidrográfica do rio Bacanga	170
Figura 7.21 Mapa de áreas restritas à ocupação	172
Figura 7.22 Mapa – Obras realizadas na bacia hidrográfica do Bacanga	176
Figura 7.23 Pontos de Inundação do Município de São Luís	180
Figura 7.24 Subíndice Suscetibilidade – Indicador Vegetação	187
Figura 7.25 Subíndice Suscetibilidade – Indicador Pedologia	188
Figura 7.26 Subíndice Suscetibilidade – Indicador Altimetria	189
Figura 7.27 Subíndice Suscetibilidade – Indicador Declividade	190
Figura 7.28 Mapa de áreas suscetíveis à inundação da bacia hidrográfica do Bacanga	193
Figura 7.29 Subíndice Vulnerabilidade - Indicador Educação	196
Figura 7.30 Subíndice Vulnerabilidade – Indicador Idade	197
Figura 7.31 Subíndice Vulnerabilidade – Indicador Renda	198
Figura 7.32 Subíndice Vulnerabilidade – Indicador Aglomerados Subnormais	199
Figura 7.33 Subíndice Vulnerabilidade – Indicador Densidade Demográfica	201
Figura 7.34 Mapa de vulnerabilidade à inundação da bacia hidrográfica do Bacanga	204

Figura 7.35 Mapa de Risco de Inundação na bacia do Bacanga	207
Figura 7.36 Mapa de Risco de Inundação na bacia do Bacanga (Para Equação 7.5)	208
Figura 7.37 Ocupação próxima ao canal da Salina do Sacavém	211
Figura 7.38 Mancha de inundação do rio Bacanga	213
Figura 7.39 Mancha de inundação do rio Bacanga – TR25	214
Figura 7.40 Mancha de inundação do rio Bacanga – TR 50	215
Figura 7.41 Comparação entre aplicação do IRI, Subíndice de Suscetibilidade e a mancha de inundação obtida através do Modcel	218

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 Tipologia de danos decorrentes de inundações urbanas	45
Tabela 4.1 Fases, ações e componentes de gestão do risco e situação atual de aplicação nas cidades brasileiras	71
Tabela 4.2 Medidas para controle das inundações	72
Tabela 4.3 Principais características das medidas estruturais	74
Tabela 4.4 Tipos de técnicas compensatórias	77
Tabela 5.1 Exemplo de normalização por classes	93
Tabela 6.1 Classificação de danos causados por inundações	102
Tabela 6.2 Normalização Vegetação	104
Tabela 6.3 Normalização Pedologia.	105
Tabela 6.4 Normalização Altimetria	106
Tabela 6.5 Normalização Declividade	107
Tabela 6.6 Normalização Educação	108
Tabela 6.7 Normalização Idade	108
Tabela 6.8 Normalização Renda	109
Tabela 6.9 Normalização Aglomerados Subnormais	110
Tabela 6.10 Normalização Densidade Demográfica	111
Tabela 6.11. Valores de Runoff	112
Tabela 6.12. - Valores de C' para cálculo de Runoff para áreas rurais	112
Tabela 7.1. Feições Geomorfológicas e suas respectivas áreas ocupadas	125
Tabela 7.2. Classes de declividade	127
Tabela 7.3. Dados climatológicos médios mensais de São Luís	132
Tabela 7.4. População do município de São Luís	143
Tabela 7.5. Macrozoneamento Ambiental (Plano Diretor Vigente)	159
Tabela 7.6. Macrozoneamento Ambiental (Plano Diretor - Proposta)	162
Tabela 7.7. Notas das classes de suscetibilidade	192
Tabela 7.8.1. Número de setores censitários de aglomerados subnormais por características topográficas	195
Tabela 7.8.2. Número de setores censitários de aglomerados subnormais por localização predominante do sítio urbano	195

Tabela 7.9. Indicador Densidade Demográfica	202
Tabela 7.10. Notas das classes de vulnerabilidade.	217

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 7.1. Distribuição da população por faixa etária	147
Gráfico 7.2. População residente por sexo e idade	147
Gráfico 7.3. Nível salarial da população de São Luís com rendimentos	154
Gráfico 7.4. Escolaridade da População de São Luís	155
Gráfico 7.5. Percentual dos desastres naturais mais recorrentes do Estado do Maranhão, no período de 1991 a 2012	178
Gráfico 7.6. Número de afetados por desastres naturais no Maranhão	178

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 7.1. Síntese das principais unidades geológico mapeados na bacia do Bacanga. K = Cretáceo, T = Terciário, Q = Quaternário, N.A = Nível de água, Prof.= Profundidade.	123
---	-----

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contexto

Os problemas ambientais não ocorrem de forma homogênea nos espaços urbanos; geralmente atingem mais intensamente espaços físicos ocupados pelas classes menos favorecidas, cuja distribuição espacial está associada a desvalorização do próprio espaço urbano (JORGE, 2011). O último censo demográfico, realizado no Brasil em 2010, aponta um déficit habitacional de 6,490 milhões de unidades, que corresponde a 12,1% dos domicílios do país.

O adensamento urbano e os graves problemas da falta de moradia das camadas baixas e médias da população vêm se agravando e, hoje, processos de risco associados à dinâmica fluvial têm gerado gastos e preocupações à gestão pública. O crescimento urbano traz em si riscos que se expressam pela ausência de ajuste e aderência da produção do espaço urbano aos sistemas naturais.

A situação das populações em área de risco está mais relacionada ao processo de produção da cidade, e dos terrenos que são deixados de lado para tal segmento populacional, do que a uma inadequação na racionalidade de parcelas da população nas escolhas de seus lugares de moradia (ACSELRAD, 2002; MARANDOLA JR., 2012). Nessa perspectiva, esses problemas existentes não são resultado direto do aumento da população urbana. Trata-se da ausência de políticas públicas que articulem o desenvolvimento deste processo.

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) constatou que entre os anos de 2008 a 2013 40,9% dos municípios brasileiros sofreram pelo menos um desastre natural. Foram 2.276 cidades atingidas por inundações graduais, enxurradas bruscas e/ou deslizamentos de encostas, durante esses cinco anos. O Perfil dos Municípios Brasileiros 2013 (IBGE), mostra que só as enchentes graduais deixaram 1.406.713 pessoas desabrigadas ou desalojadas. A pesquisa constatou que 48% das 5.570 prefeituras do País não tinham instrumento para enfrentar essas ocorrências (MUNIC, 2013).

No Brasil, os desastres naturais estão associados, principalmente, à utilização intensiva do solo pelo homem, sem a preocupação de harmonizar a expansão urbana com a conservação ambiental. De fato, esses desastres naturais tem um viés claramente sócio natural. Saber conviver com as inundações através da prevenção/mitigação dos seus impactos adversos é um princípio que deveria ser adotado pela sociedade civil e órgãos

públicos através da integração de um planejamento urbano/ambiental com a gestão de risco de inundação.

O que se observa nas cidades mais atingidas são poucos investimentos, tanto em medidas estruturais (obras de infraestrutura) quanto em medidas não-estruturais (mapeamento, previsão, planejamento, entre outros). Os sistemas de previsão de inundações e o mapeamento das áreas atingidas por inundações seriam medidas não-estruturais essenciais para o planejamento de municípios que tendem a ter seu desenvolvimento às margens de um rio. Essas medidas auxiliariam substancialmente na amenização dos danos decorrentes das inundações.

Uma ação consequente de prevenção de desastres hidrológicos urbanos, porém, não pode prescindir de um combate efetivo ao déficit habitacional, que deve se desenvolver em conjunto com ações de planejamento urbano e com execução de intervenções tais, como obras de engenharia para controle de inundações e reassentamento seletivo de moradias, que reduzam os riscos existentes a níveis aceitáveis. Porém, a falta de um planejamento integrado e estratégico reflete a fragilidade da gestão das águas urbanas no país.

Neste trabalho adotou-se o conceito de risco utilizado pela International Strategy for Disaster Reduction (UN-ISDR, 2007), que define risco como a probabilidade de consequências prejudiciais ou perdas esperadas (mortes, lesões, atividades econômicas interrompidas ou danos ambientais) resultantes de interações entre os riscos naturais ou induzidas pelo homem e as condições vulneráveis.

1.2 Justificativa

A ausência de um planejamento adequado do uso do solo e sua ocupação irregular crescente acarretam problemas permanentes no processo de escoamento das águas pluviais, principalmente no tocante à drenagem das áreas urbanizadas. A vulnerabilidade das cidades brasileiras aos desastres naturais está associada, em grande parte, à incapacidade de prover moradia adequada para toda a população e promover um ordenamento territorial que realmente cumpra as funções sociais da cidade. A população com renda mais baixa, sem alternativa de moradia legal, constrói em terrenos públicos ou privados com menor valor de mercado, que normalmente são áreas sob ameaças de eventos tais como inundações ou deslizamento de terra. Além disso, a ocupação desordenada do espaço propaga o risco para áreas antes não afetadas, pois utiliza um

espaço sensível e, no caso das inundações, ocupa o espaço que seria utilizado por estas no processo natural.

Assim, é necessário que as áreas suscetíveis a eventos danosos, como inundações sejam reconhecidas e consideradas nos planos diretores e nos zoneamentos das cidades, juntamente com suas escalas de análise e os grupos sociais ou edificações mais vulneráveis. Tal inserção deve ser feita através de um diagnóstico elaborado e um plano de ação para redução de riscos, utilizando os instrumentos legais de controle do uso e ocupação do solo em consonância com o Estatuto das Cidades. Os riscos devem ser integrados às diferentes práticas de gestão pública. A gestão de riscos reflete escolhas, a forma de integração às políticas de ordenamento territorial; enfim, ações preventivas sobre o “território de risco”, onde ocorrem ameaças, segundo Zanirato et al. (2008).

A elaboração de um Plano Diretor juntamente com uma Gestão de Risco de Inundação de uma cidade ou região metropolitana deve considerar as bacias hidrográficas sobre as quais a urbanização se desenvolve. Diversos meios associados, tais como planejamento e manejo de águas pluviais podem garantir um desenvolvimento urbano de baixo impacto, como medida prioritária no trato com as águas urbanas, aperfeiçoando soluções de projetos de drenagem, bem como a renaturalização de rios e córregos e a criação de áreas de preservação que contenham o avanço da urbanização, garantindo espaço necessário para contenção de cheias sem causar danos a população e consequentemente preservando e valorizando as características naturais dessas áreas.

De acordo com a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNAD Contínua) o Maranhão tem proporcionalmente a maior quantidade de domicílios com moradores de baixa renda no Brasil, os rendimentos domiciliares *per capita* 2015 para o Estado são de 509 reais (IBGE, 2015). No Maranhão, 61,4% do déficit habitacional são compostos pelos ¹domicílios precários, o maior percentual do país.

De acordo com a Prefeitura de São Luís, a bacia hidrográfica do rio Bacanga é inserida totalmente no município de São Luís, maior parte de sua população é de renda baixa, mais de 90% das famílias ganham menos que dois salários mínimos. O sistema de drenagem das águas pluviais é inadequado e, cerca de 500 famílias vivem em áreas de alto risco de inundação.

¹ Domicílios precários: o conjunto de assentamentos urbanos inadequados ocupados por moradores de baixa renda. Inclui: cortiços, loteamentos irregulares de periferia, favelas e assemelhados, além dos conjuntos habitacionais degradados (Brasil, 2010).

Portanto, este trabalho consiste no desenvolvimento de uma metodologia de análise de risco de inundação (denominado Índice de Risco de Inundação - IRI). Ela considera não só as características físicas da bacia (altimetria, declividade, etc.), propriedades da inundação, mas também características socioeconômicas da população afetada. Essa metodologia pode ser usada como ferramenta de suporte à decisão, ao permitir comparação quantitativa entre zonas críticas. Ademais, busca avaliar a relação do planejamento urbano com o processo de risco de inundação, bem como as ferramentas e procedimentos de gestão de risco existentes no município de São Luís.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo principal deste trabalho consiste no desenvolvimento de uma metodologia de análise de risco de inundação. O Índice de Risco de Inundação (IRI), constitui, assim, uma metodologia simples de análise multicritério, que combina características físicas da bacia hidrográfica com a situação social da população afetada, levando uma avaliação mais realista das áreas expostas ao risco.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Relacionar o crescimento urbano com o agravamento de riscos de cheias;
- Avaliar as ações governamentais para redução de risco;
- Elaborar mapas temáticos de apoio à gestão de uso e ocupação do solo, em função do risco de inundação da bacia do rio Bacanga, São Luís -MA.

1.4 Estratégia de trabalho de Pesquisa

Para alcançar os objetivos propostos nesta dissertação, definiu-se um roteiro de pesquisa visando discutir a relação entre o crescimento urbano acelerado e as problemáticas relacionadas as inundações, associando-os com as práticas de uso e ocupação do solo, através da avaliação do planejamento urbano e da gestão de risco de inundação.

A metodologia de pesquisa adotada neste estudo procedeu-se em sete etapas, assim descritas:

Primeira Etapa: foram compilados conhecimentos sobre o planejamento urbano e gestão de risco de inundação, através de:

- levantamento de pesquisas sobre a importância do planejamento urbano e gestão de risco de inundação;
- levantamento documental a partir do Plano Diretor da Cidade, Lei de Zoneamento, Parcelamento e Uso e Ocupação do Solo Urbano do município de São Luís - Ma.;
- e caracterização da cidade de São Luís - MA quanto aspectos naturais, urbanos e socioeconômicos através de levantamento bibliográfico.

Segunda Etapa: entrevistou-se a superintendente de Defesa Civil do município de São Luís, Elitânia Márcia Barros, a fim de compreender o funcionamento e a estrutura do órgão, o método da entrevista foi do tipo estruturada, usaram-se questões fechadas acerca de levantamentos hidrológicos, monitoramento e alerta, mapas de risco entre outras.

Terceira Etapa: elaboração e análise de mapas temáticos, para auxiliar no planejamento urbano do município de São Luís, Maranhão.

Quarta Etapa: elaboração do Índice de Risco de Inundação.

Quinta Etapa: aplicação do modelo hidrodinâmico para confirmação do diagnóstico de inundações.

Sexta Etapa: avaliação integrada da gestão de risco de inundação na bacia do rio Bacanga, cruzando as informações dos diagnósticos dos aspectos físicos da bacia do rio Bacanga e socioeconômicos da população afetada e de planejamento urbano.

Sétima Etapa: conclusões, recomendações e proposições.

1.5 Organização do trabalho

Este trabalho é constituído por oito capítulos, incluindo esta introdução, estruturados da seguinte forma.

O capítulo 2 apresenta os impactos sociais, econômicos e ambientais que desafiam os planejadores da cidade, levando a necessidade da emergência e consolidação do planejamento urbano, resultantes do rápido crescimento das áreas urbanas.

No capítulo 3 aprofunda-se no conceito de risco que está relacionado com a incerteza e a variabilidade, em função da probabilidade de ocorrência do perigo e sua gravidade em termos ação sobre vulnerabilidades urbanas, apresentando seus componentes e avaliação. Além disso, aborda a discussão de resiliência das cidades em relação as inundações urbanas.

O capítulo 4 aborda a gestão integrada das águas urbanas, apresentando questões sobre as inundações, plano de águas urbanas, gestão de risco de inundações, medidas de controle de inundação e uma discussão sobre os arranjos e as capacidades institucionais alinhadas a esse tema.

No capítulo 5 são apresentados conceitos de Geoprocessamento e SIG, de Modelagem Matemática, assim como de Índices e Indicadores e Ferramentas de Gestão de Risco, que servirão de embasamento para a metodologia aplicada na avaliação de gestão de risco de inundação.

No capítulo 6, são descritos os procedimentos passo a passo propostos aqui neste estudo.

O capítulo 7, apresenta o estudo de caso da cidade de São Luís - MA, contendo uma visão geral de suas características de urbanização e aspectos naturais, além disso, mostra a discussão sobre o planejamento urbano, gestão de risco e o diagnóstico institucional. Aqui o foco recai sobre a Bacia do Rio Bacanga.

O capítulo 8 são apresentadas as conclusões e sugestões sobre o estudo proposto.

2 CRESCIMENTO URBANO

2.1 Planejamento Urbano

O desenvolvimento do capitalismo industrial brasileiro, iniciado no período de substituição de importações e acentuado nas décadas de 1960 e 1970, fomentou os chamados "problemas urbanos" e com eles, a necessidade de buscar soluções a partir das propostas de um planejamento urbano (MONTE - MÓR, 2007). A definição de quais políticas e ações devem ser adotadas nas cidades é um grande desafio e deve envolver os planejadores, gestores, governo e sobretudo a população que deve ter participação ativa no processo de mudança.

Para Ferrari (1991), planejamento, em um sentido amplo, é um método de aplicação, contínuo e permanente, destinado a resolver, racionalmente, os problemas que afetam a sociedade situada em um espaço, em determinada época, através de uma previsão ordenada capaz de antecipar suas ulteriores consequências. Ferrari (ibid) afirma, ainda, que a integração do processo de planejamento deve ser feita por todas as esferas do governo (federal, estadual e municipal) levando em conta os aspectos físico-territoriais, econômicos e sociais.

De acordo Fainstein (2016), o planejamento urbano é responsável pelo projeto e regulação dos usos do espaço, que incidem sobre a forma física, funções econômicas e impactos sociais do ambiente urbano e na localização das diferentes atividades dentro dele. Dentre as atribuições do planejamento urbano destaca-se o planejamento do sistema de espaços livres, com destaque para áreas verdes, pois tem grande importância no aumento da qualidade de vida da população e a revitalização de áreas desvalorizadas da cidade.

Com a promulgação da Constituição de 1988 e, posteriormente, com a instituição do Estatuto das Cidades, em 2001, o planejamento urbano brasileiro deu um grande salto. O Estatuto das Cidades é a lei federal que regulamenta a política urbana apresentando princípios, diretrizes e instrumentos que garantam sua implementação. As diretrizes previstas estão voltadas para garantir cidades mais justas e cidadania plena, entre elas destacam-se a garantia do direito a cidades sustentáveis, entendendo como direito a terra urbana, a moradia, ao saneamento básico, à infraestrutura urbana, ao transporte e aos serviços públicos e a gestão democrática por meio da participação da comunidade.

Quanto aos instrumentos da política urbana, para garantir a construção de uma política urbana que traduza o direito de todos à cidade, estes são definidos em três conjuntos principais:

- I. O primeiro conjunto propõe planos nacionais, regionais e estaduais, planejamento das regiões metropolitanas, municipais, prevendo em especial o plano diretor, o parcelamento, uso e ocupação do solo, zoneamento ambiental e os planos, programas e projetos setoriais;
- II. O segundo conjunto prevê institutos tributários e financeiros, tais como imposto sobre a propriedade predial e territorial urbana, contribuição de melhorias e incentivos e benefícios fiscais e financeiros.
- III. O terceiro conjunto apresenta institutos jurídicos e políticos, como a desapropriação, a concessão de direito real de uso, direito de superfície e de preempção, outorga onerosa do direito de construir e de alteração de uso, operações urbanas consorciadas, regularização fundiária, assistência técnica e jurídica para comunidades e grupos sociais menos favorecidos, referendo popular e plebiscito e demarcação urbanística para fins de regularização fundiária, incluindo este último pela Lei 11.977, de 2009.

Os instrumentos estão relacionados às transformações urbanas e serão aplicados conforme a estratégia de desenvolvimento urbano de cada cidade, sendo sua regulamentação efetivada e expressa no Plano Diretor.

O Plano Diretor é o instrumento básico da política municipal de desenvolvimento e expansão urbana, que tem como objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e garantir o bem-estar de seus habitantes. De acordo com o Carvalho (2001), o Plano Diretor tem-se constituído basicamente em instrumento definidor das diretrizes de planejamento e gestão territorial urbana, ou seja, do controle do uso, ocupação, parcelamento e expansão do solo urbano. Além desse conteúdo básico, é frequente a inclusão de diretrizes sobre habitação, saneamento, sistema viário e transportes urbanos.

De acordo com Santos Junior e Montandon (2011), uma das grandes expectativas em relação aos planos diretores aprovados após o Estatuto da Cidade se encontrava na possibilidade de intervenção pública no processo de desenvolvimento urbano, especialmente no que se refere à promoção do acesso à moradia. No entanto, os autores afirmam que os planos diretores se mostram poucos objetivos e não favorecem mudanças formais nas formas de apropriação social da cidade, nem, ao menos, enfatizam

a promoção do acesso à moradia. Nota-se, de uma forma geral, a dificuldade dos municípios em tornar operacional as diretrizes propostas em nível federal (de cunho mais geral), apesar do arsenal de ferramentas disponibilizado no Estatuto da Cidade.

Em São Luís, ficou instituído o Plano Diretor do Município, através da Lei nº 4.669 de 11 de outubro de 2006, definido como principal instrumento normativo e orientador da política de desenvolvimento urbano e rural com sustentabilidade socioambiental. Seus objetivos gerais são:

- I. garantir o cumprimento das funções sociais da cidade e da propriedade urbana e rural, através do direito à moradia digna, ao saneamento ambiental, à infraestrutura urbana, ao transporte e serviços públicos de qualidade para todos os cidadãos;
- II. priorizar o bem-estar coletivo em relação ao individual;
- III. promover a regularização fundiária e a urbanização de áreas ocupadas por população de baixa renda, consideradas a situação socioeconômica da população e as normas ambientais, entre outros.

Percebe-se, nestes objetivos, a definição de diretrizes gerais coerentes com as diretrizes federais e cujas preocupações são pertinentes e louváveis, assim como manifestam-se resultados desejáveis para qualquer cidade. Porém, o plano, em escala municipal e, portanto, operacional, deveria estabelecer os caminhos e critérios para implantar tais objetivos e avaliar a sua consecução.

O zoneamento é um instrumento utilizado no plano diretor, através do qual a cidade é dividida em áreas sobre as quais incidem diretrizes diferenciadas para uso e a ocupação do solo, particularmente em relação a aplicação dos índices urbanísticos. Sua forma mais tradicional é o zoneamento de uso e ocupação do solo, de matriz funcionalista, que prevê uma segregação de usos - industrial, comercial e residencial ou mistos - com maior ou menor grau de flexibilidade e em combinações destes usos. Mais recentemente, outras identificações de usos, como áreas de interesse social ou de interesse ou fragilidade ambiental também vêm sendo destacadas, mas ainda de uma forma funcional classificatória para fins de ordenação básica.

Usualmente, o zoneamento é definido em duas escalas: a primeira, denominada de macrozoneamento, que consiste na delimitação das zonas urbana, de expansão urbana, rural e macrozonas especiais (geralmente de proteção ambiental) do município; a segunda, o zoneamento propriamente dito, que estabelece as normas de uso e ocupação para cada macrozona.

A Lei 3.253 de 29 de dezembro de 1992 (anterior ao novo plano diretor e ainda vigente), dispõe sobre o Zoneamento, Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo Urbano e dá outras providências para a cidade de São Luís. Esta ordena a divisão do município em zonas, define normas de parcelamento e uso do solo do Município, bem como estabelece as intensidades de ocupação, utilização e as atividades adequadas, toleradas e proibidas, tendo em vista os seguintes objetivos:

- I. orientar e estimular o desenvolvimento urbano;
- II. minimizar a existência de conflitos entre as áreas residenciais e outras atividades sociais e econômicas;
- III. permitir o desenvolvimento racional e integrado do aglomerado urbano;
- IV. assegurar concentração urbana equilibrada, mediante o controle do uso e do aproveitamento do solo;
- V. assegurar a reserva de espaços necessários à expansão disciplinada da cidade.

Esta Lei, em vigência há mais de vinte anos, necessita ser revisada e atualizada. Diante disso, o Instituto da Cidade, Pesquisa e Planejamento Urbano e Rural - INCID, no uso de suas atribuições, de acordo com o que estabelece o Plano Diretor (Lei nº 4.669/06) em seu artigo 112, apresenta um conjunto de informações territoriais atualizadas, como estudos geomorfológico e demográfico, juntamente com aspectos sociais e econômicos, visando atualizar dados e apresentar a atual situação da cidade para apoiar a revisão da Legislação Urbanística Municipal. Atualmente a revisão está passando por audiências públicas.

2.2 Crescimento urbano, déficit habitacional e ocupação de áreas de risco

• Crescimento urbano

Nas cidades da América Latina, o processo de transição demográfica do campo para cidade aconteceu de maneira rápida, onde o crescimento dos grandes centros urbanos ocorreu sem que o poder público fosse capaz de planejar uma cidade com a devida infraestrutura necessária para atender ao crescimento da população.

De acordo com o relatório apresentado em 2012, “ Estado das cidades da América Latina e Caribe” - Programa das Nações Unidas para os Assentamentos Humanos (ONU -HABITAT), o Caribe e a América Latina são regiões fundamentalmente urbanas, com aproximadamente 80% da população residindo em cidades, naquela data. A população urbana da América Latina, segundo o relatório, chegará a 89% em 2050.

O desenvolvimento acelerado das aglomerações urbanas na América Latina está intimamente relacionado ao processo de migração rural-urbano, reflexo da urbanização dependente² que provoca o superpovoamento das aglomerações urbanas, devido à distância econômica e da oferta de serviços entre os grandes centros e o resto do país, o que causa o esvaziamento das regiões rurais.

No Brasil, a partir da década de 1950, assistiu-se a um rápido processo de crescimento urbano. Isso se deve, sobretudo, a intensificação do processo de industrialização, onde a principal consequência foi a “política desenvolvimentista” do governo Juscelino Kubitschek. O movimento histórico da produção do espaço urbano brasileiro é calcado em um forte êxodo rural e na expansão das periferias sobre terras impróprias para moradia.

Conforme o Censo Demográfico de 2010 do IBGE, cerca de 84% da população brasileira viviam, naquele momento, em espaços considerados urbanos, ou seja, nas cidades. E esse número pode chegar a 90% até 2020, segundo o relatório do Programa das Nações Unidas para os Assentamentos Humanos (ONU - HABITAT, 2012). Junto a esse crescimento urbano, há riscos e perigos que se expressam pela falta de adaptação e aderência da produção do espaço urbano aos sistemas naturais.

As cidades são consideradas como um sistema complexo, que está em permanente mudança levando em conta processos econômicos, políticos, culturais, sociais e ambientais ao longo de um determinado intervalo de tempo. Quando ocorre um processo acentuado de crescimento urbano, atribuindo uma nova aparência à paisagem, produzindo novos lugares, a complexidade do sistema se acentua, pela velocidade das suas modificações e novas demandas.

- **Déficit habitacional**

O crescimento desordenado das cidades, pressionado pela velocidade das mudanças nos países de industrialização tardia e muitas vezes, influenciado por interesses privados e especulativos, é considerado como um agravador de desastres, pela possibilidade real de impulsionar uma parcela da população menos favorecida para áreas frágeis e de risco. A redução de estoques de terrenos em áreas seguras, e a consequente

² Urbanização dependente: trata-se da configuração espacial resultante da penetração do modo de produção capitalista, formada nos países “desenvolvidos”, nas outras formações sociais com diferentes níveis técnico, social e cultural (CASTELLS, 1979).

valorização destas áreas restantes, provocam o adensamento dos estratos populacionais mais vulneráveis em áreas de riscos (ROBAINA, 2008). A capacidade das autoridades em prever, em assimilar os problemas e obter créditos suficientes para concluir reformas estruturais é inferior a velocidade do crescimento urbano.

Um dos principais problemas ocasionados pelo crescimento populacional sem um planejamento urbano adequado é o déficit habitacional e a inadequação de domicílios urbanos. Segundo a Fundação João Pinheiro (2013), o déficit habitacional está relacionado a domicílios com coabitação familiar, domicílios precários, ônus excessivo com aluguel e o adensamento excessivo de domicílios de aluguel. Já as inadequações de domicílios urbanos estão relacionadas com carência de infraestrutura, adensamento excessivo de moradores em domicílios próprios, problemas de natureza fundiária, cobertura inadequada, sem unidade sanitária exclusiva e localizados muitas vezes em áreas de risco.

De acordo com Garcia e Rabelo (2002), o déficit habitacional se refere as carências habitacionais de uma determinada sociedade não restrita somente à falta de moradia, incluindo também as más condições das unidades habitacionais existentes. Refere-se à população excedente demandante de habitação.

Para a Fundação João Pinheiro, no livro Déficit habitacional no Brasil, publicado em 2013, o conceito de déficit habitacional está ligado diretamente às deficiências do estoque de moradias. Engloba aquelas sem condições de serem habitadas em razão da precariedade das construções e inclui, também, a necessidade de incremento do estoque, em função da coabitação familiar forçada (famílias que pretendem constituir um domicílio unifamiliar), dos moradores de baixa renda com dificuldades de pagar aluguel e dos que vivem em casas e apartamentos alugados com grande densidade. Inclui-se, ainda, a moradia em imóveis e locais com fins não residenciais. Em suma, o déficit habitacional pode ser entendido como déficit por reposição de estoque e déficit por incremento de estoque.

De acordo com Lorenzetti (1999), no Brasil o acesso à moradia confunde-se tradicionalmente com acesso à propriedade, considerada importante do ponto de vista de segurança familiar e também como símbolo de ascensão social. Vista como uma mercadoria a ser comprada ou um patrimônio a depender da capacidade de pagamento de cada um. Contudo, segundo Garcia (1998), a casa ou abrigo é uma necessidade humana com implicações pessoais de equilíbrio psicológico, decorrentes da natureza humana e

social de realização política do homem. É o primeiro e imprescindível lugar de existência humana: o abrigo, a toca, o voltar, retornar.

O Centro das Nações Unidas para Assentamentos Humanos (UNHABITAT) adota a seguinte definição para moradia adequada (MORAIS, 2002, p.112):

“Moradia adequada é mais do que um teto sobre a cabeça. Também significa privacidade; segurança da posse; estabilidade estrutural e durabilidade; iluminação adequada e ventilação adequada; com equipamentos de água, esgoto e coleta de lixo; qualidade ambiental e fatores relacionados à saúde apropriados; bem como localização adequada e acessibilidade ao trabalho e outros equipamentos básicos: tudo isso deve estar disponível a custos acessíveis. A adequação deve ser determinada conjuntamente com a população em questão, tendo em mente a perspectiva para o desenvolvimento gradual” (AGENDA HABITAT, PARAGRAFO 60).

O censo demográfico 2010 aponta um déficit habitacional de 6,490 milhões de unidades, o correspondente a 12,1% dos domicílios do país. Em termos absolutos, o déficit é menor nas áreas metropolitanas do que nas não metropolitanas. A região sudeste concentra 38% do déficit habitacional de todo país. Na região Nordeste, o déficit atinge 30%, concentrados principalmente nos estados do Maranhão (421 mil unidades) e Bahia (521 mil unidades). A região Centro Oeste possui o menor déficit do país, com 560 mil unidades. Ao analisarem os valores relativos (comparando déficit habitacional ao total de domicílios da unidade de análise) o Maranhão destaca-se com cerca de 27,3% do total de domicílios no estado, o maior do país.

Segundo a Fundação João Pinheiro (2013), mais de 70% do déficit habitacional no Brasil é composto pela coabitação familiar (43,1%) e pelo ônus excessivo com aluguel (30,6%), esses dois componentes representam 5,1 milhões de unidades de déficit. Domicílios precários, com 19,4% e adensamento excessivo de domicílios alugados (6,9%) são os componentes menos expressivos do déficit e que, juntos correspondem cerca 1,8 milhões de unidades.

A coabitação familiar corresponde a cerca de metade do déficit habitacional no Amazonas, Amapá, Rio Grande do Norte, Alagoas, Sergipe, Bahia e Minas Gerais. O Maranhão é o único estado onde esse componente apresenta pouco menos de 30% do total. Embora a coabitação familiar seja o componente mais forte nas cinco regiões e na maioria dos estados, há expressivas variações nos demais componentes, quando se analisam as unidades menores. Por exemplo, os estados da Região Norte, além do Maranhão e Piauí, há forte presença de domicílios precários. No Maranhão, 61,4% do déficit habitacional são compostos pelos domicílios precários, o maior percentual do país (FJP, 2013).

O ônus excessivo é mais expressivo nos estados do Rio de Janeiro, Espírito Santo e no Distrito Federal, onde mais de 40% do déficit se devem ao alto valor pago pelo aluguel pelas famílias com rendimento de até três salários mínimos. Maranhão e Piauí têm, respectivamente, 7,1% e 9,3% do seu déficit referente a esse componente. Já o adensamento excessivo de domicílios alugados é mais expressivo em São Paulo, com 12,1%. No Maranhão, Piauí e no Rio Grande do Sul o percentual é inferior a 3% (ibid, 2013).

O déficit habitacional nos domicílios com rendimento de até cinco salários mínimos é maior nas áreas não metropolitanas: o valor chega a 70% nas áreas não metropolitanas e a 64% nas regiões metropolitanas brasileiras. Em Alagoas e no Maranhão, cerca de 90% do déficit habitacional estão concentrados nos domicílios com rendimento de até cinco salários mínimos (ibid, 2013).

A Fundação João Pinheiro (2013), também realizou estimativas do déficit habitacional em 2010 nas capitais brasileiras. Grande parte do déficit das capitais é urbano. Em São Luís o déficit total é de 48.937 domicílios, sendo 46.456 urbanos e 2.481 rurais. Além disso São Luís juntamente com Teresina possuem alto percentual de domicílios precários, o que não se observa nas demais capitais brasileiras. As estimativas para região metropolitana da Grande São Luís são de 64,576 domicílios, 53,588 urbanos e 10.988 rurais.

A carência de infraestrutura urbana é componente da inadequação que mais afeta domicílios urbanos. No Brasil, 13 milhões de domicílios urbanos (26,4%) carecem de pelo menos um item de infraestrutura básica: água, energia elétrica, esgotamento sanitário. A região Nordeste possui o maior número de domicílios particulares permanentes urbanos com alta carência de infraestrutura (4,8 milhões). A região Sudeste está em segundo lugar (2,7 milhões). Nas regiões Norte, sul e Centro-Oeste, o número de domicílios carentes está entre 1,6 e 1,9 milhões (FJP,2013).

O maior percentual da ausência de banheiros exclusivo no domicílio aparece na região Norte (9,6%), o estado do Acre é o mais afetado (20,5% domicílios). Na região Nordeste são 4,8% dos domicílios carentes, esse percentual varia entre 2% em Sergipe e 13, 9% no Maranhão. Nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste o percentual é inferior a 1%. Em relação ao adensamento excessivo de domicílios próprios, representam 8% dos domicílios na região Norte e 3,5% e 3,3% nas regiões Nordeste e Sudeste, respectivamente. As regiões Sul e Centro-Oeste o número de domicílios é inferior a 2% (FJP, 2013).

Segundo dados da Fundação João Pinheiro (2010), no Maranhão 651,073 domicílios são carentes de infraestrutura básica, 149, 331 não possuem banheiro e 52, 059 domicílios têm adensamento excessivo em domicílios próprios. Em São Luís são 103,094 domicílios carentes de infraestrutura básica, 18,781 ausentes de banheiro e 14,669 com adensamento excessivo em domicílios próprios.

- **Ocupação de áreas de risco**

A partir da década de 1960 o Brasil assistiu a um rápido processo de crescimento urbano, no qual muitas vertentes e canais fluviais foram modificados pelo homem de modo desordenado, sob parâmetros funcionais e tecnicistas que desconsideraram a geomorfologia fluvial e seus processos naturais (PORATH, 2004), incluindo a ocupação de planícies de inundação, impermeabilização desordenada de vertentes, retificação e canalização de rios sem devido planejamento, devastação das áreas de preservação nas margens, entre outros.

Segundo Floriani (2001) *apud* Marandola Jr. et al. (2013), o desenvolvimento pressupõe o crescimento e, por isso, não quer discutir seus limites; o que se busca, portanto, é a ampliação dos limites a partir de otimização de processos, novas tecnologias e inovações que permitam o crescimento a partir da diversificação. Contudo, o crescimento urbano traz em seu processo característico, riscos e perigos que se expressa pela falta de ajuste e aderência da produção do espaço urbano aos sistemas naturais.

De acordo Marandola Jr. et al. (2013), a ideia de crescimento associada a ideia de desenvolvimento estão, ambas, relacionadas à evolução positiva. Há muitos questionamentos sobre tal associação direta, mostrando que nem todo desenvolvimento é positivo, o que não raro tem sido feito destacando-se os efeitos negativos do crescimento sem limites. O autor afirma ainda, que um desastre exprime a materialização da vulnerabilidade social, ou seja, o aumento dos desastres está intimamente conectado com o crescente processo de subdesenvolvimento e marginalização social.

Onde e porque as populações urbanas vão morar não é um mero problema locacional, portanto, nem um problema a se resolver no controle do seu crescimento. A situação das populações em área de risco está mais relacionada ao processo de produção da cidade, e dos terrenos que são deixados de lado para tal segmento populacional, do que a uma inadequação na racionalidade de parcelas da população nas escolhas de seus lugares de moradia. Em outras palavras, é um problema de justiça ambiental, de exclusão e segregação (ACSELRAD, 2002; MARANDOLA JR., 2012).

Conforme Tucci (2005), os problemas da urbanização ocorrem por um ou mais fatores ao longo do tempo e principalmente nas últimas décadas:

- a população que migra para as cidades geralmente é de baixa renda e não possui capacidade de investimento e tende a invadir áreas públicas ou comprar áreas precárias sem infraestrutura da urbanização informal. Nestas estão as áreas de risco de inundação ou de deslizamento;
- déficit de emprego, renda e de moradia é alto;
- legislações equivocadas de controle do espaço urbano;
- incapacidade do município de planejar e antecipar a urbanização e investir no planejamento do espaço seguro e adequado como base do desenvolvimento urbano;
- crise econômica nos países.

O Estado vem atuando tanto no controle do processo de expansão urbana, propondo-se regulamentar loteamentos, a compra e venda de terrenos, elaborando leis que atendem esse processo, quanto, como indutor desse processo ao implantar infraestruturas urbanas e equipamentos comunitários e ao promover o assentamento de atividades econômicas.

Assim, o processo de produção do espaço urbano e do seu impacto sobre recursos naturais e sobre a qualidade dos assentamentos humanos evidencia as dificuldades de articular a temática ambiental com a urbana nesse processo. Há uma necessidade do planejamento e da gestão urbana para diminuir ou evitar os impactos negativos da própria urbanização, bem como para avaliar a efetividade dos instrumentos de gestão de risco na prática das políticas urbanas.

2.3 Impactos da infraestrutura urbana

A ineficácia e a inadequação dos instrumentos de planejamento e gestão urbana podem contribuir para o estabelecimento de padrões irregulares e informais de ocupação e urbanização, em especial dos segmentos mais pobres da população, com a introdução de grandes valores imobiliários em áreas consideradas regulares com boa qualidade de vida e toda a infraestrutura adequada e, como consequência, os mais pobres são obrigados a migrarem para lugares caracterizados como fundo de vale e áreas de preservação ambiental constituindo as ocupações irregulares (MOTTA, 2002).

É importante destacar que no processo de assentamentos populacionais, o sistema de drenagem se torna um dos mais sensíveis problemas do processo de urbanização, tanto na parte de esgotamento das águas pluviais quanto em razão da interferência com os demais sistemas de infraestruturas, além de que, com a retenção da água na superfície do solo, surgem diversos problemas que afetam diretamente a saúde e a qualidade de vida da população (Fundação Nacional de Saúde – FUNASA, 2004).

O sistema de drenagem é o que se destaca no processo de urbanização, pois facilmente demonstra sua ineficiência, imediatamente após precipitações significativas, causando transtornos à população através das inundações e alagamentos. Miguez et al. (2005) enfatiza alguns aspectos relacionados à urbanização e às inundações urbanas comuns em países periféricos:

- Grande crescimento populacional em um curto período de tempo;
- Urbanização sem planejamento e desordenada;
- Deficiência na cobertura espacial das infraestruturas de saneamento;
- Grande necessidade de definição de planos e orientações para o gerenciamento da drenagem urbana e qualificação do quadro técnico municipal;
- Políticas habitacionais incapazes de prevenir e evitar ocupações irregulares;
- Ocupação de áreas de risco de inundações legais e ilegais;
- Grande número de sub-habitações;
- Falta de programas de educação e sensibilização da população, que frequentemente causam danos às estruturas de controle de inundações e dispõem resíduos domésticos nas ruas e nas margens dos rios;
- Dificuldade para diagnosticar os problemas e implantar soluções devido a problemas de segurança pública, em áreas à margem da cidade local.

Para Tucci (2005), os principais problemas relacionados com a infraestrutura de água no ambiente urbano são os seguintes:

- a falta de tratamento de esgoto: grande parte das cidades da região, não possuem tratamento de esgoto e lançam os efluentes na rede de esgotamento pluvial, que escoam pelos rios urbanos (maioria das cidades brasileiras);
- outras cidades optaram por fazer as redes de esgotamento sanitário (muitas vezes sem tratamento), mas não implementam a rede de drenagem urbana, sofrendo frequentes inundações com o aumento da impermeabilização;

- ocupação do leito de inundação ribeirinha, sofrendo frequentes inundações;
- impermeabilização e canalização dos rios urbanos com aumento da vazão de cheia (até sete vezes) e sua frequência; aumento da carga de resíduos sólidos e da qualidade da água pluvial sobre os rios próximos das áreas urbanas;
- deteriorização da qualidade da água devido à falta de tratamento dos efluentes tem criado potenciais risco ao abastecimento da população em vários cenários, onde o mais crítico tem sido a ocupação das áreas de contribuição de reservatórios de abastecimento urbano, que eutrofizados podem produzir riscos à saúde da população.

Os impactos causados no ciclo natural da água pelo processo de urbanização de uma área ocorrem em todas as suas etapas de desenvolvimento, desde a fase de limpeza do terreno até a fase de implantação da rede de drenagem, como segue (TORONTO AND REGION CONSERVATION, 2006):

1. Com a limpeza dos terrenos para a preparação do local, é removida a cobertura vegetal que é responsável por interceptar e desacelerar o escoamento superficial e devolver a água para a atmosfera através da evapotranspiração.
2. Os serviços de terraplanagem nivelam o terreno, eliminando as depressões naturais que diminuem a velocidade do escoamento e providenciam o armazenamento provisório para a água da chuva infiltrar ou evaporar.
3. A retirada do solo e da camada de húmus superficial e a compactação do subsolo reduzem ou eliminam o percurso de recarga das águas subterrâneas, reduzindo também a capacidade do solo de reter umidade e retornar água para a atmosfera através da evapotranspiração. A água que infiltraria e reabasteceria as águas subterrâneas, é rapidamente transformada em escoamento superficial.
4. A adição de superfícies impermeáveis associadas a comunidades, com prédios, ruas e estacionamentos, reduz ainda mais as características de infiltração do solo, contribuindo para aumentar o escoamento superficial.
5. Esses efeitos são agravados pela implantação dos serviços de drenagem, compostos pelas sarjetas, galerias de drenagem e canais que são incorporadas ao desenvolvimento urbano para prover o rápido transporte das águas de chuva para os corpos receptores

Assim, a urbanização modifica o ciclo hidrológico, alterando suas parcelas e o balanço hídrico da bacia hidrográfica, além da redução da capacidade de armazenamento natural dos deflúvios.

3 RISCO E RESILIÊNCIA

3.1 Conceito de Risco

A palavra risco é empregada em vários contextos, está relacionada, por exemplo, com o meio ambiente, economia, engenharia, entre outros. No contexto ambiental, compreende-se o risco pela existência de uma probabilidade de ocorrência de um evento danoso, materializando um desastre que afete a integridade física, a saúde ou os vínculos sociais da população, em determinadas porções do território (BRITTO e BESSA 2007). No setor da economia, o risco é entendido como a variabilidade ou volatilidade inesperada do retorno financeiro, ou como possibilidade de um investimento perder valor. No campo da engenharia, de forma geral, está relacionado tanto à probabilidade de ocorrência de um evento quanto à expectativa de perdas causadas por ele (ZONENSEIN,2007).

A tentativa de dar uma definição única ao risco, aplicável a todas as áreas, é desaconselhável em vista da dificuldade em se abordar aspectos distintos e específicos de cada uma delas. Os diferentes significados refletem, frequentemente, as necessidades particulares de cada atividade nas quais está inserida a avaliação de risco. Portanto, para a análise do risco, é necessário adotar uma interpretação particular coerente com o tema abordado (GOULDBY e SAMUELS, 2005).

Segundo o Ministério da Integração Nacional, Defesa Civil (1998), risco é a medida de dano potencial ou prejuízo econômico expressa em termos de probabilidade estatística de ocorrência e de intensidade ou grandeza das consequências previsíveis, ou seja, é tratado como uma probabilidade, como apresentado a seguir:

- Probabilidade de ocorrência de um acidente ou evento adverso, relacionado com a intensidade dos danos ou perdas, resultantes dos mesmos;
- Probabilidade de danos potenciais dentro de um período especificado de tempo e/ou de ciclos operacionais;
- Fatores estabelecidos, mediante estudos sistematizados, que envolvem uma probabilidade significativa de ocorrência de um acidente ou desastre;
- Relação existente entre a probabilidade de que uma ameaça de evento adverso ou acidente determinado se concretize e o grau de vulnerabilidade do sistema receptor a seus efeitos.

De acordo com Gouldby e Samuels (2005), um perigo não conduz automaticamente a um resultado prejudicial, mas identifica que há uma possibilidade de

um dano acontecer na atual condição, dependendo da exposição ao perigo e das características do receptor.

Ameaça e perigo são conceitos semelhantes e associados à formação do risco. Uma ameaça é um dito ou feito que antecipa um dano. Algo pode ser considerado como uma ameaça quando existe pelo menos um incidente específico no qual a ameaça tenha tido lugar. O *Department of Homeland Security*, nos Estados Unidos, considera o risco em função da ameaça, vulnerabilidade e consequência (CIRIA, 2010). Como mostra a **Relação 3.1**.

$$RISCO = f(A, V, C)$$

(Relação 3.1)

Onde:

A = Ameaça: evento com potencial de causar danos;

V = Vulnerabilidade: grau de susceptibilidade a dano;

C = Consequências: impactos, econômicos e ambientais de um evento.

O conceito considerado neste estudo é o que diz que risco está condicionado a um perigo que pode afetar negativamente um sistema social, causando danos (ZONENSEIN, 2007). O risco está condicionado à existência de um perigo, que é um evento fonte da origem desse risco. Portanto, o risco está associado como a probabilidade de ocorrência de um evento aleatório e de sua consequência associada, sendo composto por três elementos fundamentais: probabilidade de um evento, exposição e fragilidade de um sistema. De forma simples, estes dois últimos elementos podem ser agrupados como consequências.

Dagnino e Carpi Júnior (2007) classificam o risco em quatro tipos: riscos naturais, riscos tecnológicos, riscos sociais e os riscos ambientais, definidos a seguir:

- **Risco natural** é a denominação preferida para fazer referência àqueles riscos que não podem ser facilmente atribuídos ou relacionáveis à ação humana (riscos tectônicos, magmáticos e riscos climáticos).
- **Risco tecnológico** restringe-se ao âmbito dos processos e da atividade industrial. Segundo Sevá Filho (1988), a abordagem desse tipo deve levar em conta três fatores indissociáveis: o processo de produção (recursos, técnicas, equipamentos, maquinário); o processo de trabalho (relações entre direções

empresariais e estatais e assalariados); e a condição humana (existência individual e coletiva, ambiente).

- **Risco social** pode-se qualificar como a maior parte dos riscos devido às várias aplicações da palavra social, conforme Vieillard-Baron (2007), é risco social “quer nos atenhamos às suas causas sociais, quer atentemos para suas consequências humanas”.
- **Risco ambiental**, resulta da associação dos outros três riscos, entendemos que as situações de risco não estão desligadas do que ocorre em seu entorno – o ambiente, em seu sentido amplo – seja o ambiente natural, seja o construído pelo homem (social e tecnológico).

Para Santos (2007), os riscos podem ser divididos em três grupos gerais, em função da sua natureza, da sua incidência e da possibilidade de medição, caracterizados da seguinte forma:

- **natureza:** podem ser classificados em risco voluntário e involuntário. O risco *voluntário* é aquele que o indivíduo assume voluntariamente, de modo obter algum benefício e o risco *involuntário* é aquele imposto a indivíduos por uma entidade de controle³, não sendo uma escolha da população em risco;
- **incidência:** podem ser classificados em risco individual e risco coletivo. O risco individual é definido como um incremento do risco imposto a um indivíduo pela existência de uma obra perigosa local. Por outro lado, o risco coletivo tem consequências de grande abrangência que implicam uma resposta do meio social e político, através de discussão pública e de mecanismos de regulação;
- **possibilidade de medição:** podem ser classificados em risco tangível e risco intangível. Os riscos tangíveis são aqueles que, se ocorrerem, terão consequências detectáveis, em geral mensuráveis. Os riscos intangíveis são aqueles que não podem ser medidos, exemplo, traumas psicológicos causados pela ocorrência de eventos perigosos.

³ Entidade de controle: é o governo, entidades políticas, grupos de liderança que impõem critérios e opções aos indivíduos afetados pelo risco (STARR, 1969).

Em função da classificação e identificação dos riscos, é possível identificar também as perdas potenciais e estimar sua magnitude mediante a probabilidade de ocorrência e determinar a hierarquia dos riscos, considerando as mudanças características da área potencialmente afetada em função do tempo (PARDO, 2009).

A UN-ISDR (2009) considera desastre como uma grave perturbação do funcionamento de uma comunidade ou de uma sociedade envolvendo perdas humanas, materiais, econômicos ou ambientais de grande extensão, cujos impactos excedem a capacidade da comunidade ou da sociedade afetada de arcar com sua recuperação, com seus próprios recursos.

No Glossário da Defesa Civil Nacional (1998), desastre é o “resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem, sobre um ecossistema (vulnerável), causando danos humanos, materiais e/ou ambientais e consequentes prejuízos, em termos de intensidade, enquanto que os eventos adversos são quantificados em termos de magnitude. A intensidade de um desastre depende da interação entre a magnitude do evento adverso e o grau de vulnerabilidade do sistema receptor afetado.

Já os *desastres naturais* podem ser definidos como o resultado do impacto de fenômenos naturais extremos ou intensos sobre um sistema social, causando sérios danos e prejuízos que excedam a capacidade da comunidade ou da sociedade atingida em conviver com o impacto. (TOBIN e MONTZ,1997; MARCELINO, 2008).

Para o Glossário da Defesa Civil Nacional, *área de risco*, é um local onde existe a possibilidade de ocorrência de eventos adversos. Conforme Oliveira (2006), as áreas de risco são aquelas suscetíveis a desastres, os quais podem ocorrer como consequência do impacto de um risco natural e/ou causado por atividades antrópicas.

De acordo com o Guia metodológico para produção de cartografia Municipal de risco e para criação de sistemas de informações geográficas (SIG) de Base Municipal, *suscetibilidade* é a incidência espacial de um processo perigoso. Representa a propensão para uma área ser afetada por um processo perigoso em tempo indeterminado, sendo avaliado através dos fatores de predisposição para ocorrência de processos ou ações não contemplando o seu período de retorno ou a probabilidade de ocorrência.

Segundo Cardona (2004), suscetibilidade é um componente socioeconômico e demográfico, que captura a predisposição de um grupo populacional de sofrer danos em face de um fenômeno perigoso. Tal predisposição é decorrente do grau da magnitude da marginalidade, da segregação social e das fragilidades econômicas às quais determinado grupo populacional se encontra submetido. Note-se aqui que o mesmo termo tem uso na

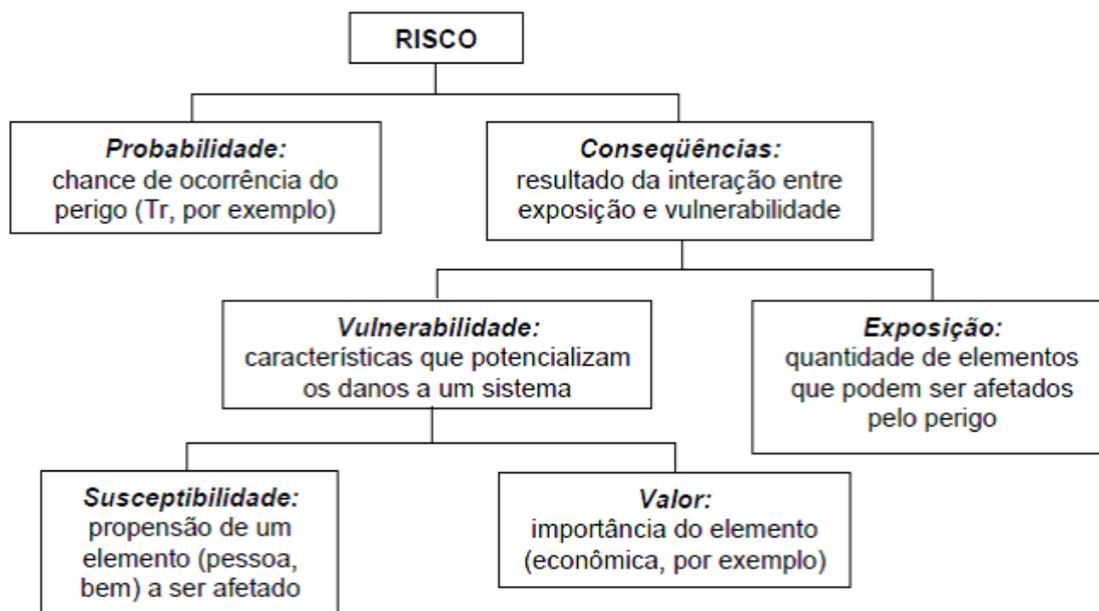
definição da susceptibilidade física relacionada com a propensão à ocorrência do fenômeno e na susceptibilidade à dano que caracteriza a vulnerabilidade.

A noção de vulnerável, do latim *Vulnerabilis*, corresponde ao ponto mais fraco ou que passa a ser mais vulnerável, mais acessível aos ataques (SÉGUIER, 1975). Conforme Figueirêdo et al, (2007) a vulnerabilidade está sempre relacionada à maior ou menor fragilidade de um determinado ambiente. A vulnerabilidade ambiental está relacionada com a suscetibilidade de uma área em sofrer danos quando submetida a uma determinada ação. Em relação a vulnerabilidade social, Katzman (1999) afirma que esta vulnerabilidade é entendida como o desajuste entre ativos e a estrutura de oportunidades em outros âmbitos socioeconômicos e melhor sua situação, impedindo a deterioração em três principais campos: os recursos pessoais, os recursos de direitos e os recursos em relações sociais.

3.2 Componentes do Risco

Conforme já introduzido anteriormente, o risco está dividido em dois componentes básicos: um que se refere à probabilidade de ocorrência de eventos e o segundo, relativo às suas consequências (Figura 3.1).

Figura 3.1. Relação entre os componentes do risco.



Fonte: <http://aquafluxus.com.br>

Quanto à consequência, ela pode ser definida em função da exposição e vulnerabilidade dos elementos sob o risco. A exposição se refere à quantidade de elementos que podem ser afetados por um evento perigoso, enquanto a vulnerabilidade resulta da susceptibilidade e do valor associado a estes elementos. Assim, a vulnerabilidade representa as propriedades de um sistema que descreve seu potencial de ser danificado (GOULDBY e SAMUELS ,2005).

Hezer (1990) afirma que a vulnerabilidade é consequência de um processo de acumulação de fatores socioeconômicos, ambientais, habitacionais, sanitários, nutricionais e, inclusive psicossociais. É o somatório desses elementos que conduz a sociedade, ou parte dela (aquela que está exposta), a encontrar-se em um estado de debilidade social, incapacidade para absorver, amortizar ou mitigar qualquer evento que saia de suas atividades habituais.

A vulnerabilidade é expressa através da susceptibilidade e do valor, onde a susceptibilidade é a propensão de um elemento (pessoa, bem) a ser afetado, e o valor se relaciona com a importância do elemento (valor econômico, por exemplo). Para Cardona (1996), susceptibilidade é um componente socioeconômico e demográfico, que captura a predisposição de um grupo populacional de sofrer danos em face de um fenômeno perigoso. Tal predisposição é decorrente do grau da magnitude da marginalidade, da segregação social e da fragilidade econômica às quais determinado grupo populacional se encontra submetido.

O valor está relacionado a uma medida dos danos que podem ser sofridos. Segundo Machado et al. (2005), os danos dividem-se em dois níveis de classificação, o primeiro em tangíveis e intangíveis e, em segundo, em diretos e indiretos. A distinção entre tangíveis e intangíveis encontra-se relacionada ao grau de dificuldade em estabelecer um procedimento para a avaliação monetária do dano. Deste modo, os danos tangíveis são aqueles cujo valor econômico associado é bem definido, como, por exemplo, os danos físicos causados a uma construção que tenha sido inundada, resultando em perdas materiais facilmente computáveis. Já os danos intangíveis são aqueles de difícil valoração monetária, por exemplo, estados de estresse ou ansiedade causadas por inundações ou pela expectativa de sua ocorrência.

Os danos diretos referem-se basicamente à deterioração física de bens e pessoas resultantes do contato direto com a água, enquanto, os danos indiretos, por sua vez, têm, por origem, perturbações econômicas do sistema produtivo. Quando ocorrem, esses danos levam, frequentemente, à redução da atividade econômica, perdas de

arrecadação de impostos, custos de serviços de emergência e de defesa civil, custos de limpeza de áreas atingidas, perdas decorrentes de transtornos ao tráfego de veículos, interrupção de serviços de telecomunicações, entre outros. A **Tabela 3.1**, mostra os tipos de danos de acordo com o setor afetado.

Tabela 3.1. Tipologia de danos decorrentes de inundações urbanas.

SETOR	Danos Tangíveis		Danos Intangíveis	
	Diretos	Indiretos	Diretos	Indiretos
Habitacional	Danos físicos à construção, estrutura e seu conteúdo.	Custos de limpeza, alojamento, medicamentos.	Perdas de vidas humanas	Estados psicológicos de estresse e ansiedade; danos de longo prazo à saúde.
Comércio e Serviços	Danos físicos à construção, estrutura e seu conteúdo Perdas e danos ao estoque	Custos de limpeza Lucro cessante Desemprego Perda de banco de dados	Perdas de vidas humanas	Estados psicológicos de estresse e ansiedade; danos de longo prazo à saúde.
Industrial	Danos físicos à construção, estrutura e seu conteúdo Perdas e danos ao estoque de matérias-primas e produtos acabados	Custos de limpeza Lucro cessante Desemprego; Perda de banco de dados.	Perdas de vidas humanas	Estados psicológicos de estresse e ansiedade; danos de longo prazo à saúde.
Equipamentos públicos e serviços	Danos físicos à construção, estrutura e seu conteúdo	Custos de limpeza e de interrupção de serviços Custos dos serviços de emergência	Perdas de vidas humanas	Estados psicológicos de estresse e ansiedade; danos de longo prazo à saúde; Inconvenientes de interrupção de serviços.
Infraestrutura	Danos físicos ao patrimônio	Custos de limpeza e de interrupção de serviços	Perdas de vidas humanas	Inconvenientes de interrupção de serviços
Patrimônio histórico e cultural	Danos físicos ao patrimônio	Custos de limpeza e de interrupção de serviços	Perdas de vidas humanas	Inconvenientes de interrupção de serviços

Fonte: MACHADO et al., 2005

De acordo com Machado et al. (2005), Messner et al. (2006), Messner e Meyer (2005) e Zonensein (2007), em geral, a estimativa das consequências costuma levar em conta apenas efeitos diretos e tangíveis. Os efeitos indiretos, especialmente sobre a economia local, ainda que muito significativos, deixam de ser analisados por causa da falta de dados empíricos e das dificuldades em comprovar sua relação com outros efeitos diretos da inundação. Esses efeitos podem ocorrer em um tempo longo, suplantando muito a escala do evento que os gerou.

Algumas vezes, observa-se uma compensação entre a redução da atividade econômica da área afetada e o aumento da atividade em zonas não atingidas. Além disso, apesar de existirem métodos para valoração econômica dos danos intangíveis, como a perda de vidas, eles ainda são bastante controversos e muitas vezes rejeitados do ponto de vista ético. Conforme Messner e Meyer (2005), os danos indiretos e intangíveis têm sido raramente considerados em uma avaliação de danos, devido às dificuldades metodológicas.

3.3 Avaliação de Risco

De acordo com o International Strategy for Disaster Reduction (UN-ISDR, 2007), a avaliação de risco é a metodologia para determinar a natureza e o grau de risco por meio da análise de ameaças potenciais e avaliação de condições existentes de vulnerabilidade que possam representar uma ameaça potencial ou dano à população, propriedades, meios de subsistência e ao ambiente do qual dependam. O processo depende das características técnicas das ameaças, a saber, sua localização, magnitude ou intensidade, frequência e probabilidade; assim como a análise das dimensões físicas, sociais, econômicas e ambientais da vulnerabilidade e exposição; com especial consideração para a capacidade de enfrentar os diferentes cenários do risco.

Conforme Pardo (2009), as avaliações de risco utilizam a informação disponível para estimar a probabilidade de ocorrência de um evento e o seu potencial para causar danos. Nesse sentido, é necessário definir o alcance das análises, identificar os eventos ou cenários suscetíveis de provocar danos e estimar riscos. Segundo Allen et al. (1992), avaliação de risco descreve o estudo de decisões sujeitas às consequências incertas.

O risco global pode ser calculado através do produto da probabilidade de ocorrência de acidente pelo valor dos danos estimados, em função da área de influência e de grau de operacionalidade dos sistemas de alerta e de proteção civil existentes

(PARDO,2009). Na avaliação de danos (D), há que considerar os seguintes tipos de danos:

- **DH**: Danos a vidas humanas (residentes, trabalhadores ou turistas e viajantes), conjunto definido genericamente pela população em risco;
- **DE**: Danos econômicos, aqueles que podem ter uma expressão direta da base monetária. Estes danos podem ser perdas de bens agrícolas; perdas de áreas florestais e perdas de estruturas (infraestrutura e serviços públicos).

Na avaliação de risco, deve ser identificado o conjunto de pessoas com uma elevada probabilidade de estarem presentes no momento do evento. Após o levantamento dos danos diretos para aplicação da definição de risco em um determinado sistema, é possível estimar o número esperado de perdas de vidas humanas (DH) e o valor monetário resultante das somas de danos estimados das perdas de valores econômicos (DE), de acordo com Pardo (2009). Dessa forma, a aplicação da definição de risco resulta nos seguintes valores: (**Relação 3.2**).

$$RH = P \times DH$$

$$RE = P \times DE$$

(**Relação 3.2**)

Sendo:

P: probabilidade de ocorrência do evento

RH: número esperado de perdas de vidas (p.e., vítimas por ano);

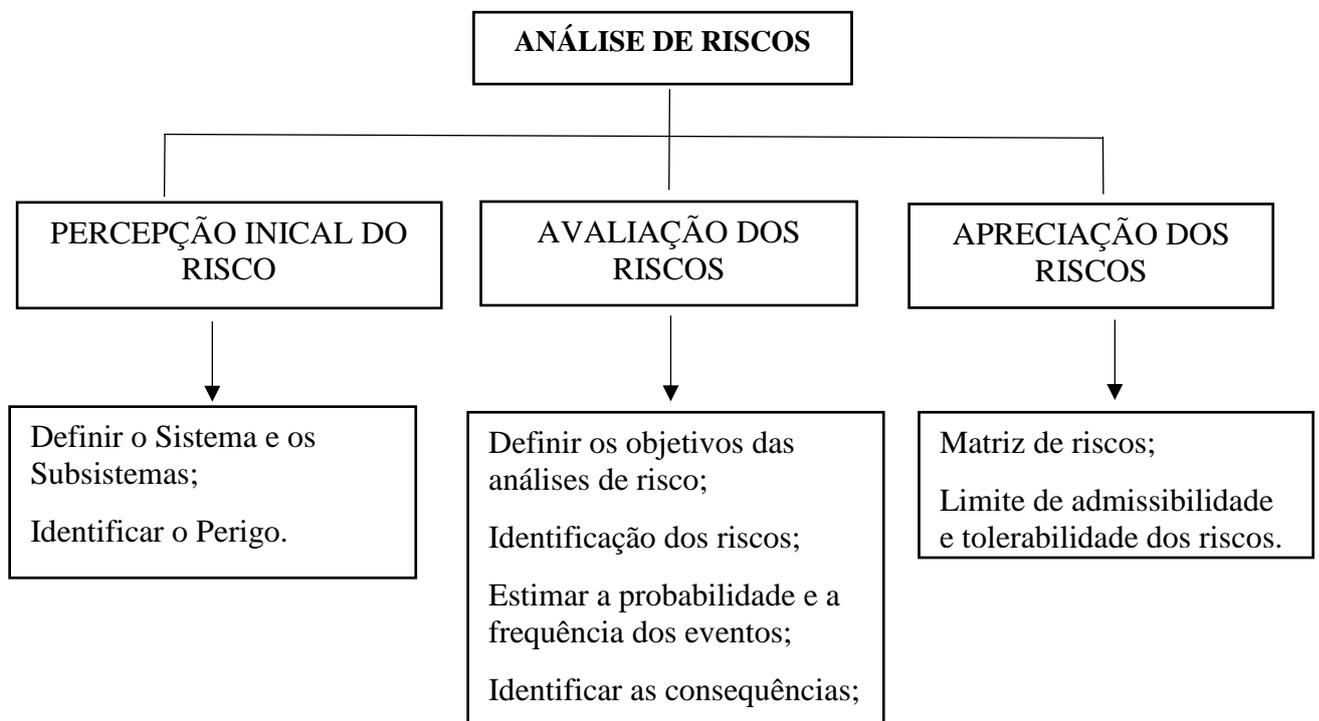
RE: valor monetário dos danos estimados (p.e., valor anual dos prejuízos).

Consoante Pardo (2009), após a determinação da probabilidade de ocorrência de um evento, devem ser definidas as medidas mitigadoras do risco a serem adotados. Em geral, o primeiro tipo de ações depende da aplicação das normas e critérios de segurança do projeto, construção e execução. O segundo tipo de ações corresponde às medidas não estruturais, que tendem a diminuir o alcance dos danos.

De acordo com a CETESB (2003), a análise do risco compreende a atividade voltada para o desenvolvimento de uma estimativa, qualitativa ou quantitativa do risco, baseada em uma metodologia estruturada para promover a combinação entre a probabilidade de ocorrência de um evento e as consequências deste evento perigoso.

Para Gouldby e Samuels (2005) o objetivo de analisar o risco é compreender e antecipar situações de perigo, melhorar a comunicação sobre o mesmo e identificar os critérios mais relevantes para avaliar estas situações. Assim, os resultados obtidos numa avaliação de riscos são utilizados para tomada de decisão quanto ao seu gerenciamento, através da comparação com critérios de tolerabilidade, previamente estabelecidos. Na **Figura 3.2**, são apresentadas as principais etapas que devem ser seguidas no desenvolvimento das análises de risco.

Figura 3.2. Etapas das análises dos riscos.



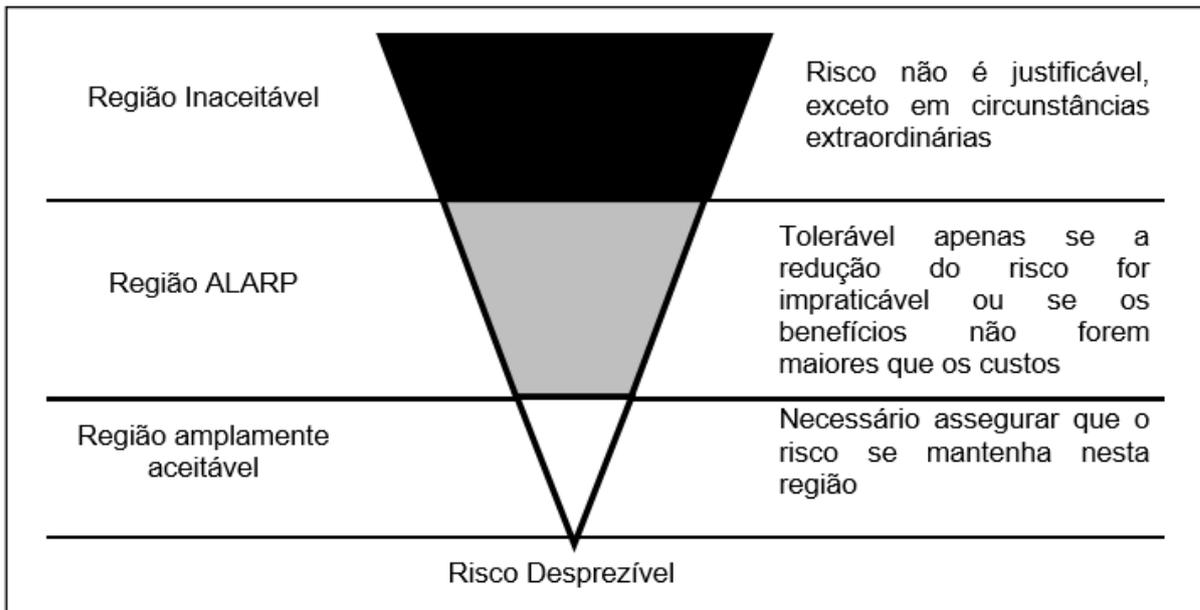
Fonte: Pardo, (2009).

A definição de limiares de tolerabilidade é uma das principais questões tratadas por tomadores de decisão (ZONEINSEN, 2007). Assim, pode-se determinar critérios de aceitabilidade, que são, em geral, baseados num sistema de três zonas (**Figura 3.3**), apresentado a seguir:

- um nível superior, acima do qual o risco é considerado inaceitável;
- um nível inferior, abaixo do qual o risco é considerado aceitável;

- uma região intermediária, onde é necessária a redução do risco de forma alcançar níveis “tão baixos quanto razoavelmente praticável” (*ALARP*: “as low as reasonably practicable”).

Figura 3.3. Estrutura de zonas de aceitabilidade de risco.



Fonte: Zonensein, (2007).

A definição de tolerabilidade do risco, apesar de simples, conceitualmente é difícil de chegar em uma conformidade. A análise e avaliação de situações de risco podem ser desenvolvidas a partir de várias abordagens, entre elas, a análise custo-benefício e análises multicritério.

Conforme Gouldby e Samuels (2005), a análise de custo-benefício é uma abordagem tradicional econômica, onde se avalia se os benefícios esperados decorrentes de uma ação redutora de risco (necessária para atingir um nível de segurança) são superiores aos seus custos. Esta metodologia exige uma quantificação monetária de todos os benefícios e custos envolvidos. Esta é a principal crítica a esse método, que agrega todos os danos sob um único valor, sem a possibilidade de associar maior importância, ou valor, a fatores subjetivos que contribuem para o risco.

A análise multicritério, por sua vez, permite combinar, em uma mesma avaliação, situações de natureza diferentes, considerando sua importância relativa e sem necessidade de conversão em valor monetário dos resultados envolvidos na análise, com diferentes ponderações para os fatores envolvidos numa avaliação de risco

(ZONENSEIN, 2007). Por outro lado, embora mais amplo e com um caráter integrador, a falta da avaliação monetária em uma análise multicritério pode dificultar a tomada de decisão, ao se procurar viabilizar uma obra.

- **Metodologia de Análise Multicritério**

Segundo Mendoza e Macoun (1999), Análise Multicritério é uma metodologia desenvolvida para resolução de problemas complexos que incluem aspectos qualitativos e/ou quantitativos, envolvendo equipes multidisciplinares e considerando diversos objetivos, alternativas e fatores que as influenciam. Deste modo, a Análise Multicritério exige uma visão holística do problema, o que permite medir as consequências de uma ação em diferentes unidades, além de atribuir pesos às ações de acordo com a avaliação das partes interessadas.

De acordo com Zonensein (2007), é possível levar em consideração as distintas percepções do problema, em uma tentativa de tornar explícitas as subjetividades inerentes à tomada de decisão. Portanto, são utilizados modelos aceitos por todos, a partir de uma base de informações comum, que permitem chegar a uma solução negociada, com tendência de acordo entre o grupo.

Zonensein (*ibid*) afirma, ainda, que estes modelos possibilitam que as diversas alternativas sejam comparadas, selecionadas ou ordenadas diante de um procedimento formal de tomada de decisões. Considerando que, o processo decisório está sujeito a preferências, incertezas e interpretações, a vantagem dos métodos de suporte à decisão multicritério está em torna-los mais ordenados e objetivos, facilitando a discussão.

As principais desvantagens destes métodos estão na necessidade de grande quantidade de informações e em estarem sujeitas a decisões subjetivas, influenciadas pela percepção particular do decisor.

Na literatura, há uma divergência acerca dos conceitos relacionados a metodologia de análises de multicritérios. As definições apresentadas a seguir tratam de alguns termos essenciais para o entendimento desta metodologia, baseadas em Tecle e Duckstein (1994), Zuffo (1998), Malta (2006), De Pessôa (2005) e Zonensein (2007):

- **Objetivo:** é aquilo que se procura alcançar, reflete as aspirações do decisor (TECLE E DUCKSTEIN, 1994);
- **Alternativas:** são meios de atingir o (s) objetivo (s), às quais estão associados atributos, que permitem compará-las (ZONENSEIN, 2007);

- Atributos: referem-se às características, fatores e desempenho de uma alternativa, em um processo de decisão. Devem permitir meios para a avaliação de níveis de um objetivo, ou seja, são definidos como o aspecto mensurável de um julgamento, podendo ser representados por indicadores empíricos (DE PESSÔA, 2005);
- Critérios: podem estar associados tanto um atributo como um objetivo. Por esta razão, decisões multicritério indicam o processo de decisão em que estão envolvidos dois ou mais objetivos conflitantes e/ou mais de dois atributos (DE PESSÔA, 2005).
- Pesos: são as prioridades correspondentes aos vários critérios, representados por valores quantitativos. Estas prioridades representam a importância relativa dos objetivos ou atributos de um problema (DE PESSÔA, 2005);
- Atores: um indivíduo (ou um grupo de indivíduos) que influencia direta ou indiretamente o processo decisório (MALTA, 2006). Alguns atores comuns são decisores, analistas, mediadores e grupos de pressão (ZONENSEIN, 2007);
- Matriz de Avaliação ou Matriz Payoff: matriz cujas linhas e colunas representam respectivamente os atributos e as alternativas do processo de tomada de decisão (MALTA, 2006). Após devidamente preenchida, com os valores dos atributos para cada alternativa e com os pesos associados aos atributos, o método multicritério escolhido pode ser aplicado (ZONENSEIN, 2007).

As análises multicritério são um processo iterativo e interativo (DE PESSÔA, 2005), cujas principais etapas envolvidas na análise multicritério são apresentadas sequencialmente:

1. Identificação do problema;
2. Definição das alternativas;
3. Definição dos critérios relevantes para o problema de decisão;
4. Avaliação das alternativas em relação aos critérios (Matriz de Avaliação);
5. Determinação dos pesos dos critérios;
6. Determinação da avaliação global de cada alternativa;
7. Análise de sensibilidade de critério e pesos.

Em um processo de tomada de decisões, a análise deve sempre ser considerada em conjunto, com informações relevantes, a fim de fazer uma recomendação final consistente. Além disso, os tomadores de decisão devem estar conscientes da inclusão de novas alternativas, o que exige uma reavaliação dos critérios escolhidos e possivelmente, inclusão de outros critérios. A percepção de novos fatores pode fazer com que os critérios, já definidos, sejam modificados, necessitando de uma reavaliação dos pesos adotados (DE PESSÔA, 2005).

Segundo Malta (2006), existem duas escolas distintas de modelo de tomada de decisão, o Multiple Criteria Decision Making (MCDM), em português, Metodologia Multicritério de Tomada de Decisão, que pertence a chamada Escola Americana, e o Multiple Criteria Decision-Aid (MCDA), em português, Metodologia Multicritério de Apoio à Decisão, pertencente à Escola Europeia.

Os métodos MDCM baseiam-se na programação matemática multiobjetivo e em algoritmos, cujo objetivo é a definição da melhor alternativa para a solução de problemas. A Escola Europeia desenvolveu novas metodologias a partir de críticas feitas à Americana, contestando o conceito de “melhor alternativa”, enfatizando a existência de limitações de objetividade para associação entre o ótimo matemático e a melhor alternativa, e propondo metodologias denominadas MCDA, que estabelecem como resultado uma solução “de melhor compromisso” (COELHO, 2011).

PARDALOS et al. (1995) propôs uma classificação, utilizada por ZUFFO (1998) no levantamento e seleção dos métodos mais adequados aos estudos de planejamento ambiental. Os autores dividiram os métodos existentes em quatro grandes famílias, assim estruturadas:

- 1. Programação Matemática Multiobjetivo:** Nesta família de métodos, estão aqueles baseados na busca de soluções não-dominadas ou não-inferiores. Outro grupo de métodos que pode ser enquadrado nessa família é aquele baseado na distância, ou ainda, na noção geométrica do melhor. Isto é, são aqueles que na impossibilidade de se atingir a solução ótima, convergem para a solução mais próxima da solução ideal (ZUFFO, 1998);
- 2. Teoria de Utilidade-Multiatributo:** Esses métodos de auxílio à tomada de decisão consistem em modelar as preferências de um decisor por meio de uma função de valor (decisão sob certezas) ou de uma função de utilidade (decisão sob incertezas), que é, predominantemente, aditiva (PARDALOS et al., 1995);

3. **Desagregação das Relações de Preferência:** Essa tipologia de métodos de auxílio à tomada de decisão tem por base a análise da desagregação, sendo utilizados para modelar as preferências do decisor, por meio da Teoria da Utilidade Multiatributo (MAUT). Nos métodos pertencentes à essa família os parâmetros são estimados por meio da análise de todas as preferências do tomador de decisão, assinaladas para algumas alternativas de referência (ZUFFO,1998);
4. **Relações das aproximações hierárquicas:** Este conceito de métodos baseados na hierarquização é atribuído a Bernard Roy, que é considerado o fundador desses métodos. Esta categoria de métodos é muito difundida na Europa e procura estabelecer uma comparação entre as alternativas, baseando-se nas preferências do decisor (POMPERMAYER, 2003).

3.4 Ferramentas de Gestão de Risco

Os modelos de análise de acidentes permitem obter ferramentas apropriadas para a análise de riscos. A transposição de dois momentos: “do depois” para “o antes” do acidente é o que interessa como ações preventivas. Afinal, deve-se obrigatoriamente nos antecipar aos acidentes, eliminando os riscos e perigos existentes nos diversos locais onde a humanidade convive (BARROS, 2011). As técnicas de identificação de risco são:

1. **Análise Preliminar de Perigo – APP ou APR (de risco):** é uma técnica de identificação de perigos e análise de riscos que consiste em identificar eventos perigosos, causas e consequências e estabelecer medidas de controle.
2. **Análise de Risco do Processo – Hazop - Hazard Operability:** é a técnica de identificação de perigos e operabilidade que consiste em detectar desvios de variáveis de processo em relação a valores estabelecidos como normais.
3. **Análise pela Árvore de Causas – AAC:** é uma técnica que parte de um evento topo escolhido para estudo e estabelece combinações de falhas e condições que poderiam causar a ocorrência desse evento. A técnica é dedutiva e pode ser qualitativa e quantitativa.
4. **Análise por Árvore de Falhas – AAF:** a análise pela árvore de causas é uma análise por árvore de falhas. A diferença fundamental entre a árvore de causas e a árvore de falhas é que enquanto a primeira utiliza fatos, ou seja, eventos ocorridos, a segunda trabalha com eventos potenciais. Árvore de falhas é uma ferramenta aberta, pois comporta as mais diferentes explicações dos

acidentes, a partir de falhas ativas existentes nas organizações. Permite-se dedução como método, assumindo que determinada falha ou conjunto de falhas assumiu algum desenvolvimento de acidente.

5. **Análise por Árvore de Eventos – AAE:** é uma técnica que identifica seqüências de eventos que podem suceder um Evento Iniciador. A AAE pode ser qualitativa ou quantitativa.
6. **Análise dos Modos de Falhas e Efeitos – AMFE:** é uma técnica que consiste em identificar os modos de falha dos componentes de um sistema, os efeitos dessas falhas para o sistema, para o meio ambiente e para o próprio componente. O objeto da AMFE são os sistemas. O foco são os componentes e suas falhas.
7. **E Se? (What if?)** é a técnica que consiste em detectar perigos utilizando questionamento aberto promovido pela pergunta E se? O objeto pode ser um sistema, processo, equipamento ou evento. O foco é “tudo o que pode sair errado”.
8. **Lista de Verificação:** lista de verificação (*checklist*) consiste em abordar o objeto de estudo, verificando a conformidade de seus atributos com padrões. O objeto da LV pode ser área, sistema, instalação, processo, equipamento. A lista pode ter subdivisões por especialidade de trabalho ou qualquer outra que se julgar conveniente.
9. **Técnica do Incidente Crítico – TIC:** trata-se de uma técnica que consiste na identificação de quase-acidentes. Identifica também incidentes ou acidentes de pequena gravidade que não tenham sido relatados e diversos tipos de fatores de risco.
10. **Análise pela Matriz das Interações:** consiste em observar os elementos do objeto de estudo verificando os perigos que podem resultar das interações entre esses elementos.
11. **Inspeção Planejada – IP:** a eficácia e a eficiência da inspeção planejada dependem basicamente de três elementos: padrão de referência, habilidade em detectar desvios e técnica de observação. A inspeção planejada identifica os agentes agressivos e os meios de controle. Os agentes agressivos são mecânicos, gravitacionais, elásticos, cinéticos, elétricos, térmicos, biológicos, ergonômicos, sonoros e radiantes, enquanto que os meios de controle são a

contenção, recomposição, isolamento, alarme, proteção, evacuação, resgate, salvamento, combate e recuperação.

12. Registro e Análise de Ocorrências – RAO: o registro de ocorrências (RO) e a Análise de Ocorrências, geralmente apresentada num Relatório de Análise de Ocorrências (RAO), são ferramentas de identificação de perigos e avaliação de riscos.

3.5 Resiliência

Resiliência possui diversos significados. As investigações sobre a resiliência têm variados domínios científicos, como na física, psicologia, ecologia, entre outros. A definição mais usual utilizada para resiliência, refere-se à capacidade de um sistema voltar ao seu estado natural após alguma situação crítica e fora do comum.

Na área da psicologia, por exemplo, é a capacidade de uma pessoa lidar com seus próprios problemas, vencer obstáculos e não ceder à pressão, seja qual for a situação. Mileti (1999) sugeriu que resiliência é a capacidade de uma comunidade recuperar seus próprios recursos. Norris et al. (2008) centraram suas análises na capacidade adaptativa de resiliência de uma comunidade, vendo-a como um processo de ligação entre uma miríade de capacidades adaptativas (tais como o capital social e o desenvolvimento econômico) para respostas e mudanças após eventos adversos (incluindo também o stress e o trauma e Perturbação pós stress traumático - PPST como consequências de exposição a fenômenos naturais).

Estudos específicos sobre resiliência (MCNALLY et al., 2003; PEREIRA, 2003; NORRIS et al., 2008 e CUTTER et al., 2008) demonstram que os indivíduos (e comunidades) resilientes são capazes de responder, transformando situações adversas em situações de oportunidades para reconstruções positivas, sendo mais ativos e socialmente responsáveis.

De acordo com o PRASAD et al. (2009), o conceito de resiliência é fundamental para a compreensão da vulnerabilidade da área urbana. Resiliência é a capacidade de uma comunidade ou sociedade de se adaptar quando expostas a um perigo. Ela faz isso por resistência ou mudando a fim de alcançar e manter um nível aceitável de funcionamento e estrutura. Uma sociedade resiliente pode resistir a choques e reconstruir-se quando necessário. Resiliência em sistemas sociais tem a capacidade humana adicionada, permitindo se antecipar e planejar o futuro. Os seres humanos dependem da

resiliência para a sobrevivência. Uma cidade resiliente é aquela que é capaz de sustentar-se através de seus sistemas por lidar com questões e eventos que a ameaçam.

Ainda, PRASAD et al. (*ibid*), do Banco Mundial, há três características que definem a resiliência dos sistemas humanos e ecológicos: (a) a quantidade de perturbação que uma sociedade pode absorver e ainda permanecer no interior do estado do domínio de atração; (B) o grau em que a sociedade é capaz de auto-organização ou ajuste; e (c) o grau em que a sociedade pode construir e aumentar a capacidade de aprendizagem e adaptação.

Conforme UN-ISDR (2012), resiliência é a capacidade de um sistema, comunidade ou sociedade potencialmente exposta a ameaças, em adaptar-se, resistindo ou mudando, com o fim de alcançar e manter um nível aceitável em seu funcionamento e estrutura. Determina-se pelo grau no qual o sistema social é capaz de auto organizar-se para incrementar sua capacidade de aprendizagem sobre desastres passados com o fim de alcançar uma melhor proteção futura e melhorar as medidas de redução de risco de desastre. Uma comunidade resiliente é aquela que pode absorver perturbações, mudar, reorganizar e ainda manter as mesmas estruturas básicas e fornecer os mesmos serviços (CSIRO, 2007).

O crescimento desordenado das cidades muitas vezes pode ser um condicionante para desastres naturais, pois provocam o adensamento dos estratos mais vulneráveis em áreas de risco. De acordo com UN-ISDR (2012), em 2050, 80% da população do mundo viverá em áreas urbanas. Com isso, será necessário reduzir os riscos associados a fenômenos naturais recorrentes, através do conhecimento, do monitoramento e de intervenções estruturais e não estruturais com reflexo no curto, médio e longo prazo, na redução de desastres e na sustentabilidade do desenvolvimento econômico e social de uma cidade, ou seja, é preciso que haja cidades resilientes.

Para PRASAD et al. (2009) a resiliência da sociedade em áreas urbanas depende do uso da terra, estoques de nutrientes, valores humanos e políticos. A falta de resiliência em áreas urbanas resulta na degradação das mesmas por uma variedade de fatores, incluindo:

- Deterioração do ar, da água, e a qualidade dos alimentos devido ao aumento da poluição;
- Inflexibilidade de instituições fechadas que não respondem adequadamente às necessidades da sociedade;

- Os subsídios perversos que encorajam o uso insustentável dos recursos, ou concentrar os recursos em uma pequena parte da sociedade;
- Foco na produção e aumento da eficiência que não internalizam os custos do ambiente.

Segundo Anaut (2005), a resiliência corresponde a um processo dinâmico e bidimensional, correspondendo, primeiro, à exposição à adversidade e segundo, ao ajustamento positivo dos resultados da adversidade, remetendo para o risco associado às condições de fatores de risco as quais estão estaticamente relacionadas com as dificuldades de ajustamento em situações adversas. O autor diz ainda, que a resiliência está relacionada com a capacidade: de reconstrução positiva, ultrapassar problemas, reinvestimento significativo das memórias e flexibilidade cognitiva.

A resiliência no contexto de infraestrutura (viés da engenharia), é definida como a habilidade de um bem ou conjunto de bens urbanos em continuar a desenvolver seus serviços essenciais, mesmo em situações de ameaças por eventos extremos (tais como uma inundação de grandes proporções), bem como a velocidade de recuperação e habilidade que este possui de retornar às condições normais de funcionamento quando cessada a ameaça (CIRIA, 2010).

O livro *Como construir cidades mais resilientes, um guia para gestores públicos locais* da ONU (UN-ISDR,2012). Apresenta dez passos para cidades mais resilientes, como:

- Colocar em prática ações de **organização e coordenação** para compreender e aplicar ferramentas de redução de riscos de desastres, com base na participação de grupos de cidadãos e da sociedade civil;
- Atribuir um orçamento para a redução de riscos de desastres e fornecer incentivos para proprietários em áreas de risco, famílias de baixa renda, comunidades, empresas e setor público para investir na redução dos riscos que enfrentam;
- Manter os dados sobre os riscos e vulnerabilidades atualizados. Preparar as avaliações de risco e utilizar como base para planos de desenvolvimento urbano e tomadas de decisão;
- Investir e manter uma infraestrutura para redução de risco;
- Avaliar a segurança de todas as escolas e centros de saúde e atualizar tais avaliações conforme necessário;

- Aplicar e impor regulamentos realistas, compatíveis com o risco de construção e princípios de planejamento do uso do solo;
- Certificar de que os programas de educação e treinamento sobre a redução de riscos de desastres estejam em vigor nas escolas e comunidades;
- Proteger os ecossistemas e barreiras naturais para mitigar inundações, tempestades e outros perigos a que cidade seja vulnerável;
- Instalar sistemas de alerta e alarme, e capacidades de gestão de emergências no município, e realizar regularmente exercícios públicos de preparação;
- Assegurar que as necessidades dos sobreviventes estejam no centro da reconstrução, por meio do apoio direto e por suas organizações comunitárias, de modo a projetar e ajudar a implementar ações de resposta e recuperação, incluindo a reconstrução de casas e de meios de subsistência.

O livro *Building urban resilience* (World Bank, 2013) acrescenta um senso de urgência para o desafio de preparação e gestão de catástrofes e oferece lições importantes para os profissionais de gestão de risco e desastres urbanos. O livro discute princípios da resiliência urbana, como:

- Resiliência é a capacidade de um sistema, comunidade ou sociedade exposta a riscos de resistir, absorver, acomodar e recuperar dos efeitos de um perigo com rapidez e eficiência.
- Risco residual e incerteza têm de ser geridos de uma forma é ao mesmo tempo flexível e robusta, usando soluções de projeto que se baseiam em investimentos, em informação de risco, comunicação estratégica, coordenação intersetorial, e uma estratégia de resposta e recuperação bem planejada.
- A população urbana mais carente é particularmente vulnerável aos impactos das mudanças climáticas e os riscos naturais, devido à localização das suas casas e meios de subsistência e à falta de serviços básicos confiáveis.
- As fases da gestão dos riscos de desastres naturais são: mitigação, preparação, resposta, recuperação e reconstrução cada uma oferece oportunidades práticas para melhorar a resiliência.
- Mitigação de riscos é parte da abordagem da resiliência, com objetivo geral de aumentar a preparação e a capacidade de responder a um desastre e

rapidamente se recuperar de seus impactos; a resiliência, porém, vai além da mera mitigação.

- O Risco pode ser minimizado através da redução da exposição e vulnerabilidade das pessoas ou bens materiais.
- A resiliência social é a capacidade dos indivíduos dentro de uma comunidade ou sociedade para enfrentar e adaptar-se a perturbações ou alterações.
- O planejamento do uso da terra e a gestão dos ecossistemas possuem orçamentos relativamente baixos para gerir os riscos de desastres naturais de forma eficaz, especialmente para os centros urbanos de pequeno e médio porte que carecem de recursos.
- A resiliência da infraestrutura e serviços urbanos críticos é importante para a resposta de emergência e a recuperação rápida de uma comunidade e sua economia. O projeto de sistemas críticos precisa levar em conta a possibilidade de falha através de medidas redundantes e de reserva para que eles possam lidar com o fracasso de formas que sejam menos prejudiciais para a sociedade.
- Informações de risco fornecem uma base para a priorização de medidas de redução dos riscos.
- Criar um ambiente favorável para as comunidades a participar e tomar decisões baseadas em informações e ferramentas de risco adequada, promover a resiliência coletiva de um sistema urbano.

O Banco Mundial, em seu livro *Building urban resilience*, mostra os componentes da resiliência urbana às catástrofes, são elas:

- **Infraestrutura resiliente** refere-se a uma redução na vulnerabilidade das estruturas construídas, tais como os edifícios e os sistemas de transporte. Também se refere ao acolhimento da capacidade das instalações, cuidados de saúde, vulnerabilidade dos edifícios, infraestrutura crítica e da disponibilidade de estradas para evacuações e linhas de abastecimento de pós-catástrofe. Resiliência de infraestrutura também se refere à capacidade de uma comunidade para resposta e recuperação.
- **Resiliência institucional** refere-se aos sistemas, governamentais e não governamentais, que administram uma comunidade.

- **Resiliência econômica** refere-se à diversidade econômica de uma comunidade em áreas como o emprego, número de empresas e sua capacidade de funcionar após um desastre.
- **Resiliência social** refere-se ao perfil demográfico de uma comunidade por sexo, idade, etnia, deficiência, status socioeconômico e outros agrupamentos e o perfil do seu capital social. Embora difícil de quantificar, o capital social refere-se a um senso de comunidade, à capacidade dos grupos de cidadãos para se adaptar, e um sentimento de apego a um lugar (CUTTER et al.,2010).

O conceito de resiliência pode ser aplicado a qualquer comunidade e a qualquer tipo de perturbação, tanto natural quanto artificial, ou uma combinação dos dois. Resiliência às catástrofes pode ser vista como um “bem público” que constrói uma “quantidade” adequada de resistência em sistemas urbanos e encoraja as comunidades a planejar como lidar com interrupções. Na prática, encontrar formas de operacionalizar a resiliência não é fácil (UPTON e IBRAHIM, 2012). A preocupação de construir cidades mais resilientes frente ao risco, incentiva planejadores urbanos a preocupar-se com os muitos impactos causados por desastres e construir junto à comunidade a capacidade de longo prazo para se adaptar e lidar com os riscos.

4 GESTÃO INTEGRADA DAS ÁGUAS URBANAS

O ciclo hidrológico, em condições naturais, pode ser considerado um sistema em equilíbrio. Contudo, na medida em que a urbanização se expande e aumenta a ocupação de uma bacia, modificando o uso do solo, percebem-se alterações que provocam modificações na dinâmica do ciclo da água. Para Botelho (2011), toda essa diversidade de caminhos do sistema natural é reduzida ao binômio escoamento e infiltração, com maior participação do primeiro. Em virtude da quase total ausência de uma cobertura vegetal nas áreas urbanas, as demais parcelas do ciclo da água são muito reduzidas, quando comparadas ao escoamento superficial, que assume assim um padrão mais concentrado, gerando o aumento da magnitude e frequência das enchentes.

De acordo com Pompêo (2000), as enchentes provocadas pela urbanização devem-se a diversos fatores, os quais destaca-se o excessivo parcelamento do solo e a consequente impermeabilização das grandes superfícies, a ocupação de áreas ribeirinhas tais como várzeas áreas de inundação frequente e zonas alagadiças, a obstrução de canalizações por detritos e sedimentos e também as obras de drenagem inadequadas. Pompêo ressalta que a expansão urbana deve realizar-se de forma planejada. Contudo, não se pode ignorar que a expansão e os fatores mencionados acima são antes orientados por questões sociais que os antecedem.

Nascimento et al. (1997), afirmam que, quando existe um planejamento que apoia-se fortemente na execução de obras para atenuação de cheias, esquece que em algum momento as limitações financeiras irão impedir a implementação de obras previstas. Ademais, a dinâmica social reconfigura o espaço nestes momentos em que se tornam raros os recursos e as novas soluções exigidas a partir de então tornam-se mais complexas. Este tipo de planejamento também se esquece que a histórica ausência de soluções integradas e harmônicas entre os sistemas urbanos e os sistemas naturais é também um fator significativo para a ocorrência de enchentes frequentes.

A gestão integrada de águas urbanas aplica-se sobre os vetores setorial - no sentido de combinar diferentes usos - e territorial, no sentido de cortar horizontalmente distintas jurisdições sobre o território. No plano da integração setorial, a gestão integrada das bacias urbanizadas incorpora, além dos múltiplos usos dos recursos hídricos em si mesmos- industrial, abastecimento público, esgotamento, drenagem pluvial- a necessidade de articulação com setores não usuários dos recursos, como gestão municipal, habitação e transporte urbano. Na análise institucional que segue, relativa aos sistemas nacional e estadual de recursos hídricos, mais do que uma descrição formal busca-

se identificar os elementos de integração setorial e territorial compatíveis com as concepções institucionais desses sistemas (SILVA e PORTO, 2003).

Na **figura 4.1**, observa-se a integração dos diferentes sistemas de água urbanas da cidade, identificando os componentes na busca de uma solução integrada para estes aspectos.

Figura 4.1. Visão Integrada das águas urbanas.



Fonte: Tucci, (2003).

Com uma visão integrada das águas urbanas, o planejamento urbano reduz o custo da solução de problemas relacionados com a água. Uma cidade sustentável incorpora os cursos d'água à paisagem urbana, preservando suas margens, restabelecendo o quanto possível a retenção natural, conservando as áreas de inundação ainda existentes.

4.1 Inundações

Inundação, para o Glossário de Defesa Civil de Estudos de Riscos e Medicina de Desastres (1998), é o transbordamento de água da calha normal de rios, mares, lagos e açudes, ou acumulação de água por drenagem deficiente, em áreas não habitualmente

submersas. Na maioria das vezes, o incremento dos caudais de superfície é provocado por precipitações pluviométricas intensas e concentradas, pela intensificação do regime de chuvas sazonais, por saturação do lençol freático ou por degelo. As inundações podem ter outras causas como: assoreamento do leito dos rios; compactação e impermeabilização do solo; erupções vulcânicas em áreas de nevados; invasão de terrenos de baixadas por maremotos, ondas intensificadas e macaréus⁴; precipitações intensas com marés elevadas; rompimento de barragens; drenagem deficiente de áreas a montante de aterros; estrangulamento de rios provocado por desmoronamento.

Conforme Kron (2002), a partir do transbordamento, ocorrem diversos tipos de inundações, das quais os mais comuns são as inundações costeiras, graduais e bruscas. A primeira está relacionada ao local específico, ou seja, zona costeira, enquanto as últimas duas estão ligadas à velocidade do próprio fenômeno e podem ocorrer em quaisquer locais. Neste trabalho, trabalharemos apenas com as graduais.

As inundações graduais são aquelas que, como o próprio nome diz, ocorrem gradualmente, ou seja, a elevação do nível das águas e o conseqüentemente transbordamento ocorre lentamente. Na língua inglesa é denominada *flood ou flooding*. Na definição da *National Disaster Education Coalition – NDEC* (2004), agência criada pelo governo dos Estados Unidos, *flood* são inundações ocorrem nas chamadas planícies de inundação, quando prolongada precipitação por vários dias, intensa chuva em um curto período de tempo ou um entulhamento de gelo ou de restos, faz com que um rio ou um córrego transbordem e inundem a área circunvizinha.

As inundações bruscas são aquelas que ocorrem repentinamente, com pouco tempo de alarme e alerta para o local de ocorrência. Na língua inglesa é conhecida como *flash flood*, e no Brasil são conhecidas popularmente como enxurradas. Segundo *National Weather Service / National Oceanic Atmospheric Administration -NWS/NOAA* (2004), *Flash flood*, é uma inundação causada pela pesada ou excessiva chuva em um curto período de tempo, geralmente menos de seis horas. Também, às vezes uma ruptura de barragem pode causar inundação brusca, dependendo do tipo de barragem e o período de tempo que ocorre a ruptura.

4

⁴ Macaréu: subelevação brusca das águas, que ocorre em certos estuários no momento da cheia de maré e que progride rapidamente para as nascentes sob forma de onda violenta.

De acordo com a Estratégia Internacional das Nações Unidas para a Redução de Desastres (UN/ISDR, 2013), cerca de 250 milhões de pessoas foram afetadas anualmente por inundações ao longo dos últimos anos. As inundações são, atualmente, o desastre mais generalizado e crescente, afetando assentamentos urbanos de diferentes tamanhos. Apenas em 2010, 178 milhões de pessoas foram afetadas pelas inundações. As perdas totais em anos excepcionais como 1988 e 2010 excederam 40 bilhões de dólares (JHA, 2013). No Brasil, segundo as estimativas de Swiss Re (2010), aproximadamente 19 milhões de pessoas (9,4 % da população total) estão expostas ao risco de inundações fluviais, e cerca de 14 milhões de pessoas (6,9% da população total) ao risco de enxurradas.

Segundo a pesquisa sobre o Perfil dos Municípios Brasileiros 2013 (IBGE, 2014) realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), constatou que de 2008 a 2013, 40,9% dos municípios brasileiros sofreram pelo menos um desastre natural. Foram 2.276 cidades atingidas por inundações graduais, enxurradas e/ou deslizamentos de encostas. 1,543 municípios foram atingidos por inundações graduais (27,7% do total dos municípios brasileiros), 1.574 atingidos por inundações bruscas. Ao todo foram 948 municípios afetados por ambos os eventos. A pesquisa mostra que só as inundações graduais deixaram 1.406.713 pessoas desabrigadas ou desalojadas, enquanto as inundações bruscas desabrigaram 777.546 pessoas. O resultado apresenta que 48% das prefeituras não tinham instrumentos pré-definidos para enfrentar essas ocorrências.

O aumento das inundações em áreas urbanas pode ser atribuído às alterações antrópicas, relacionadas principalmente com desordenada urbanização, desmatamento e ocupação de áreas de risco. Compreender as causas e os efeitos dos impactos das inundações e planejar, investir e implementar medidas que o minimizem é necessário caracterizar os sistemas nos quais estes eventos ocorrem. As inundações podem ocorrer da seguinte forma, segundo Tucci (1999):

- em áreas ribeirinhas: os rios geralmente possuem dois leitos, o leito menor onde a água escoar na maioria do tempo e o leito maior, que é inundado em média a cada 2 anos. O impacto devido a inundação ocorre quando a população ocupa o leito maior do rio, ficando sujeita a inundação;
- enchentes devido à urbanização: as enchentes aumentam a sua frequência e magnitude devido a ocupação do solo com superfícies impermeáveis e rede de condutos de escoamentos. O desenvolvimento urbano pode também

produzir obstruções ao escoamento como aterros e pontes, drenagens inadequadas e obstruções ao escoamento junto a condutos e assoreamento;

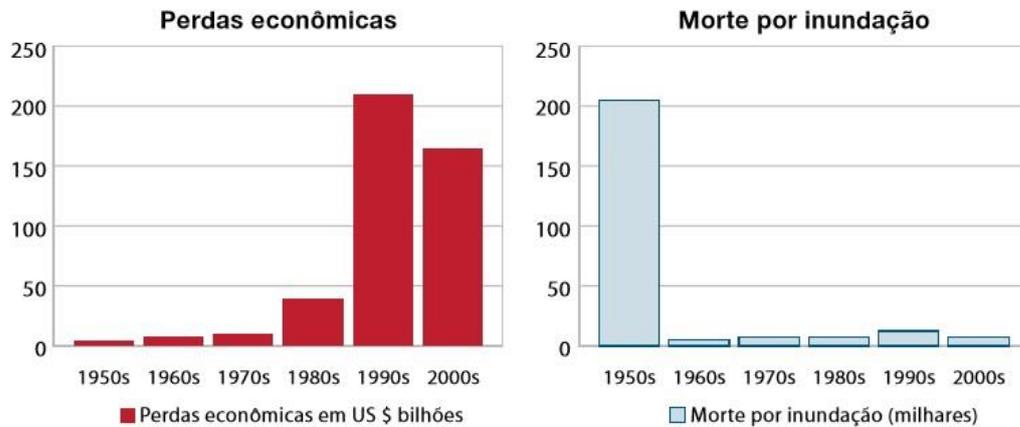
A primeira é decorrente de um processo natural, os danos ocorrem principalmente devido a ocupação do vale de inundação em período de estiagem, já a segunda, ocorre, principalmente, devido a forma como a drenagem urbana é projetada nas cidades e pela impermeabilização das superfícies que produzem aumento de escoamento superficial em detrimento do escoamento subterrâneo.

Tucci (2005) afirma que, as enchentes ampliadas pela urbanização, geralmente, ocorrem em bacias de pequeno porte, de alguns quilômetros quadrados. Nas grandes bacias, existe o efeito da combinação de drenagem dos vários canais de macrodrenagem, que são influenciados pela distribuição temporal e espacial das precipitações máximas.

De acordo com Jha et al. (2013), os impactos das inundações urbanas também são distintos devido à tradicional alta concentração de população e ativos no meio urbano. Isto torna o dano mais intenso e mais oneroso, uma vez que a exposição é maior. Assentamentos urbanos também contêm os principais atributos econômicos e sociais e bases de ativos de qualquer população nacional, de modo que a inundação urbana frequentemente traz sérias consequências para a sociedade. A **Figura 4.2** mostra o crescimento em impactos econômicos diretos resultantes de casos de inundação.

Os impactos diretos causados pela inundação representam o maior risco a vida e propriedade. Enquanto, os efeitos indiretos, aparecem ao longo prazo, como doenças, redução das oportunidades de educação e nutrição, perda de subsistência, entre outros. Tais impactos podem ser difíceis de identificar imediatamente e mais difíceis ainda de quantificar e avaliar (JHA et al., *ibid*).

Figura 4.2. Perdas econômicas e mortes registradas resultantes de casos de inundação.



Fonte: com base em EM-DAT/CRED apud Jha et al., (2013).

A urbanização como uma característica do crescimento demográfico, relaciona-se e compõe o risco de inundação. Assim, as inundações tornaram-se mais perigosas e onerosas de gerenciar devido ao maior número de pessoas expostas em assentamentos urbanos.

4.2 Plano de Águas Urbanas

De acordo com Tucci (2005), o Plano de Manejo de Águas Pluviais é o mecanismo de gerenciamento das inundações ribeirinhas e da drenagem urbana nas cidades. Esse plano deve estar integrado aos diferentes planos de infraestrutura da cidade, principalmente, aos relacionados ao Saneamento Ambiental (água, esgoto, resíduo sólido, drenagem e meio ambiente), subordinados ao Plano Diretor, que integra o conjunto de planejamento da cidade.

Segundo Pompêo (2000), os projetos de drenagem urbana desenvolvidos convencionalmente, apresentam-se, em um primeiro momento, “tecnicamente” corretos, porém, tendem a perder sua eficiência rapidamente, pois não atendem ao alto crescimento da demanda urbana por infraestrutura na medida em que a cidade se desenvolve, necessitando de investimentos cada vez mais onerosos para permitir a continuação do funcionamento do sistema de drenagem. Essa situação agrava-se pela não existência ou não cumprimento dos planos de desenvolvimento urbano. Os projetos de drenagem urbana e controle das enchentes, basicamente, resumem-se a ações emergenciais,

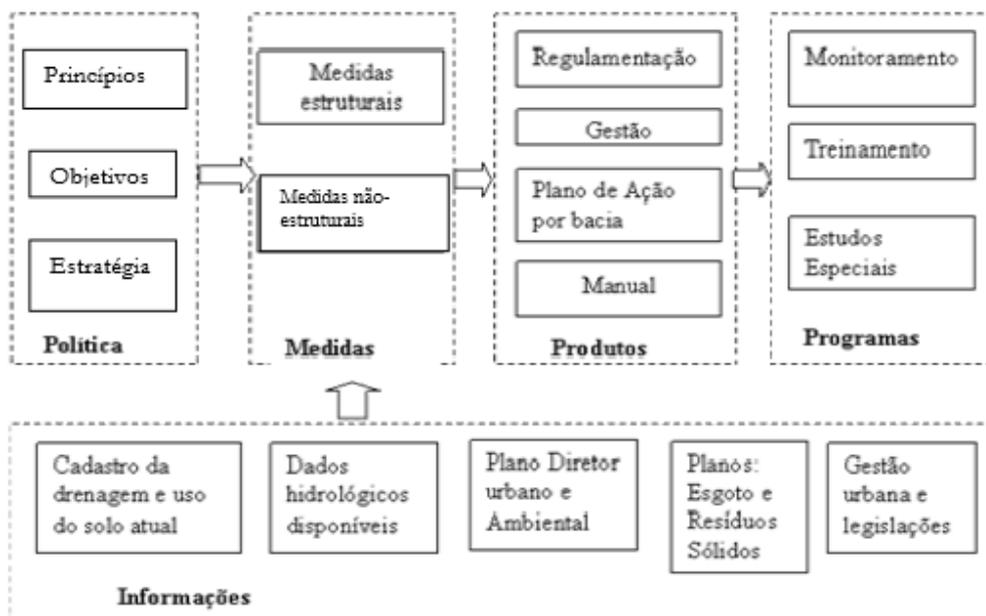
esporádicas e definidas após apenas após a ocorrência dos desastres, além de atuarem pontualmente.

O Plano Diretor de Drenagem Urbana é um instrumento que deve contemplar medidas sustentáveis relacionadas à drenagem urbana. A impermeabilização do solo e o consequente aumento do pico de vazão tornam necessário o uso de medidas compensatórias, como reposição de locais de armazenamento. Além disso, a delimitação de áreas inadequadas à urbanização, por exemplo, áreas de planície de inundação, é uma atividade fundamental deste Plano.

O principal objetivo do Plano Diretor de Drenagem Urbana é minimizar o impacto socioambiental devido ao escoamento das águas pluviais. Além de prover diretrizes que auxiliem na regulamentação da implantação de novos empreendimentos, utilizando-se de uma série de medidas, tanto de ordem estrutural como não estrutural, de forma a mitigar os efeitos das inundações. O Plano deverá levar em conta os prazos e ações pertinentes a cada prazo, considerando a melhor solução do ponto de vista econômico, além de conter os meios de supervisão, fiscalização e coordenação das atividades a serem implantadas.

A estrutura do Plano Diretor de Drenagem Urbana é apresentada na **figura 4.3**. Os grandes grupos são: políticas de águas pluviais, medidas estruturais e não-estruturais, produtos, programas e informações.

Figura 4.3. Estrutura do Plano Diretor de Drenagem Urbana.



Fonte: adaptado de Tucci, (2001).

No grupo de *políticas de águas pluviais*, a partir da legislação pertinente, de informações de uso do solo e do conhecimento da rede existente, são definidos princípios básicos de ação, se enunciam objetivos e traçam-se estratégias para materializar estes objetivos. No grupo das *medidas*, estas são adotadas a partir da construção de um diagnóstico da situação atual, tomando por base o histórico e os dados hidrológicos disponíveis. As medidas podem ser estruturais e não estruturais e devem ser priorizadas e escalonadas no tempo. Os *produtos*, terceiro grupo, são proposições para ampliação e melhoria do sistema. Após a definição das medidas de curto, médio e longo prazo, são trabalhados os produtos necessários à sua implantação: detalhamento dos planos de ação, planos de obras, legislação pertinente, manuais, etc. *Programas* estabelecem um sistema de supervisão e controle, de médio a longo prazo. Quanto as *informações*, são os dados existentes dos planos (urbano, transporte, esgotamento sanitário e resíduos sólidos), da legislação estadual e federal de uso do solo, ambiental e recursos hídricos e da gestão da bacia, no âmbito estadual e federal.

Pompêo (2000) destaca a necessidade de se pensar de forma preventiva as atividades relacionadas à atenuação das inundações, destacando o valor do planejamento aplicado aos projetos de controle de inundações. Inserindo assim, a abordagem ecossistêmica (*Ecosystem Approach*), a qual representa a evolução do pensamento reativo do Plano Diretor de Drenagem convencional para um pensamento proativo e avançado, na forma de gestão do ambiente natural e construído, considerando-os como componentes interdependentes e integrados.

Uma abordagem ecossistêmica do Plano Diretor de Drenagem pode resultar em gastos menores, pois busca diminuir a necessidade de ações complexas e onerosas de remediação, evidenciando a orientação e o planejamento das decisões do uso do solo. Essa abordagem enfatiza a necessidade de se considerar com igualdade e ao mesmo tempo os objetivos ecológicos, econômicos e sociais.

4.3 Gestão de risco de inundações

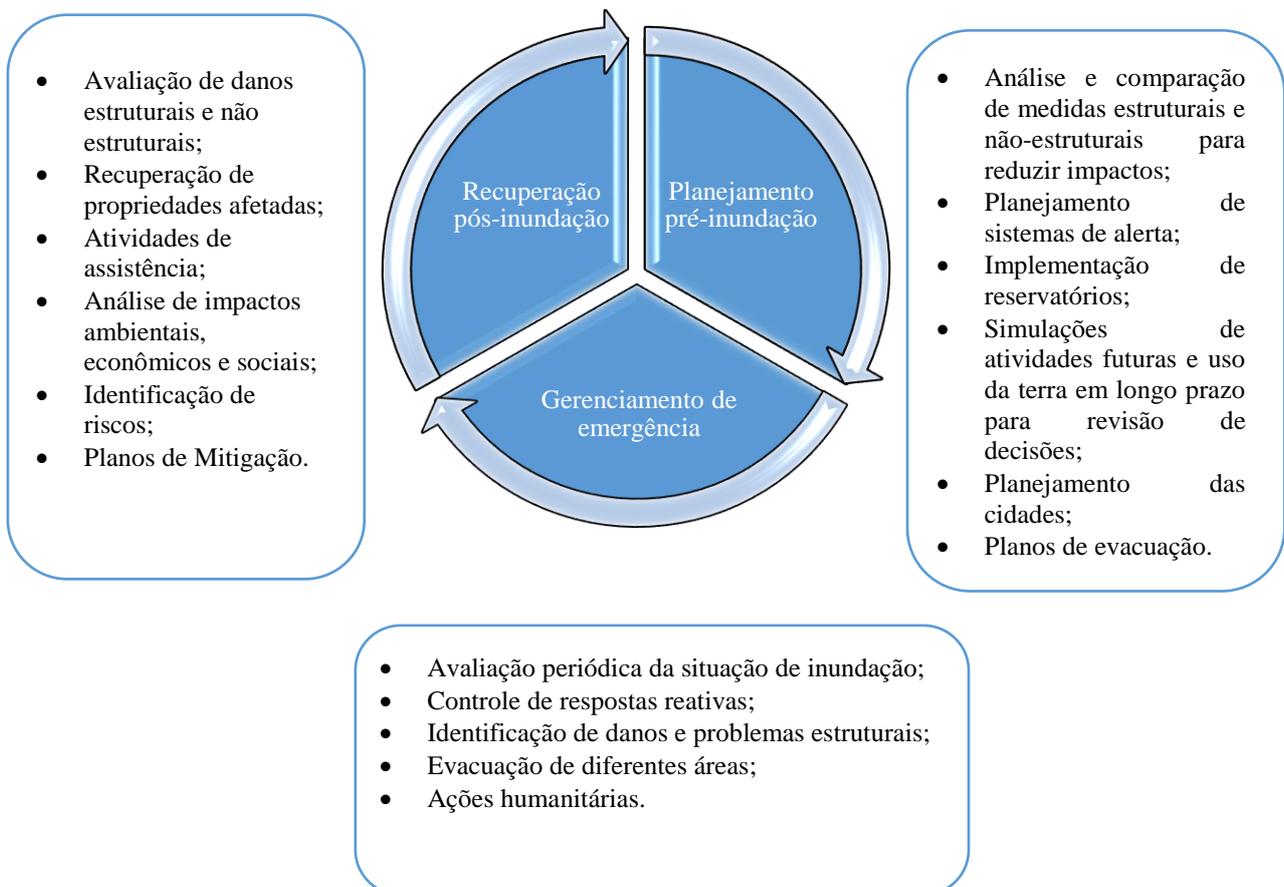
De acordo com UN (2006), gestão de risco de inundação é um processo global para reconhecimento e combate efetivo do risco associado às inundações por meio de um conjunto de ações planejadas. Este processo envolve um número de atividades que ocorrem dentro das três etapas relacionadas à ocorrência do evento: antes, durante e depois. As ações são:

- Pré-evento: medidas preventivas, de mitigação e de alerta;
- Durante a inundação: atenuação do desastre, ações de resposta;
- Pós-evento: reabilitação, reconstrução, recuperação econômica, e esforços para avaliar e aperfeiçoar as medidas preventivas e de mitigação.

Segundo Ahmad e Simonovic (2006), o gerenciamento de risco é compreendido como mostra a **figura 4.4**, e estes autores definem as etapas como: planejamento antes da inundação, gerenciamento de emergência e recuperação após a inundação. O planejamento antes da inundação se refere as medidas adotadas, para planejar e se preparar para lidar com um evento casual. Entre as medidas estão:

- Medidas estruturais e não-estruturais;
- Planejamento da cidade;
- Planejamento do sistema de alerta;
- Implementação de reservatórios, entre outros.

Figura 4.4. Gerenciamento de risco.



Fonte: Adaptado de Ahmad e Simonovic, (2006).

Na etapa de gerenciamento de emergência, são os mecanismos utilizados durante o acontecimento do evento:

- Controle das respostas reativas;
- Identificação dos danos e problemas estruturais;
- Evacuação de áreas e etc.

Na etapa de recuperação após a inundação são adotadas medidas que contribuem para a revitalização da área e atividades da região:

- Avaliação dos danos estruturais;
- Recuperação das propriedades afetadas;
- Análise de impactos ambientais, econômicos e sociais;
- Identificação de risco;
- Planos de mitigação.

Para Miguez e Magalhães (2010) o Plano Diretor de Gerenciamento de Inundações deve consistir em um conjunto de estratégias, medidas e políticas combinadas entre si, que objetivam gerenciar o risco de inundações e orientar o desenvolvimento de sistemas de drenagem.

Mendonço (2006) apresenta as fases, ações e componentes de gestão de risco de inundação e sua aplicação nas cidades brasileiras na **Tabela 4.1**. Em termos práticos, observa-se que há uma carência de políticas de gerenciamento do risco e planejamento integrado de mitigação de danos.

Tabela 4.1. Fases, ações e componentes de gestão do risco e situação atual de aplicação nas cidades brasileiras.

AÇÕES DE GESTÃO DO RISCO DE INUNDAÇÕES			
FASES E COMPONENTES DA GESTÃO DO RISCO	COMPONENTE 1 – AMEAÇA	COMPONENTE 2 - VULNERABILIDADE	COMPONENTE 3 – EXPOSIÇÃO
FASE 1- PREPARO	Acionamento dos sistemas de proteção.	Emissão de alerta.	Evacuação e interdição da área.
FASE 2- RESPOSTA (DURANTE)	Operação dos sistemas de proteção;	Orientação para o tráfego;	Socorro e retirada das vítimas.
	Monitoramento hidrológico durante o evento.	Recuperação das áreas.	
FASE 3- RECUPERAÇÃO (DEPOIS)	Restabelecimento das condições de escoamento.	Recuperação de áreas.	Realocação dos moradores das áreas atingidas.
FASE 4- MITIGAÇÃO	Intervenções hidráulicas na macro e microdrenagem;	Implantação do sistema de alerta; previsão em tempo real e cenários	Mapas de risco;
	Controle na fonte;	Associação de bacia	Planos de Zoneamento;
	Renaturalização.	Fundos de Seguro	Plano urbanismo global.
Situação atuação de aplicação no Brasil			
	Não é aplicado ou é aplicado em uma pequena parcela dos municípios		
	É aplicado de forma restrita ou limitada as principais regiões metropolitanas		
	É aplicado em maior escala (IBGE, 2002).		

Fonte: Mendiondo (2006).

Mendiondo (2006) salienta que o gerenciamento do risco de inundações urbanas, no que diz respeito ao alerta antecipado, proteção e reabilitação, requer um maior nível de inovação e parcerias. Para o autor, a principal questão é como lidar com estes desafios frente ao desenvolvimento urbano. Uma possibilidade que se apresenta é a descentralização da gestão de risco. No contexto de implantação, as ações de controle de escoamentos podem ser tratadas em âmbito de macrodrenagem, microdrenagem e em escala de lote.

Medidas reguladoras, como planos diretores e leis de zoneamento, bem como intervenções hidráulicas nos canais principais da macrodrenagem, são mecanismos centralizados de gerenciamento da drenagem, que têm sua eficiência influenciada, porém, pelas características de operação e manutenção dos sistemas de microdrenagem e das fontes geradoras do escoamento superficial, na maior parte lotes urbanos, com características, portanto, descentralizadas. É necessário, desse modo, trabalhar em ambas as escalas (ibid, 2006).

Essa visão é reforçada por Miguez et al. (2016), em um estudo que mostra que a implantação de um projeto de drenagem sustentável precisa ser acompanhada de medidas de urbanização sustentável, para que seus benefícios se mantenham ao longo do tempo. Assim, a estratégia para o controle de inundações deve considerar todos os aspectos relacionados à geração de águas pluviais, a sua dependência dos processos físicos da bacia hidrográfica e sua interação com as características de uso do solo.

4.4 Medidas de controle de inundação

Uma abordagem integrada da gestão de riscos de inundação urbana é uma combinação de medidas que, num todo, pode reduzir com sucesso o risco de inundação urbana. Sob o ponto de vista de controle de inundações (e, portanto, redução do próprio perigo), pode-se trabalhar sobre o processo de transformação de chuva em vazão, reduzindo a geração de vazões na passagem da chuva pela bacia. Essas medidas são tipicamente descritas como estruturais e não estruturais (**Tabela 4.2**), não se opõem umas às outras, e estratégias mais bem-sucedidas devem combinar ambos os tipos (JHA et al., 2013).

Tabela 4.2 – Medidas para controle das inundações.

ESTRUTURAIS	Extensivas	Agem na bacia, modificando as relações entre precipitação e vazão	
	Intensivas	Agem diretamente na calha do rio, modificando as grandezas hidráulicas e características hidrodinâmicas do escoamento	Aceleram o escoamento
			Retardam o escoamento
NÃO-ESTRUTURAIS		Derivam o escoamento	
		<ul style="list-style-type: none"> • Preservação⁵ da cobertura vegetal – Florestas e matas ciliares; • Regulamentação do uso do solo e zoneamento das áreas de inundação; • Construção à prova de inundações; • Seguro-inundação; • Sistema de previsão e alerta de inundações; • Educação ambiental voltada ao controle da poluição difusa, da erosão e do lixo. 	

Fonte: Adaptado de Simons (1977) apud Miguez et al. (2016).

As medidas estruturais correspondem às obras que podem ser implantadas visando à correção e/ou prevenção dos problemas de enchentes. As medidas não estruturais são aquelas em que se procura reduzir os danos ou as consequências das

inundações, não por meio de obras, mas pela introdução de normas, regulamentos e programas que visem o disciplinamento do uso e ocupação do solo, a implementação de sistemas de alerta e a conscientização da população para a manutenção dos dispositivos de drenagem (CANHOLI, 2014).

Segundo Miguez et al. (2016), as *medidas estruturais* são intervenções diretas nas calhas dos rios ou paisagem urbana, como canalização, barragens, reservatórios, criação de parques longitudinais inundáveis, diques, reservatórios em praças ou lotes, entre outros. São consideradas medidas de controle, que modificam as relações de escoamento e, geralmente, são imprescindíveis para ações corretivas. Dividem-se em:

- *Extensivas*, quando possuem ação sobre a bacia, alterando a precipitação x vazão, podendo, dessa forma, classificá-la como **medidas hidrológicas**;
- *Intensivas*, quando possuem ação direta sobre o escoamento da água nos rios e canais, buscando alterar as condições hidrodinâmicas da onda da cheia, sendo, assim, classificadas **medidas hidráulicas**.

Por sua vez, as *medidas não estruturais* são constituídas por ações indiretas, como zoneamento urbano (identificação de áreas alagáveis e restrições na legislação urbana), reservação de áreas para alagamento, preservação das várzeas, educação ambiental, sistemas de alerta, plano de resíduos sólidos, dentre outros. Essas medidas tem o intuito de harmonizar a convivência da sociedade com os eventos de enchentes, tendo um caráter preventivo, de sustentação e, portanto, complementar ao corretivo (MIGUEZ et al., 2016).

Na **tabela 4.3**, são resumidas as principais características das medidas estruturais (TUCCI,2007). Algumas dessas medidas são descritas a seguir.

As medidas extensivas são:

- *Cobertura vegetal*: a cobertura vegetal tem a capacidade de armazenar parte do volume de água precipitado pela interceptação vegetal, além de aumentar a evapotranspiração e reduzir a velocidade do escoamento superficial pela bacia hidrográfica;

5

⁵ Preservação ≠ Reflorestamento - O reflorestamento de encostas e a recuperação da mata ciliar são, em alguns estudos, classificados como medidas não estruturais que visam aumentar a capacidade de amortecimento das águas pluviais, por meio do restabelecimento dos processos de evapotranspiração, infiltração e interceptação da precipitação. Porém, ao voltar-se para a sua ação sobre a bacia, percebe-se que busca a reestruturação do funcionamento hidrológico, como citado acima, modificando a relação precipitação X vazão e, portanto, devendo ser classificada como uma medida estrutural extensiva.

- *Controle da erosão do solo*: o aumento da erosão tem implicações ambientais pelo transporte de sedimentos e seus agregados, podendo contaminar os rios a jusante e diminuir a sua seção, e alterar o balanço de carga e transporte dos rios.

As medidas intensivas são:

- *Barragem para controle de inundação*: o reservatório de controle de enchentes funciona retendo o volume do hidrograma durante as enchentes, reduzindo, assim, o pico e o impacto a jusante do barramento;
- *Diques com polders*: são muros laterais de terra ou concreto, inclinados ou retos, construídos a uma certa distância das margens, que protegem as áreas ribeirinhas contra o extravasamento.

Tabela 4.3. Principais características das medidas estruturais.

Medida	Principal vantagem	Principal desvantagem	Aplicação
Medidas extensivas			
Alteração da cobertura vegetal	Redução do pico de cheia	Impraticável para grandes áreas	Pequenas bacias
Controle de perda do solo	Reduz o assoreamento	Idem ao anterior	Pequenas bacias
Medidas intensivas			
Diques e polders	Alto grau de proteção de uma área	Danos significativos caso falhe	Grandes rios e na planície
Melhoria do canal			
Redução da rugosidade por desobstrução	Aumento da vazão com pouco investimento	Efeito localizado	Pequenos rios
Corte do meandro	Amplia a área protegida e acelera o escoamento	Impacto negativo em rio com fundo aluvionar	Área de inundação estreita
Reservatório			
Todos os reservatórios	Controle a jusante	Localização difícil devido a desapropriação	Bacias intermediárias
Reservatórios com comportas	Mais eficiente com mesmo volume	Vulnerável a erros humanos	Projetos de usos múltiplos
Reservatórios para cheias	Operação com mínimo de pedras	Custo não compartilhado	Restrito ao controle de enchentes
Mudança de canal			
Caminho de cheia	Amortecimento de volume	Depende da topografia	Grandes bacias
Desvios	Reduz vazão do canal principal	Idem ao anterior	Bacias médias e grandes

Fonte: adaptado Simons et al., (1977).

As principais medidas não-estruturais são do tipo preventivas, como: previsão e alerta de inundação, zoneamento das áreas de risco de inundação, seguro e proteção individual contra inundação (TUCCI, 2007).

O **sistema de previsão e alerta** tem o propósito de se antecipar à ocorrência da inundação, avisando a população e tomando as medidas necessárias para reduzir os prejuízos resultantes da inundação (ibid, 2007). Um sistema de previsão em tempo real envolve os seguintes aspectos:

- *Sistema de coleta e transmissão de informações hidrológicas*: sistema de monitoramento por rede telemétrica, satélite ou radar e transmissão destas informações para o centro de previsão;
- *Centro de Previsão*: recepção e processamento de informações, modelo de previsão, avaliação e emissão de alerta;
- *Defesa Civil*: programas preventivos: educação, mapa de alerta, definição de locais críticos; alerta aos sistemas públicos - escolas, hospitais, infraestrutura; alerta a população de risco, remoção e proteção da população atingida durante a emergência.

O sistema de previsão e alerta possui três fases distintas que são (TUCCI, ibid):

- *Prevenção*: Planejamento das atividades para minimizar as inundações na sua ocorrência. Treinamento da equipe da Defesa Civil. Informação da população. Mapa de alerta com identificação das áreas alagáveis. Planejamento de áreas para receber a população desalojada. Monitoramento.
- *Alerta*: Acompanhamento da ocorrência dos eventos chuvosos com base em: nível de acompanhamento (existe um acompanhamento por parte dos técnicos da evolução da enchente); nível de alerta (previsão de um nível futuro crítico que será atingido dentro de um horizonte de tempo); nível de emergência (nível no qual ocorrem prejuízos materiais e humanos).
- *Mitigação* : Trata das ações que devem ser realizadas para diminuir o prejuízo da população quando a inundação ocorre, como isolar ruas e áreas de risco, remoção da população, animais e proteção de locais de interesse público.

O **zoneamento** é a definição de um conjunto de regras para a ocupação do solo e deve considerar as áreas de risco de inundação, visando minimizar futuras perdas materiais e humanas em face das grandes cheias. O zoneamento urbano permite o desenvolvimento racional das áreas ribeirinhas. Assim, é necessário regulamentar áreas de ocupações urbanas, que deve passar por uma proposta técnica discutida com a comunidade antes de ser incorporada ao Plano Diretor da cidade. O zoneamento engloba

as seguintes etapas: modelagem do processo físico das inundações; mapeamento das áreas sujeitas à inundação (conforme diferentes níveis de perigo); zoneamento.

Esta regulamentação apoia-se em critérios de ocupação de áreas de diferentes níveis de perigo (diferentes tempos de recorrência, por exemplo), tanto quanto ao uso como quanto aos aspectos construtivos. Portanto, essa é a fase de controle sobre a expansão e adensamento urbano. O Código de Construção deve orientar a construção de prédios quanto a aspectos estruturais, hidráulicos, de material e vedação. A regulamentação adequada das construções permite evitar futuros danos.

Assim, a **construção à prova de enchente** consiste no conjunto de medidas projetadas para reduzir as perdas de prédios localizados nas várzeas de inundação durante a ocorrência das cheias. Algumas destas medidas são as seguintes:

- Instalação de vedação temporária ou permanente nas aberturas das estruturas;
- Elevação de estruturas existentes;
- Construção de novas estruturas sob pilotis;
- Construção de pequenas paredes ou diques circundando a estrutura, relocação ou proteção de artigos que possam ser danificados dentro da estrutura existente (para pisos superiores, por exemplo);
- Relocação de estruturas para fora da área de inundação;
- Uso de material resistente à água ou novas estruturas;
- Regulamentação da ocupação da área de inundação por cercamento.

O **Seguro** contra inundações permite aos indivíduos ou empresas a obtenção de uma proteção econômica para perdas decorrentes dos eventos de inundação. O seguro é um procedimento viável para empreendimentos com valor agregado importante, no qual os proprietários possuem capacidade econômica de pagar o prêmio do seguro. Além disso, conhecido o nível de risco, torna-se interessante também para as seguradoras que oferecem o serviço e delimitam as áreas possíveis de serem seguradas.

O controle de inundação deve ser feito através da combinação de medidas estruturais e não estruturais que conceda a população que vive em áreas de risco a possibilidade de minimizar perdas e manter uma convivência harmoniosa com o rio. Estas ações incluem medidas de engenharia, de cunho social, econômico e administrativo. Baptista et al. (2005) classifica essas soluções como medidas compensatórias, que podem ser divididas em diferentes técnicas apresentadas na **Tabela 4.4**.

Tabela 4.4. Tipos de medidas compensatórias.

Técnicas compensatórias não-estruturais	Legislação Racionalização do uso do solo urbano Educação ambiental Tratamento de fundo de vale	
Técnicas compensatórias estruturais	Bacias	Detenção/Retenção e infiltração
	Obras lineares	Trincheiras Valas e valetas Pavimentos Revestimentos permeáveis Pavimentos reservatórios
	Obras pontuais	Poços de infiltração Telhados verdes Técnicas adaptadas à parcela

Fonte: (BAPTISTA et al., 2005)

A concepção predominante de drenagem urbana no Brasil é a baseada no “sistema clássico”, calcado em preceitos higienistas. Essa concepção valoriza grandes intervenções no meio natural, estimulando obras como a canalização de corpos d’água, resultando no aumento das velocidades de escoamento das águas pluviais. Em contraposição a essa visão, surgiram, a partir da década de 1970, técnicas compensatórias em drenagem, que visavam à retenção das águas de chuva e à retomada de fenômenos naturais do ciclo hidrológico, como a infiltração de água no solo (BAPTISTA et. al., 2005).

5 FERRAMENTAS DE GEOPROCESSAMENTO E MODELAGEM MATEMÁTICA

5.1 GEOPROCESSAMENTO e SIG

5.1.1 Conceitos de Geoprocessamento e SIG

O Geoprocessamento é um campo da área do conhecimento conhecida como Geomática, a qual abrange o total conjunto de técnicas ligadas à informação espacial, quer seja relativo à coleta, armazenamento, tratamento e análise, bem como ao uso integrado desses dados geográficos. Xavier da Silva (2000) define Geoprocessamento como um conjunto de técnicas de processamento de dados, destinado a extrair informação ambiental a partir de uma base de dados georreferenciados. Para o autor, Geoprocessamento só é aplicado após a montagem da base de dados. Rocha (2000) conceitua Geoprocessamento de forma que sintetiza vários pensamentos acerca do assunto:

"Uma tecnologia transdisciplinar, que através da axiomática da localização e do processamento de dados geográficos, integra várias disciplinas, equipamentos, programas, processos, entidades, dados, metodologia, pessoas para coleta, tratamento, análise e apresentação de informações associados a mapas digitais georreferenciados".

O Sistema de Geoprocessamento compreende o processamento de dados referenciados geograficamente (ou georreferenciados), desde a sua coleta até a geração de saídas na forma de mapas convencionais, relatórios, arquivos digitais, entre outros; devendo prever recursos para sua estocagem, gerenciamento, manipulação e análise. O principal objetivo do geoprocessamento é fornecer ferramentas computacionais para que os diferentes profissionais determinem as evoluções espaciais e temporais de um fenômeno geográfico e as interrelações entre diferentes fenômenos (CAMARA e MEDEIROS, 1998).

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG's), permitem realizar análises complexas, ao incluir dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados, sendo possível ainda, automatizar a produção de documentos cartográficos. Ou seja, é um sistema que processa dados gráficos e não gráficos (alfanuméricos) com ênfase na análise espacial e modelagens de superfícies.

Estas definições retratam a multiplicidade de usos e possíveis visões desta tecnologia e direcionam para uma perspectiva interdisciplinar de sua utilização. Assim, é possível indicar as principais características de SIG's:

- Inserir e integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados censitários e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno, dentre outros dados que possam ser representados de forma georreferenciada.
- Oferecer mecanismos para combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação e análise, bem como para consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados georreferenciados.

As aplicações de um SIG:

- Ferramenta para produção de mapas;
- Suporte para análise espacial de fenômenos;
- Banco de dados geográficos, com funções de armazenamento e recuperação de informações.

5.1.2 Componentes do SIG

Embora se pense no SIG como um elemento único de “software”, ele possui como característica a composição de uma variedade componentes (EASTMAN, 1997). De fato, o SIG compreende quatro elementos básicos que operam em um contexto institucional, são eles: hardwares, software, dados e recursos humanos.

O *hardware* pode ser qualquer tipo de plataforma computacional, como: computadores pessoais, *workstations*, supercomputadores e minicomputadores de alta performance. Quanto aos dispositivos de entrada são utilizadas mesas digitalizadoras, *scanners*, restituidores fotogramétricos, instrumentos topográficos eletrônicos, GPS entre outros.

A escolha do *hardware* depende da necessidade do projeto a ser executado, assim, varia a função do volume e tipo de dados que serão utilizados, visando assegurar um melhor desempenho em relação à aquisição de saída dos dados, ao *software* e sistema operacional utilizado.

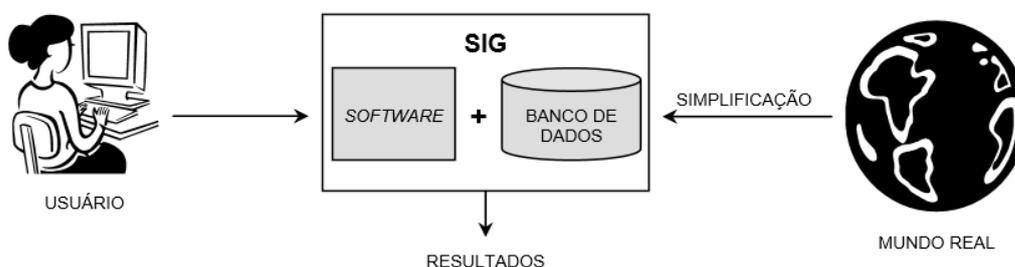
O *software* de um SIG é criado em níveis aprimorado, constituído de módulos que executam as mais diversas funções. Segundo Burrough & McDonnell (1998), os softwares de um SIG podem ser divididos em cinco grupos funcionais que consistem em módulos de manipulação da informação relacionados de forma hierárquica. Esses módulos são: entrada de dados e verificação; armazenamento e gerenciamento de base de dados; saída e apresentação; transformação; e interação com usuário.

Da mesma maneira como o *hardware*, a escolha do melhor *software* é completamente dependente do projeto que se queira desenvolver. Os *softwares* existentes no mercado procuram atender desde projetos educacionais, até projetos mais complexos, como se propõe os trabalhos realizados no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. A escolha também tem que privilegiar a flexibilidade de aquisição (importação) e exportação de dados, facilitando a comunicação entre os SIG.

O dado é um elemento essencial para o SIG. Os dados geográficos são muito dispendiosos para coleta, armazenamento e manipulação, pois são necessários grandes volumes para solucionar importantes problemas geográficos. Os dados influenciam diretamente na qualidade do trabalho final, por isso a confiabilidade desses é de suma importância. A escassez de dados gera uma barreira à produção de resultados com mais acurácia.

O elemento mais importante do SIG são os recursos humanos, aqueles responsáveis pelo projeto, implementação e uso. Sem um profissional qualificado, dificilmente um projeto de um SIG terá sucesso. Para Maantay e Ziegler (2006), os SIG's podem ser definidos como um sistema integrado de componentes: informações sobre o mundo real, previamente obtidas e integradas em um banco de dados digital, contendo elementos espaciais e não-espaciais, que, em conjunto com um software especializado, hardware adequado e o julgamento do usuário ou analista, é capaz de produzir soluções espaciais para problemas em áreas diversas. A **Figura 5.1** ilustra esta definição.

Figura 5.1 - Componentes do SIG.



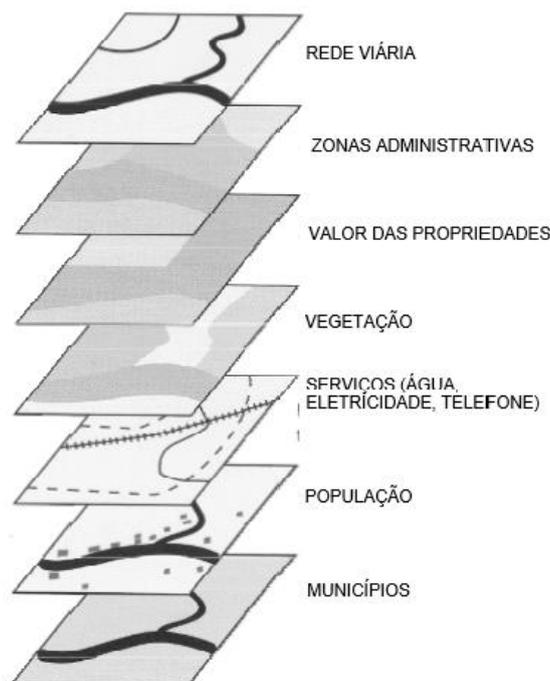
Fonte: Adaptado de MAANTAY e ZIEGLER, 2006.

Cruz (2000), ressalta que a integração e compartilhamento dos dados e informações, evitando-se o sentimento de propriedade sobre os mesmos e a geração de

uma série de trabalhos com duplicidade, minimizando os custos e enriquecendo os resultados.

As informações disponíveis na forma de dados geográficos digitais são organizadas em categorias e cada categoria é representada por uma camada (layer). Cada camada é constituída por um conjunto de informações espaciais e atributos, que permanecem armazenados no banco de dados e disponíveis para serem selecionados e convocados nos mapas visíveis, de acordo com a demanda. O usuário pode então sobrepor diferentes combinações de camadas, em função de seu interesse ou objetivo, produzindo um mapa composto (MAANTAY e ZIEGLER, 2006). A **Figura 5.2** demonstra a estrutura de camadas dos SIG's.

Figura 5.2. Conceito de estruturação de informações por camadas.



Fonte: Adaptado de MAANTAY e ZIEGLER, 2006.

5.1.3 Etapas da construção de produtos a partir da operação de um SIG

Segundo Maantay e Ziegler (2006), o processo de construção de produtos a partir da operação de um SIG abrange as seguintes etapas:

1. **Aquisição de dados:** os dados são coletados em distintas fontes, podendo ser primários ou secundários.
2. **Armazenamento e recuperação de dados:** inserir os dados em formato digital em um computador dotado do hardware apropriado, de forma a torná-los acessíveis e funcionais, armazenando todos os dados relevantes em um único sistema.
3. **Gerenciamento do banco de dados:** inclui funções como formatação de dados, construção de relações, manutenção, atualização e edição do banco de dados, de maneira a conservá-lo atual e livre de erros.
4. **Processamento de dados:** criação de dados estruturados, para que as relações entre os diversos elementos geográficos possam ser reconhecidas.
5. **Exibição e interação entre dados:** a capacidade de exibir, alterar e expor dados de diferentes maneiras auxiliando sua utilização eficiente.
6. **Análise de dados espaciais:** a principal etapa do SIG, através da qual seu potencial como ferramenta de suporte à decisão pode ser explorado ao máximo. Refere-se a aplicação de consultas complexas envolvendo dados geográficos e aplicação de modelos que simulam o comportamento de processos geográficos.
7. **Síntese e apresentação de dados:** é o produto final de um projeto de SIG. Onde os mapas são criados com o objetivo de visualizar e efetivamente comunicar os dados e informações obtidos para um público mais abrangente, fornecendo suporte ao planejamento de tomada de decisão.

5.1.4 Alcance e limitação do Geoprocessamento

As vantagens do geoprocessamento estão nas inúmeras aplicações, basicamente permitem trabalhar com uma grande quantidade de informação especializada e correlaciona-las de forma prática para os mais diversos fins como, manejo e conservação de recursos naturais planejamento urbano, análise de risco ambiental, saúde pública, gestão de instalações, entre outros.

No entanto, existe uma controvérsia a respeito das possibilidades e limitações do uso de sistemas de informação geográfica na análise ambiental. Os SIG's oferecem uma abundância de ferramentas para processar dados ambientais, as quais permitem a expressão de procedimentos lógicos e matemáticos sobre as variáveis georreferenciadas com uma economia de expressão e uma repetibilidade impossíveis de alcançar em análises tradicionais. Ao produzir novos mapas por combinação e manipulação, sem o cuidado de controlar o procedimento, muitos usuários não conseguem explicar os resultados obtidos e deles tirar conclusões objetivas (CAMARA e MEDEIROS, 1998).

Para explicar o que pode ou não ser modelado por geoprocessamento é necessária uma visão epistemológica acerca da organização do espaço. Santos (1985), descreve as relações que explicam a organização do espaço, utilizando os conceitos de forma, função, estrutura e processo.

Conforme Santos (1985) a forma é o aspecto visível do objeto, referindo-se, ao seu arranjo, que passa a constituir um padrão espacial; a função constitui uma tarefa, atividade ou papel a ser desempenhado pelo objeto; a estrutura refere-se à maneira pela qual os objetos estão relacionados entre si, não possui uma exterioridade imediata - ela é invisível, subjacente à forma, uma espécie de matriz na qual a forma é gerada; o processo é uma estrutura em seu movimento de transformação, ou seja, é uma ação que se realiza continuamente visando um resultado qualquer, implicando tempo e mudança.

Nesse entendimento, afirma-se que as técnicas de Geoprocessamento não conseguem resolver de forma plena as dualidades forma-função e estrutura-processo. Com o uso de SIG, pode-se caracterizar adequadamente a forma de organização do espaço, mas não a função de cada um de seus componentes; pode-se ainda estabelecer qual a estrutura do espaço, ao modelar a distribuição geográfica das variáveis em estudo, mas dificilmente poderemos estabelecer, apenas com os dados armazenados num banco de dados geográfico, pois a natureza dinâmica dos processos de constante transformação da natureza é consequência das ações do homem.

5.1.5 Uso do SIG no planejamento urbano e gestão do risco de inundações

O uso de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) auxilia na organização territorial, na criação e manutenção de informações e no diagnóstico e solução dos mais diversos problemas enfrentados pela gestão municipal. A utilização do SIG na gestão do risco de inundação colabora em diversos processos nos estudos de modelagem de dados

e na previsão de cenários, incluindo a geração de simuladores voltados à identificação de zonas inundáveis.

Praticamente todas as áreas de atuação municipal podem encontrar no geoprocessamento um importante aliado nas etapas de levantamento de dados, diagnóstico do problema, tomada de decisão, planejamento, projeto, execução de ações e medição dos resultados. O SIG possibilita fazer uma análise espacial que combine o mapeamento dos problemas urbanos com informações físicas, demográficas, geográficas, topográficas ou de infraestrutura. Assim, esta análise levará a adotar uma solução mais racional que a sugerida pela análise de informações alfanuméricas, e em menor tempo.

Na gestão do risco de inundação os modelos de simulação hidráulico-hidrológicos estão intrinsecamente ligados à representação dos processos que geram o prognóstico da dinâmica dos sistemas de inundação em determinadas condições. A relação entre os dados espaciais e o tratamento geoestatístico, usados de forma integrada com um SIG, condicionam a construção desse modelo, que proporciona a identificação de tendências, onde os resultados podem auxiliar no suporte de decisões para gestão da ocupação das áreas aptas a incidência e reincidência de determinada condição de risco.

Os SIG's são aplicados em diversos estudos, por isso têm uma grande aceitação e popularidade. Estes permitem combinar, analisar e visualizar vários tipos de informações que caracterizam uma mesma área. O que torna praticável o acompanhamento e o controle do espaço urbano em tempo real, através da constante atualização dos mapas e informações contidas no banco de dados.

5.2 MODELAGEM MATEMÁTICA

A modelagem matemática estuda a simulação de sistemas reais a fim de prever o comportamento dos mesmos. Segundo Bassanezi (2002), a modelagem como método científico e instrumento de pesquisa pode: estimular novas ideias, técnicas experimentais, informações em diferentes aspectos dos inicialmente previstos, interpolações, extrapolações e previsões; servir de recurso para melhor entendimento da realidade.

5.2.1 MODCEL: Modelo de células para escoamento em bacias urbanas

A proposta do modelo de células parte do princípio de que uma bacia pode ser subdividida em um conjunto de comportamentos homogêneos, chamados de células de escoamento, que, em grupo ou isoladamente, representam paisagens urbanas, num arranjo tal que reproduz os padrões de escoamento, dentro ou fora da rede de drenagem, a partir das interações entre as células modeladas. Contudo, existe, uma etapa ao uso do modelo computacional propriamente dito, fundamental para a qualidade da modelação como um todo, que representa uma discretização topográfica e hidráulica (MIGUEZ, 2001).

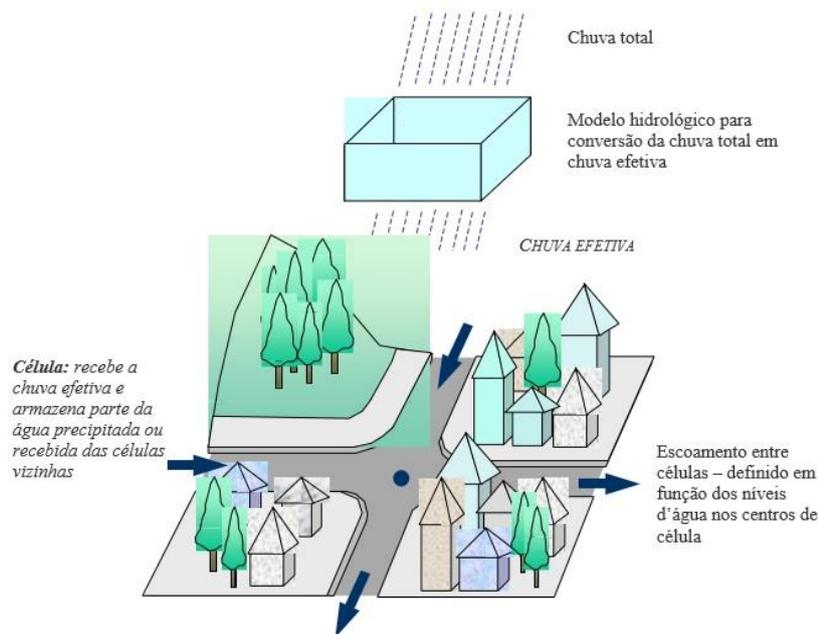
De acordo com Miguez (2001), o modelo de células foi desenvolvido através de um enfoque bidimensional do plano de escoamento, que representa justamente a interação entre os rios, canais e galerias e as áreas alagadas. Nesse caso, o escoamento da água urbana faz com que esta passe a ter funções diferenciadas das convencionais, ou seja, as zonas aproximadamente planas tornam-se grandes áreas alagáveis, as calçadas marginais aos rios atuam como vertedouros, as ruas se transformam em canais, parques e praças funcionam como reservatórios.

A divisão da superfície da bacia em células de escoamento com características hidráulicas e hidrológicas específicas, é o maior atributo deste modelo e o torna uma interessante alternativa para aplicação na simulação de enchentes urbanas (ibid, 2001). A modelação do terreno necessita da definição de elementos computacionais básicos que possam representar e concentrar as características topográficas e hidráulicas de uma região homogênea nestes elementos, que serão então compreendidos pelo modelo como células de escoamento, que poderão assumir diversas formas neste papel de modelar a natureza (ibid, 2001).

As células podem representar a natureza isoladamente ou em conjuntos, formando estruturas mais complexas. A definição de tipos de células e de ligações visa representar a superfície urbana e as leis hidráulicas que traduzem diferentes escoamentos, permitindo reproduzir uma multiplicidade de padrões observados no cenário urbano. A atividade de modelação depende de um conjunto pré-definido de tipos de célula e de possíveis ligações entre elas.

A **Figura 5.3** demonstra, esquematicamente, o funcionamento de uma célula.

Figura 5.3. Funcionamento esquemático de uma célula de escoamento.



Fonte: Miguez, 2001.

São cinco tipos de células representadas pelo modelo:

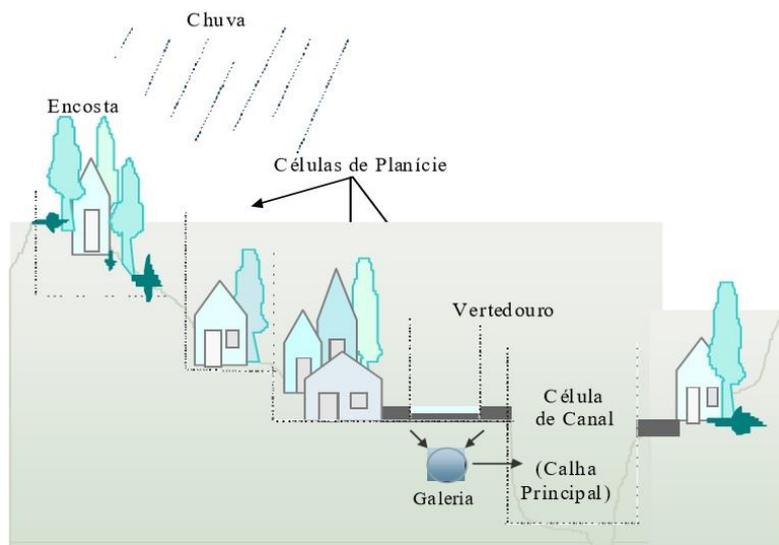
- de rio, ou canal, por onde se desenvolve o escoamento principal da drenagem a céu aberto, podendo ser a seção simples ou composta, porém, aproximadamente retangulares;
- de galeria, subterrânea, complementando a rede de drenagem;
- de planície urbanizada, para a representação de escoamentos a superfície livre em planícies alagáveis; áreas de armazenamento, ligadas umas às outras por ruas; áreas de encosta, para recepção e transporte da água precipitada sobre as mesmas para dentro do modelo; áreas de vertimento da água de um rio para ruas vizinhas e vice-versa; e áreas de transposição de margens, quando é

preciso integrar as ruas marginais a um rio e que se comunicam através de uma ponte;

- de planície natural, não urbanizada, análoga ao tipo anterior, porém prismática, sem sustentar nenhum tipo de urbanização;
- de reservatório, simulando o armazenamento d'água em um reservatório temporário de armazenamento, dispondo de uma curva cota x área superficial, a partir da qual, conhecendo-se a variação de profundidades, pode-se também conhecer a variação de volume armazenado. A célula tipo-reservatório cumpre o papel de amortecimento de uma vazão afluente.

A **Figura 5.4** mostra um corte em uma bacia, mostrando resumidamente a modelação do espaço urbano através de células de escoamento.

Figura 5.4. Representação esquemática de uma região dividida em células, mostrando interfaces dos escoamentos superficiais



Fonte: Miguez, 2001.

As doze ligações típicas de escoamento entre células, que podem ser escritas em função de leis hidráulicas, são descritas a seguir:

- ligação tipo rio, para escoamento à superfície livre, considerando a equação dinâmica de Saint Venant, incluindo seus termos de inércia;
- ligação tipo planície, para escoamento à superfície livre, considerando a equação dinâmica de Saint Venant, sem os termos de inércia;

- ligação tipo vertedouro de soleira espessa, considerando a equação clássica, para escoamento livre ou afogado;
- ligação tipo orifício, também clássica;
- ligação tipo entrada de galeria, com contração do escoamento;
- ligação tipo saída de galeria, com expansão do escoamento;
- ligação tipo galeria, com escoamento à superfície livre ou sob pressão;
- ligação tipo curva cota x descarga, estruturas especiais calibradas em laboratório físico (modelos reduzidos);
- ligação tipo descarga de galeria em rio, funcionando como vertedouro, livre ou afogado, ou orifício, para galerias que chegam a um rio em cota superior ao fundo deste, por uma das margens;
- ligação tipo bueiro, como interface das células superficiais com as células de galeria;
- ligação tipo bombeamento, com descarga de uma célula para outra a partir de uma cota de partida;
- ligação tipo comporta “flap”, funcionando como este tipo de comporta de sentido único de escoamento.

5.3 INDICADORES E ÍNDICES

De acordo com Bellen (2006), os indicadores normalmente focalizam em uma pequena amostra – manejável, tangível e reveladora de um sistema ou grupo – de informações, que possam revelar um senso de um quadro maior. O uso de indicadores é, portanto, fundamental para promover um modelo simples de uma medida complexa, uma ferramenta de informação, de fácil compreensão, não ambígua e fiel à realidade.

Para *Organisation pour le Commerce et le Développement Économique* - OCDE (1993), um indicador deve ser entendido como um parâmetro, ou valor derivado de parâmetros que apontam e fornecem informações sobre o estado de um fenômeno, com uma extensão significativa. Sendo assim, os indicadores são mais que medidas simples, que podem incorporar diversas variáveis de uma vez e ter um significado.

Os indicadores podem ser considerados como um modelo da realidade, mas não podem ser considerados a própria realidade; entretanto, devem ser analiticamente legítimos e construídos dentro de uma metodologia coerente de mensuração. São utilizados para simplificar informações sobre fenômenos complexos e para tornar a

comunicação sobre eles mais compreensível e qualificável (HARDI E BARG, 1993 *apud* BELLEN, 2006).

Os indicadores podem ser quantitativos ou qualitativos. Segundo Cardoso (1999), os indicadores quantitativos baseiam-se em amostras probabilísticas, em análises estatísticas derivadas de hipótese dedutiva e em planos experimentais ou quase-experimentais. São fáceis de construir, já que utilizam procedimentos mais formalizados; exigem, maior qualificação em aspectos formais relativos às questões metodológicas. Além disso, permitem respostas curtas, sucintas, parcimoniosas, com a possibilidade de serem formalizadas matematicamente, o que facilita a sistematização, a padronização e a generalização.

Enquanto indicadores qualitativos têm um enfoque mais holístico, e exigem critérios de validade. Baseiam-se amostras reduzidas, não probabilísticas, e investigação naturalista. Por serem mais descritivos, os dados são considerados válidos e, em sua construção, são mais utilizados em análises difíceis e laboriosos a que exigem maior qualificação teórico-conceitual. Trazem informações sobre componentes subjetivos, captam valorações, atitudes, condutas, motivações e abordam a realidade em seu dinamismo.

O principal propósito dos indicadores e sua mais eficaz função é a formulação de índices. Conforme Zonensein (2007), o índice é uma forma de agregar informações associadas a indicadores de distintas naturezas e significâncias, traduzindo-os em um único valor representativo de uma situação real. Este resultado tem por objetivo refletir o efeito conjunto do grupo de indicadores, permitindo assim comparações no tempo e no espaço. Para De Bonis (2006), os índices 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; prever futuras condições e tendências. Dessa forma, índices constituem uma ferramenta essencial de suporte à decisão, especialmente para análises multicritério (OLAVE, 2003).

As propriedades que devem ser determinadas para a elaboração de um índice são apresentadas abaixo, de acordo com Zonensein (2007):

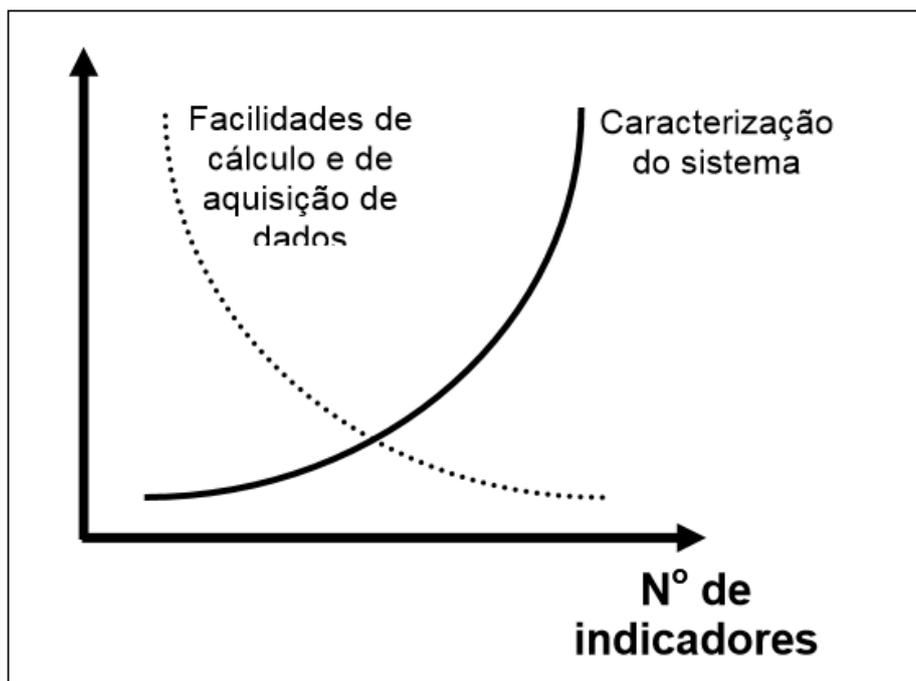
- **Constituição:** é o grupo de indicadores que compõe o índice.
- **Domínio:** é a esfera espacial (local, regional, nacional, global) de aplicabilidade do índice.
- **Formulação:** é a expressão matemática que representa a relação entre os indicadores considerados.

- **Escala:** é definida pelos seus extremos máximo e mínimo, entre os quais estão compreendidos todos os valores que o índice pode assumir; a amplitude de uma escala é dada pela diferença entre seus valores extremos.

As metodologias multicritério podem ser importantes na formulação de um índice. Podem ser usadas na seleção dos indicadores, na normalização de suas escalas, na escolha de pesos e na determinação de sua formulação. Permitem uma exploração mais profunda dos dados existentes através de complexa interrelação entre muitas variáveis (COELHO, 2011).

Quanto à constituição, um maior número de indicadores permite melhor caracterização do sistema, mas gera também maior esforço na aquisição de dados, complexidade nos cálculos e, conseqüentemente, maiores custos (ZONENSEIN, 2007). Esta situação é representada na **Figura 5.5**.

Figura 5.5. Considerações quanto à constituição do índice



Fonte: Zonensein,2007.

5.3.1 Características dos indicadores

São apresentadas as características dos indicadores usados na composição de índices e algumas considerações que devem ser feitas previamente à sua escolha. Dessa

forma, apresenta-se os principais atributos de um indicador qualquer, de acordo com Cardoso (1999), Olave (2003), Bonierbale (2004), De Bonis (2006) e Bellen (2006):

- **Validade:** se efetivamente mede aquilo que pretende.
- **Confiabilidade:** se sua medição repetida em condições simulares reproduz os mesmos resultados.
- **Objetividade:** devem se apresentar de forma simples.
- **Clareza:** se tem significado claro para todos seus usuários.
- **Especificidade:** se mede somente o fenômeno de interesse.
- **Precisão:** na definição de indicadores, não poderá haver interpretações ambíguas, isto é, indicadores com dois ou mais sentidos.
- **Sensibilidade:** se pode medir as mudanças no fenômeno de interesse.
- **Viabilidade:** os indicadores devem ser estruturados com informações que tragam ações para o momento.
- **Visualização:** devem garantir fácil visualização, podendo ser expressa através do gráfico ou fluxograma.
- **Ajuste:** os indicadores devem ser adaptados de acordo com a necessidade da atividade.
- **Unicidade:** os indicadores não podem ser usados de forma diferente em situações iguais.
- **Mensurabilidade:** se é baseado em dados disponíveis ou fáceis de se obter.
- **Custo-benefício:** se justifica os investimentos de tempo e recursos.

De acordo com Zonensein (2007), a escolha dos indicadores também é fortemente influenciada e condicionada pelas propriedades do índice (domínio, formulação e escala). Exemplo, se o índice for regional é preferível que os indicadores tenham, no máximo, este mesmo domínio. De outro modo, se os indicadores tiverem domínio de aplicabilidade superior (nacional), eles terão de ser desmembrados no mesmo nível espacial do índice, inferindo informações que não são necessariamente reais ou precisas, uma vez que dizem respeito a uma escala menor que a escala que está sendo objeto de análise.

- **Normalização**

A normalização, em termos matemáticos, consiste em um processo pelo qual todos os valores em estudo são relacionados a um valor de referência estabelecido, e

convertidos em novos números dentro de uma mesma escala (por exemplo, a escala [0,1]). Os valores normalizados, resultantes desta transformação, não terão unidade ou serão apresentados em unidades comuns (NORRIS, 2001). Existem diversas formas de normalização, tais como as que utilizam funções (lineares, não lineares, monótonas) ou como as que se relacionam diretamente a variáveis (valor numérico, distância relativa), entre outras. Exemplos de algumas metodologias são apresentados a seguir.

- **Normalização linear por distância**

Na normalização linear por distância deve-se determinar os valores mais e menos favoráveis que o indicador pode assumir, que não necessariamente correspondem aos seus valores máximo e mínimo. Considera-se que entre estes valores extremos, a relação entre a escala real e a escala associada é linear. Calcula-se, portanto, a distância entre o valor atual e o valor ótimo, de acordo a Eq. (5.1), abaixo.

$$Y' = \frac{Y_+ - Y_{atual}}{Y_+ - Y_-} \text{ ou } Y' = \frac{Y_+ - Y_{atual}}{Y_+ - Y_-} \times n \quad \text{Eq. (5.1)}$$

- Onde:
- Y_+ : valor mais favorável que o indicador pode assumir
- Y_- : valor menos favorável que o indicador pode assumir
- Y_{atual} : valor atual do indicador
- Y' : novo valor atribuído ao indicador após a conversão
- n : amplitude da escala associada

Observar-se que, na primeira alternativa, o valor de Y' varia entre zero (quando $Y_{atual} = Y_+$) e um (quando $Y_{atual} = Y_-$). No segundo momento, está amplitude é ajustada, multiplicando-se a equação por n , para que varie entre zero e n . Este tipo de normalização pode ser utilizado quando pouco se sabe sobre o efeito particular do indicador sobre o índice, uma vez que a inferência de relações não-lineares exigiria a determinação de outros limites, além dos valores mais e menos favoráveis do indicador.

- **Normalização por intervalos ou classes**

Neste tipo de normalização, o valor limite ao longo da escala real do indicador é agregado à escala desejada, de forma que, entre estes limites, a normalização seja feita a partir de uma função específica (por exemplo, constante ou linear). O uso deste tipo de normalização é pertinente quando se conhece o suficiente o comportamento do indicador

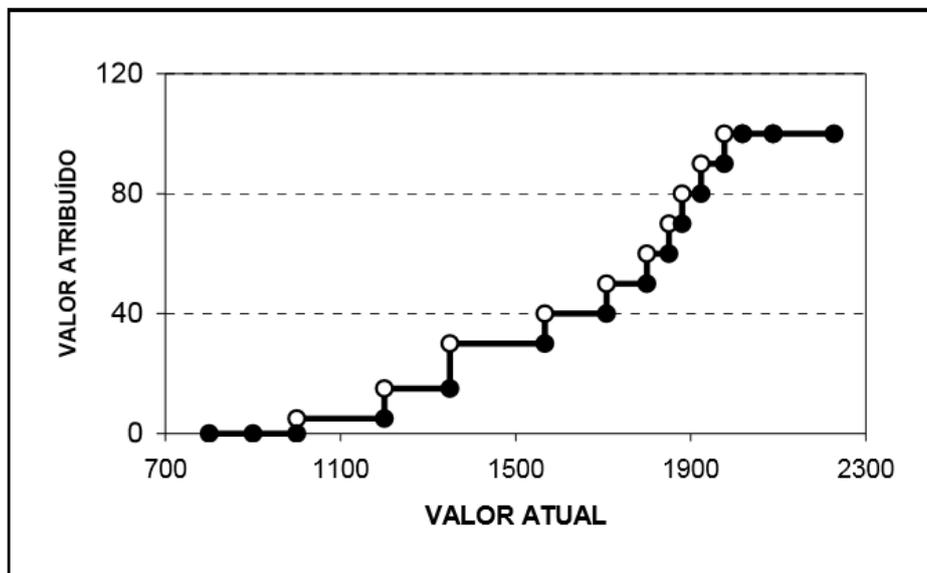
sobre o índice e/ou quando a normalização linear não se aplica. A normalização é exemplificada na **Tabela 5.1**. As **Figuras 5.6 e 5.7** apresentam duas possibilidades de interpolação de valores limites.

Tabela 5.1. Exemplo de normalização por classes.

Valores atuais	80	91	97	102	111	125	140	155	160	167	170
Valores atribuídos	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

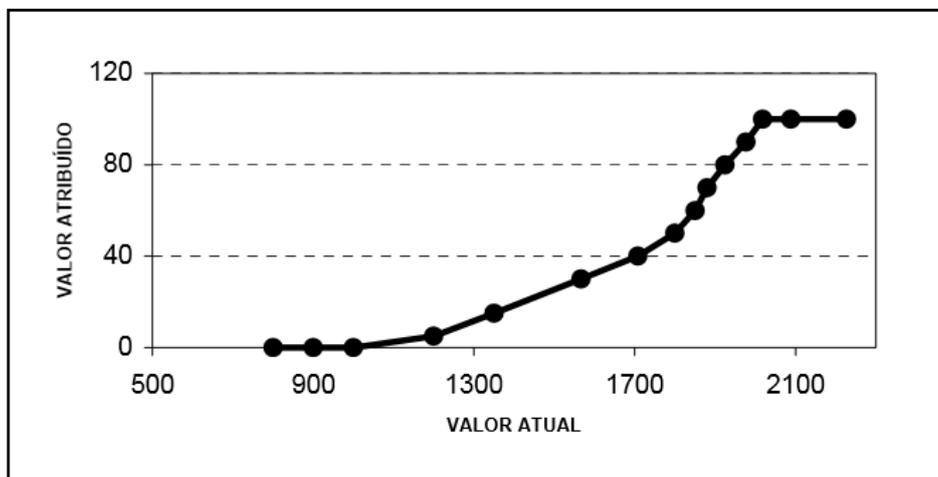
Fonte: Zonensein,2007.

Figura 5.6. Interpolação com função constante



Fonte: Zonensein,2007.

Figura 5.7. Interpolação com função linear



Fonte: Zonensein,2007.

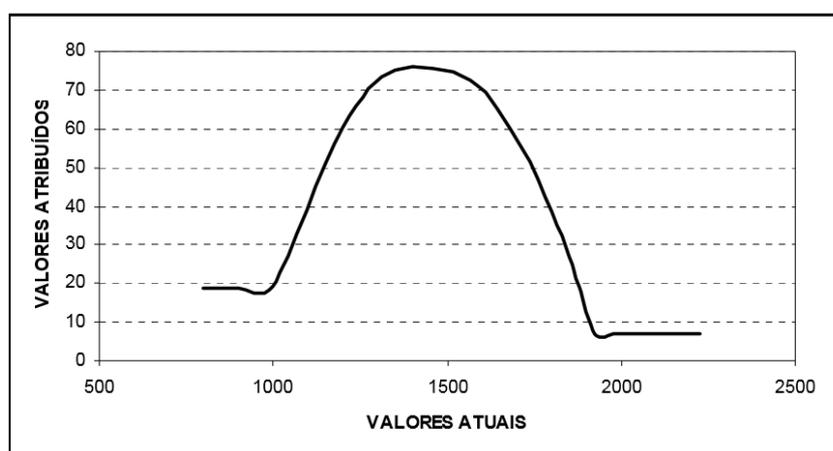
- **Normalização por função**

Este tipo de normalização é feito através da definição de funções empíricas específicas para cada um indicador, cuja escala de variabilidade é restrita aos limites da função. O uso dessa normalização exige um conhecimento amplo sobre o comportamento do indicador, o que limita a sua aplicação.

Dessa forma, apresentam-se se a Eq. (5.2) e a **Figura 5.8** para demonstrar esse tipo de normalização.

$$Y' = \begin{cases} 0,25 \cdot Y_{atual} & \text{se } Y_{atual} < 20 \\ -0,0875 \cdot Y_{atual}^2 + 9 \cdot Y_{atual} - 140 & \text{se } 20 \leq Y_{atual} \leq 80 \\ 80 & \text{se } Y_{atual} > 80 \end{cases} \quad \text{Eq. (5.2)}$$

Figura 5.8. Exemplo de função de normalização empírica



Fonte: Zonensein,2007.

5.3.2 Componentes dos índices com base na análise multicritério

Análises multicritério são metodologias desenvolvidas para resolução de problemas complexos, envolvendo equipes multidisciplinares e considerando diversos objetivos, alternativas e fatores que as influenciam (MENDOZA e MACOUN, 1999). O objetivo da técnica consiste em estruturar e combinar diferentes análises tendo em consideração o processo de tomada de decisão, sendo que a tomada de decisão se baseia em escolhas múltiplas e o tratamento dado a cada uma das escolhas condiciona, em grande parte, a decisão final.

De acordo com Zonensein (2007), estes modelos possibilitam que as diversas alternativas sejam comparadas, selecionadas ou ordenadas através de um procedimento formal de tomada de decisão. O processo decisório está naturalmente sujeito a

preferências, incertezas e interpretações, de maneira que a vantagem dos métodos de suporte à decisão multicritério é justamente torná-lo mais ordenado, objetivo e transparente.

A análise multicritério pode ser usada para retratar o raciocínio e as convicções subjetivas das diferentes partes interessadas sobre cada questão em particular. É, normalmente, usada para sintetizar opiniões expressadas, para determinar prioridades, para analisar situações de conflito, para formular recomendações ou proporcionar orientações de natureza operacional (Miguez, 2001).

As principais desvantagens destes métodos estão na necessidade de grande quantidade de informações e estarem sujeitos a decisões subjetivas, influenciadas pela percepção particular do decisor. Para Bastos (2000 *apud* MALTA, 2006), a diferença entre a análise multicritério e outras abordagens metodológicas é que, apesar do método não garantir a racionalidade completa no processo de decisão, ele considera as ideias de forma racional, em um ambiente com poucas informações seguras, para subsidiar o processo de análise que apresenta grande complexidade.

A metodologia análise multicritério vem sendo utilizada para gestão de recursos hídricos há mais de três décadas, devido à necessidade de consideração de aspectos hidrológicos, ambientais, sociais, econômicos e políticos. São interessantes para gestão integrada da bacia hidrográfica, pois incentivam o estudo e adoção de medidas não estruturais, tais como gestão de uso do solo, restrição à áreas de inundação, aumento da percepção e preparo de risco, entre outras.

Segundo De Pessôa (2005), existe uma série de métodos multicritério que podem ser utilizados para dar suporte a decisões. Contudo, as etapas enumeradas abaixo costumam ser comuns à maioria deles:

1. Identificação do problema
2. Definição das alternativas
3. Definição dos critérios relevantes para o problema de decisão
4. Avaliação das alternativas em relação aos critérios (Matriz de Avaliação)
5. Determinação dos pesos dos critérios
6. Determinação da avaliação global de cada alternativa
7. Análise de sensibilidade de critério e pesos

A introdução de novas alternativas exigirá uma reavaliação dos critérios escolhidos e possivelmente, inclusão de outros critérios. No preenchimento da Matriz de

Avaliação, é relacionada a um valor a cada alternativa, com relação a um critério. A escala destes valores do critério não é, necessariamente, a mesma do valor real medido ou observado, ainda que haja uma associação direta entre as duas. Para a definição dos pesos, pode-se utilizar uma metodologia multicritério à parte. A avaliação final das alternativas resulta da forma de agregação de seu desempenho em cada critério e dependerá do método multicritério empregado. Em alguns casos, a valor final agregado pode constituir um índice. Dessa forma, a análise de sensibilidade é especialmente importante nos pesos, pois refletirá a robustez do método diante da mudança de preferências do decisor (ZONENSEIN, 2007).

O Índice de Risco de Inundação é constituído pela metodologia de análise multicritério para determinação de áreas de risco de inundação, composta por um produto ponderado. Sua formulação baseia-se na interação de dois subíndices áreas suscetíveis à inundação e populações mais vulneráveis socialmente.

A componente de áreas suscetíveis, foi definida por características do meio físico, como declividade, altimetria, entre outros, com finalidade de orientar a ocupação e desenvolvimento urbano da bacia e identificar áreas hoje já ocupadas e frágeis, sob o ponto de vista de risco de inundação. A determinação da componente relativa a população mais vulnerável socialmente está associada a carência da população em termos econômicos, educacionais, de moradia e etc.

A formulação do índice de áreas de risco de inundação (IRI) é dada pela equação matemática que traduz as relações entre os indicadores que o compõem, resultando em uma estimativa quantitativa do risco de inundação. Assim, o IRI é composto de dois subíndices, que representam a propensão à inundação, associada às áreas mais suscetíveis à inundação e a população vulnerável socialmente, cujo produto ponderado resulta no risco de inundação.

Enfim, o uso de indicadores como declividade, altimetria, vegetação, solos, renda, aglomerados subnormais, idade e educação vem sendo empregados no que diz respeito ao planejamento das cidades. Podem ser utilizados para subsidiar políticas públicas, além de auxiliar os tomadores de decisão. Os indicadores destinados a análise do risco de inundação são imprescindíveis para gestão do risco de inundação.

6 METODOLOGIA

Os procedimentos metodológicos foram desenvolvidos com objetivo de gerar um conjunto de mapas temáticos de apoio, para avaliação de susceptibilidade e vulnerabilidade do sistema socioeconômico, para fins de apoio ao planejamento urbano e gestão de risco de inundações.

Nesse intuito, foi proposto e desenvolvido um Índice para identificar as áreas de risco de inundação da bacia hidrográfica do Bacanga, São Luís - Maranhão para orientar as etapas de gestão de riscos. Utilizou-se o modelo hidráulico-hidrodinâmico MODCEL, desenvolvido por Miguez (2001) para validação do subíndice de suscetibilidade, a partir do cruzamento das áreas de risco de inundação modeladas com aquelas mapeadas pelo subíndice.

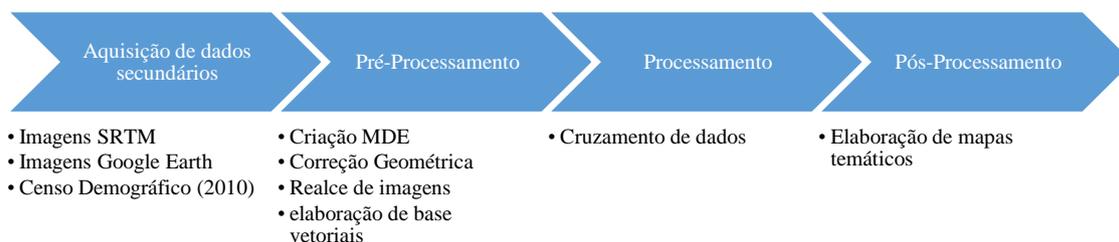
6.1 Etapas de Geoprocessamento

Os materiais utilizados para a execução deste trabalho de pesquisa e obtenção dos produtos integrados incluem os itens descritos a seguir:

- Dados de Sensoriamento Remoto: foram processadas imagens do satélite LANDSAT/ TM5, do ano 1984 e Landsat 8, do ano de 2014, com data de aquisição de 14/08/2016. As imagens, cuja órbita/ponto é 220/62, foram adquiridas na forma de fusão das bandas 5,4,3 (Landsat 5/ TM) e bandas 4,3,2 (Landsat 8), enquanto as bandas 1,2,3,4,5,6, e 7 foram combinadas usando a composição R (5) - G (4) - B (3) / R (4) - G (3) - B (2). Também foram utilizadas de imagens Google Earth, ano 2016. Todo processamento digital de imagens, descrito a seguir, foi realizado através do software livre Quantum Gis (QGIS) versão 2.14.3;
- Dados cartográficos: carta topográfica, elaborada pela Diretoria do Serviço Geográfico do Exército (*DSG*), em escala 1:10.000, 1980, com curvas de nível em intervalos de 5;
- Dado computacional: o processamento dos dados foi realizado em um microcomputador T345 da CCE, processador Intel Core i3, 4G de memória e placa de vídeo Intel HD Graphics 4000.

A metodologia adotada nesta etapa encontra-se de acordo como o fluxograma da **Figura 6.1**, sendo cada uma das etapas que aparece neste fluxograma detalhadas nos itens que segue a referida figura.

Figura 6.1. Fluxograma da Metodologia.



1. **Aquisição de dados secundários:** consiste no levantamento de dados secundários: artigos científicos, imagens SRTM (Embrapa - resolução de 30m), imagens Google Earth, Censo Demográfico 2010;
2. **Pré-Processamento:** esta etapa consiste, no desenvolvimento das bases cartográficas necessárias ao abastecimento das informações que são processadas no Modelo Digital de Elevação (MDE). Foram feitas técnicas de realce de imagens aplicadas como forma de melhorar as condições para a extração e análise de informações das imagens de sensoriamento remoto. Estas técnicas compreendem, basicamente, a manipulação de contrastes que consistem numa transferência radiométrica *pixel a pixel*, e operações aritméticas entre bandas (CRÓSTA, 1992 Apud RANGEL, 2000). O processo de correção geométrica pode ser efetuado através da operação de registro, ajustando as imagens às coordenadas geográficas de um determinado sistema de projeção cartográfica. Este ajuste se faz necessário, pois as informações da superfície terrestre, contidas originalmente na imagem, não estão associadas às coordenadas geográficas (MATHER, 1987; RICHARDS, 1995). Tal correção visou eliminar os erros decorrentes do movimento orbital do satélite e da curvatura da Terra (MOREIRA, 2003).

Neste trabalho optou-se pela utilização de bases de fácil acesso e baixo custo, o que possibilita a aplicação dessa metodologia para o estudo de praticamente qualquer área. No entanto, vale destacar que, ao utilizar esse tipo de base, deve-se considerar todas as limitações atreladas ao seu uso, tal como, a resolução espacial e precisão vertical.

3. **Processamento:** tem como função o uso de técnicas capazes de identificar, extrair, condensar e realçar a informação de interesse para o intérprete, a partir da grande quantidade de dados contidos na imagem (RANGEL, 2000).

O processamento é iniciado com a conversão dos dados obtidos da etapa anterior para formato de leitura do software QGIS. Nesta etapa, a estrutura de identificação é unidimensional, ou seja, a base de dados passa a considerar os atributos das informações geométricas de cada elemento.

4. **Pós-Processamento:** neste caso os respectivos resultados do processamento são convertidos para o um formato de leitura no SIG, ou seja, os mapas temáticos.

6.2 Etapas de Índices e Indicadores

A formulação de um índice é dada pela equação matemática que traduz as relações entre os indicadores que o compõe. Ela resulta em uma estimativa quantitativa sobre o aspecto que se deseja medir (ZONENSEIN, 2007). No caso das áreas de risco de inundação, a formulação deve ser reflexo da interação entre a componente suscetibilidade à inundação e a componente vulnerabilidade social. A suscetibilidade à inundação juntamente com a vulnerabilidade social de uma bacia hidrográfica, podem ser usados como base de entrada em modelos para determinar um possível risco de inundação.

A componente suscetibilidade à inundação está associada às características físicas de uma bacia hidrográfica, tais como altimetria, declividade, pedologia e vegetação, fatores usualmente mais determinantes neste tipo de estudo. Essas características, naquilo que lhes concerne, irão contribuir na dimensão e gravidade de uma inundação.

Por sua vez, na componente vulnerabilidade social, a sua determinação não é tão objetiva, pois refere-se à exposição das pessoas e bens passíveis de serem afetados por uma inundação. Apesar de não existir um consenso sobre quais são os indicadores mais adequados para medir esse aspecto, é comum utilizar número e tipo de propriedade, densidade populacional, valor do bem, sistemas de infraestrutura, entre outros, pois se baseia nas características sociodemográficas de grupos sociais, as quais fazem mais ou menos vulneráveis, como uma avaliação do nível de prejuízo e do número de pessoas afetadas. Nesse estudo, porém, foram utilizados os indicadores idade, educação, renda, densidade populacional e aglomerados subnormais, como forma de aproximar a avaliação

da vulnerabilidade das características de baixa resiliência, em uma visão mais social que econômica. Essa é uma tendência em vários índices que buscam fragilidades sociais, dificuldades de reposição de perdas e riscos à vida humana.

É muito importante ressaltar que o risco resulta diretamente da relação entre estas duas componentes. Se alguma delas for nula, não haverá risco. Na prática, se não há suscetibilidade à inundação ou se todas as suas propriedades são desprezíveis, ela não provoca risco, independente dos fatores relacionados à vulnerabilidade. Assim como, a ocorrência de uma inundação de proporções consideráveis em uma zona desabitada, onde não existe bens de valores significativos (nada ou ninguém que possa ser afetado), não constitui risco (ZONSEIN, 2007).

Também se aplica no oposto. Como as duas com componentes do risco são funções de diversos fatores, a presença de pelo menos um deles (em cada componente) resulta na existência de risco (ibid, 2007). A formulação IRI deve levar em conta estas considerações, traduzindo-as matematicamente. No entanto, não é aconselhável que ela seja complexa ou que exija conhecimentos avançados, para que permita sua difusão e utilização também por pessoas não especializadas.

Para a formulação do índice, faz-se necessário que cada um dos fatores envolvidos tenha pesos associados, para que sua importância relativa seja considerada. Dessa forma, na elaboração do índice, a equação utilizada deve ser ponderada (DE BONIS, 2006). Para que seja possível operar indicadores de natureza e unidades distintas, é necessário que sejam previamente normalizados, convertidos a uma escala comum. Assim, fica estabelecido que a escala a ser adotada no cálculo do Índice de Risco de Inundação, varie de 1 a 5 para as classes de cada indicador, representando o risco mínimo e máximo, respectivamente. Para o estudo em questão, é proposto uma formulação ponderada mista, composta tanto por um somatório quanto por um produtório. Essa formulação foi proposta por Zonensein (2007), que apresenta a seguinte justificativa para o cálculo do Índice de Risco de Cheia que diz: e fosse utilizado somente o somatório, o risco só poderia ser nulo se todos os fatores da soma fossem nulos, no entanto, como já foi mencionado, basta que uma das componentes do risco seja nula para que não exista risco. Quanto ao uso do produtório, apresentaria o problema inverso: se qualquer um dos fatores fosse zero, o risco seria zero, o que tampouco é real.

6.2.1 Formulação: Produtório Ponderado de Somatórios Ponderados

O produtório ponderado permite a interação entre as duas componentes de risco aqui caracterizadas: a suscetibilidade à inundação e a vulnerabilidade social. A ponderação permite definir de forma quantitativa a influência particular de cada uma dessas componentes sobre o risco final, conforme viés do gestor. Aqui a ponderação se fará de forma a que o peso dos dois subíndices seja igual, considerando importâncias equivalentes, não se discutindo a variação destes valores. Com o cálculo das componentes suscetibilidade e vulnerabilidade é possível calcular o valor do Índice de Risco de Inundação, através da Equação (7.4):

$$IRI = (I_{SUP})^{0.5} \times (I_{VUL})^{0.5}$$

Eq. (6.1)

Onde:

IRI = Índice de Risco de Inundação

I_{SUP} = Indicador de Suscetibilidade

I_{VUL} = Indicador de Vulnerabilidade

Cada componente será chamada subíndice. O IRI será constituído por dois subíndices, que representam as características físicas da área, relacionadas à suscetibilidade de inundação (SUS) e vulnerabilidade social (VUL), cujo produto ponderado resulta no risco. Cada um deles tem efeito diferenciado sobre o risco final e, portanto, está associado a um peso.

Por sua vez, cada subíndice é composto por vários indicadores, cada um deles terá um impacto sobre os seus respectivos subíndices totais, representando também através de seu peso. Os indicadores de cada subíndice serão operados por um somatório. Assim, somente se todos os indicadores integrantes de um subíndice forem nulos, ele também o será. Isto permite que o risco total não se anule caso alguns dos indicadores (mas não todos) sejam negligenciáveis. Assim, cada um dos subíndices, é calculado a partir de um somatório ponderado de indicadores, previamente normalizados, notas de 1(mínimo) a 5 (máximo) para as classes (ou variável) de cada indicador.

6.2.2 Escolhas dos indicadores e normalização

Os indicadores selecionados devem representar satisfatoriamente a situação de risco que se pretende avaliar. Assim, a primeira etapa desta seleção é determinar quais

danos são considerados imprescindíveis na determinação do risco. Em seguida, os indicadores representativos destes danos podem ser escolhidos, levando-se em conta algumas restrições práticas.

Para a determinação dos danos mais significativos e que devem idealmente estar representados no IRI foi utilizada como base a **Tabela 6.1**, que resume os principais danos causados por inundações.

Tabela 6.1. Classificação de danos causados por inundações

SETOR	DANOS TANGIVÉIS		DANOS INTANGIVÉIS	
	DIRETOS	INDIRETOS	DIRETOS	INDIRETOS
Habitacional	Danos físicos à construção, estrutura e seu conteúdo	Custos de limpeza, alojamento, medicamentos	Fatalidades	Estado psicológico de estresse e ansiedade; danos a longo prazo à saúde
Comércio e Serviços	Danos físicos à construção, estrutura e seu conteúdo Perdas e danos ao estoque	Custos de limpeza Lucro cessante Desemprego Perda de banco de dados	Fatalidades	Estado psicológico de estresse e ansiedade; danos a longo prazo à saúde Industrial
Industrial	Danos físicos à construção, estrutura e seu conteúdo Perdas e danos ao estoque de matérias-primas	Custos de limpeza Lucro cessante Desemprego Perda de banco de dados	Fatalidades	Estado psicológico de estresse e ansiedade; danos a longo prazo à saúde
Serviços público e infraestrutura	Danos físicos à construção, estrutura e seu conteúdo Danos físicos ao patrimônio	Custos de limpeza e de interrupção de serviços Custos de serviços de emergência	Fatalidades	Estado psicológico de estresse, ansiedade e falta de motivação; 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	Fatalidades	Inconvenientes de interrupção de serviços

Fonte: MACHADO et al., 2005.

Os seguintes efeitos foram selecionados:

1. Fatalidades;
2. Danos diretos e indiretos à saúde e integridade física de indivíduos;

3. Danos físicos à construção, estrutura e seu conteúdo, com consequente incapacidade de reposição.

Estes efeitos devem estar contemplados na escolha dos indicadores constituintes dos subíndices do IRI. Nota-se que o foco dado nesta pesquisa se referiu, basicamente, à vulnerabilidade social. Os indicadores selecionados devem ser suficientes para estimar quantitativamente a condição de um sistema, compondo um modelo simples para representação de uma realidade mais complexas. Dessa forma, os danos considerados como potenciais representam parte das medidas mais complexas.

Deve-se considerar que o IRI, para ser de fato aplicável e útil, deve manter uma formulação simples, que acrescente o número mínimo de indicadores capazes de caracterizar o risco. Ademais, deve ser feito um levantamento prévio quanto à disponibilidade de dados. Os dados podem ser recolhidos em instituições de pesquisas estatísticas e censitárias, além de órgãos governamentais. Exemplos são: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), Secretária Municipal de Obras e Serviços Públicos (SEMOSP/São Luís- MA), entre outros. A escala escolhida para a aplicação do Índice de Risco de Inundação foi a do setor censitário.

Os indicadores estão divididos em dois grupos, de acordo com o subíndice ao qual pertencem. Indicadores relativos às características físicas da área, em geral, relacionados às características suscetibilidade à inundação (SUS) e os relacionados à problemas socioeconômicos da população residente da bacia, que compõem o subíndice Vulnerabilidade social (VUL).

6.2.2.1 Subíndice Suscetibilidade à Inundação (SUS)

Conforme Dias et. al. (2004), a suscetibilidade a inundações referente a uma determinada área está diretamente relacionada a aspectos de geomorfologia, pedologia, uso e ocupação do solo e hidrografia.

A determinação de pesos seguiu um procedimento simples de avaliação subjetiva a autora e seus orientadores e, neste trabalho, tem apenas a intenção de validar a metodologia. Definiram-se pesos que variam entre 0 - 100% (0-1), para cada variável, de modo a diferenciar o grau de importância e correlação com o fenômeno em questão (susceptibilidade a inundação), e notas de 1 a 5 para cada classe de suscetibilidade de inundação, quanto maior a nota, maior à suscetibilidade. A **tabelas 6.2** mostra a escala específica adotada para a bacia do rio Bacanga.

Tabela 6.2. Pesos dos indicadores

Indicadores	Peso (0-1)
Vegetação	0,15
Pedologia	0,15
Altimetria	0,20
Declividade	0,50

De acordo com Coelho (2011), regiões relativamente planas ou com baixas declividades, apresentam a drenagem natural dificultada. Dessa forma, considerado como fator determinante para o acúmulo de água sobre a superfície, é fundamental que se considere a declividade para drenagem do terreno como indicador determinante na composição do subíndice de suscetibilidade à inundação.

A distribuição de pesos proposta na Tabela 7.7 explicita, portanto, a importância do indicador declividade, ficando esta variável com 50% do peso total. As baixas declividades representam uma maior probabilidade de ocorrência de uma inundação. A água proveniente da precipitação pluviométrica, por ação da gravidade, tende a ocupar as áreas inferiores e a sofrer armazenagem temporária nas áreas de menores declividades. Atribui-se o peso de 20% para baixa altimetria do terreno, visto que é um fator importante em áreas costeiras, sob influência do mar, o que reflete a situação da bacia em estudo. Vegetação e Pedologia tiveram peso de 15%, sendo fatores igualmente importantes, mas secundários, quando comparados à declividade e, neste caso, também levemente menos importantes que as cotas absolutas influenciadas pela maré. A vegetação age através da interceptação vegetal e, também, favorecendo a retenção e posterior infiltração das águas de chuva. A pedologia está relacionada com a permeabilidade, capacidade de infiltração. Destaca-se, porém, que os pesos podem ser modificados conforme julgamento do planejador ou do gestor. Não há possibilidade de definição de pesos fixos e/ou absolutos. Sempre cabe interpretação, avaliação das condições locais e objetivos de uso da ferramenta.

- **Vegetação (I_{Veg}^{Sus})**

Esse indicador está associado a mudanças do escoamento superficial decorrente da substituição da vegetação natural por áreas impermeabilizadas. A vegetação em bacias hidrográficas promove a regularização do regime e a melhoria na qualidade da água, além disso, auxilia na proteção da comunidade contra inundação. Com a ausência da cobertura vegetal, enxurradas correm rapidamente em córregos, elevando

os níveis dos rios, submetendo cidades à inundação, especialmente durante a estação chuvosa.

Neste estudo, o indicador é denominado “vegetação” e representado pela sigla “VEG”. A normalização parte do julgamento acerca dos efeitos do desmatamento na infiltração e no escoamento superficial, com consequências sobre os níveis de inundação e alagamentos. Optou-se pelo método de normalização por faixas, associadas a notas, conforme tipo de vegetação. Com base nessas condições, a normalização desse indicador utiliza como base os tipos de vegetação e sua capacidade de permeabilidade.

Para classificação da vegetação adotou-se a seguinte associação: floresta – alta permeabilidade; vegetação arbustiva - média permeabilidade; pastagem – baixa permeabilidade; terreno exposto - muito baixa permeabilidade; mangue e áreas construídas – impermeável. E em seguida, adotou-se uma normalização para as faixas de níveis de permeabilidade correspondentes, conforme a **Tabela 6.3**.

Tabela 6.3. Normalização Vegetação.

Variável	Nota	Classes de Suscetibilidade à inundação
Floresta	1	Muito baixa suscetibilidade
Vegetação arbustiva	2	Baixa suscetibilidade
Pastagem	3	Média suscetibilidade
Terreno exposto	4	Alta suscetibilidade
Mangue e Áreas construídas	5	Muito alta suscetibilidade

- **Pedologia (I_{Ped}^{Sus})**

Outro aspecto que também é considerado como responsável potencial pela ocorrência de inundação, por falha do sistema de drenagem, é a impermeabilização do solo. O uso e ocupação do solo urbano trouxeram mudanças significativas na situação original do escoamento superficial, decorrente dos pavimentos impermeáveis, forças externas que resultam do tráfego de veículos, animais ou pessoas. Porém, originalmente, mesmo antes da impermeabilização artificial (e agravando este problema), o tipo de solo e sua permeabilidade natural são fatores críticos. Solos com baixa capacidade de infiltração e baixa permeabilidade são favoráveis à formação de áreas alagáveis, mesmo que precauções com a urbanização sejam tomadas.

Os principais efeitos da compactação do solo englobam o aumento da sua densidade e resistência mecânica. Em razão dessas modificações, a água retida sobre o solo aumenta, enquanto que a capacidade de infiltração de água da chuva e a condutividade hidráulica do solo são reduzidas. Sem a possibilidade de infiltrar no solo,

devido à compactação do solo ou a solos de difícil infiltração, a água tende a escoar com maior volume e velocidade para as regiões mais baixas, provocando alagamentos.

Esse indicador é denominado de “pedologia” e representado pela sigla “PED”. Sua normalização parte de um julgamento acerca dos efeitos que diferentes tipos de solo podem causar, propiciando ou facilitando inundações. Com base nessas considerações, a normalização do indicador utilizou como referência a classificação dos solos de acordo com a EMBRAPA.

Para classificação de pedologia adotou-se a seguinte associação: neossolos quartzarênicos – alta porosidade e permeabilidade; neossolos regolíticos - média porosidade e permeabilidade; gleissolos – baixa porosidade e permeabilidade; argissolos vermelho-amarelo - muito baixa porosidade e permeabilidade; argissolos vermelho-amarelo – impermeável. E em seguida, adotou-se uma normalização para as faixas de níveis de porosidade e permeabilidade correspondentes. A **Tabela 6.4** abaixo apresenta a normalização do indicador Pedologia.

Tabela 6.4. Normalização Pedologia.

Variável	Nota	Classes de Suscetibilidade à inundação
Neossolos quartzarênicos	1	Muito baixa suscetibilidade
Neossolos regolíticos	2	Baixa suscetibilidade
Gleissolos	3	Média suscetibilidade
Argissolos vermelho - amarelo	4	Alta suscetibilidade
Argissolos vermelho – amarelo (lateritas)	5	Muito alta suscetibilidade

- **Altimetria (I_{Alt}^{Sus})**

O indicador altimetria representa as variações de altitude. No caso particular em estudo, que será desenvolvido em detalhes no capítulo seguinte, a variação de altitude se dá entre 0 a 65 metros, com planícies flúvio-marinhas, fluviais e extensivos manguezais, que se apresentam nas faixas de baixas altitudes de 0 a 5 m (essas áreas situadas no referido intervalo altimétrico, encontram-se sujeitas a inundação, sobretudo em períodos de precipitação concentrada combinada com marés altas), colinas dissecadas nas cotas de 20 a 30 m e tabuleiros em altitudes de 40 a 65 m.

Neste estudo, o indicador denominado “altimetria” é representado pela sigla “ALT”. Sua normalização parte de um julgamento acerca dos efeitos de diferentes faixas de cotas altimétricas sobre a possibilidade de ocorrência de inundações. Através dessas observações, procedeu-se a normalização desse indicador utilizando como referência as faixas altimétricas sujeitas a inundação na área de estudo.

Para classificação da altimetria adotou-se a seguinte associação: cotas acima de > 10m – não é suscetível à inundação; cotas entre 7 a 10 m – baixa suscetibilidade à inundação; cotas entre 5 a 7 m – medianamente suscetível à inundação; cotas entre 2 a 5 m, são zonas de influência da maré – suscetível à inundação; cotas < 2 m, estão abaixo da proteção da barragem do Bacanga – muito susceptível à inundação. E em seguida, adotou-se uma normalização para as faixas de níveis de altimetria correspondentes. A **Tabela 6.5** apresenta as faixas de altimetria que correspondente a normalização adotada neste estudo.

Tabela 6.5. Normalização Altimetria.

Variável	Nota	Classes de Suscetibilidade à inundação
> 10 m	1	Muito baixa suscetibilidade
7m < cota <= 10m	2	Baixa suscetibilidade
5m < cota <= 7m	3	Média suscetibilidade
2m < cota <= 5m (zona de influência da maré)	4	Alta suscetibilidade
< 2m (abaixo da proteção da barragem do Bacanga)	5	Muito alta suscetibilidade

- **Declividade (I_{Dec}^{Sus})**

Esse indicador utiliza a declividade natural da bacia hidrográfica como um indicativo de probabilidade de ocorrência de inundação. Em áreas planas, há uma maior possibilidade de falha no sistema de drenagem por apresentar baixa eficiência no escoamento das águas, assim como há maior probabilidade de extravasamento de rios e utilização de suas planícies de inundação. A água proveniente da precipitação pluviométrica, por ação da gravidade, tende a ocupar áreas inferiores e a sofrer armazenagem temporária nas áreas de menores declividades.

O Indicador Declividade é representado pela sigla “DEC”. A normalização desse indicador foi feita através de um julgamento empírico a respeito da influência de diferentes faixas de declividades sobre a probabilidade de ocorrência de inundações. Considera-se que essa relação não é linear, ou seja, a proporção entre o acréscimo da declividade e os danos não é constante. Assim, a variação das faixas foi distribuída de forma variável, mas coerente com as notas de 1 a 5, utilizadas como padrão para a normalização da escala.

Esses valores estão associados ao caso particular em estudo, adaptado das classes de declividade da Embrapa. Para a classificação da declividade adotou-se a seguinte associação: > 5,7%, classe de relevo ondulado- muito baixa suscetibilidade à

inundação; cotas entre 4,3 a 5,7%, classe de relevo suave ondulado – baixa suscetibilidade à inundação; cotas entre 2,9 a 4,3%, classe de relevo suave ondulado – medianamente suscetível à inundação; cotas entre 1 a 2,9 %, classe de relevo plano – suscetível à inundação; cotas < 1%, classe de relevo plano – muito suscetível à inundação. Em seguida, adotou-se uma normalização para as classes de relevo correspondentes. A **tabela 6.6** apresenta a faixa de declividade que corresponde a esta normalização.

Tabela 6.6. Normalização Declividade.

Variável	Nota	Classes de Suscetibilidade à inundação
> 5,7%	1	Muito baixa suscetibilidade
4,3 % < declividade ≤ 5,7%	2	Baixa suscetibilidade
2,9 % < declividade ≤ 4,3%	3	Média suscetibilidade
1% < declividade ≤ 2,9%	4	Alta suscetibilidade
< 1%	5	Muito alta suscetibilidade

6.2.2.2 Subíndice Vulnerabilidade Social (VUL)

Através da compilação e análise dos dados do Censo Demográfico de 2010, espacializados em setores censitários, avaliando variáveis como renda, aglomerados subnormais, idade e educação, buscou-se identificar a população mais vulnerável à inundação da bacia hidrográfica do Bacanga.

Definiram-se pesos, que variaram de 0 – 100% (0-1), para cada variável, de modo a diferenciar o grau de importância e correlação com a vulnerabilidade, conforme apresenta a **tabela 6.7**, em que a bacia do rio Bacanga foi avaliada. Também foram dadas notas de 1 a 5, para cada indicador de vulnerabilidade: quanto maior a nota, maior a vulnerabilidade,

Tabela 6.7. Pesos dos indicadores

Indicadores	Peso (0- 1)
Educação	0,05
Idade	0,05
Renda	0,15
Aglomerados subnormais	0,25
Densidade Demográfica	0,50

Note-se que a distribuição de pesos proposta na tabela 7.13 explicita a importância da população exposta, através da densidade demográfica, como necessária ao cálculo da vulnerabilidade, ficando esta variável com 50% do peso total.

Os outros 50% foram destruídos para elementos realmente típicos de vulnerabilidade, propriamente dita, e com maior importância para regiões de ocupação subnormal, com peso de 25%, que apresenta uma infraestrutura deficiente e com fragilidades urbanas notórias. A renda recebeu peso de 15%, por estar relacionada com o poder aquisitivo da população afetada. Educação e idade receberam peso de 0,05%, estão relacionadas com a capacidade de resposta das parcelas mais frágeis da população frente a inundação.

- **Educação (I_{Edu}^{Vul})**

Esse indicador está associado a vulnerabilidade da população frente ao risco de inundação, considerando que um nível maior proporciona maior capacidade de reação e, portanto, melhor capacidade de defesa e autoproteção. O Brasil apresenta, de forma agravada deficiências no sistema educacional. Segundo o Ministério da Educação, o analfabetismo de jovens e adultos vem sendo reduzido no Brasil e passou de 11,5%, em 2004, para 8,7%, em 2012, na Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio (Pnad). Porém, este valor ainda é alto. O analfabetismo brasileiro se concentra em uma população de baixa renda entre 40 e 45 anos.

Desse modo, espera-se que, nas áreas sujeitas a inundações, predomine a população de baixa renda e conseqüentemente com pouca instrução, estando assim, mais vulneráveis aos efeitos das inundações. Neste tudo, esse indicador é denominado de “educação” e é representado pela sigla “EDU”. Utilizou-se como referência, o Censo Demográfico, do IBGE, que relata a taxa de alfabetizados e não alfabetizados. A partir dessas considerações, procedeu-se aqui a uma simplificação da escala, que utiliza lógica binária (sim ou não) com apenas duas notas extremas. Na **Tabela 6.8**, apresentam-se os valores do indicador normalizado.

Tabela 6.8. Normalização Educação.

Variável	Nota	Classes de Vulnerabilidade social
Alfabetizados	1	Muito baixa vulnerabilidade
Analfabetos	5	Muito alta vulnerabilidade

- **Idade (I_{Ida}^{Vul})**

No contexto de desastres, no âmbito de Proteção e Defesa Civil, considera-se que, o grupo vulnerável é composto por “crianças, gestantes, idosos e pessoas com deficiência”, tal como definido na Lei 12.608, de abril de 2012 e no Glossário de Defesa

Civil (1998). Em análises de risco de inundação, a idade da população deve-se ser considerada e as faixas etárias mais vulneráveis são crianças com idade menor ou igual a 10 anos e idosos com idade maior ou igual a 65 anos.

Isso porque, as limitações funcionais ampliam a vulnerabilidade dessas faixas etárias em situações de desastres, já que o comprometimento de variáveis como percepção de risco, estado de alerta, atenção, agilidade e mobilidade dificultam as respostas nessas situações. Esse indicador é denominado de “idade” e é representado pela sigla “IDA”. Com base nessas ponderações, escala aqui também foi adaptada, com apenas 3 faixas, conforme mostrado na **Tabela 6.9**.

Tabela 6.9. Normalização Idade.

Variável	Nota	Classes de Vulnerabilidade social
20 a 50 anos	1	Muito baixa vulnerabilidade
15 a 20 anos e 50 a 65 anos	3	Média Vulnerável
< 15 anos e/ou > 65 anos	5	Muito alta vulnerabilidade

- **Renda (I_{Ren}^{Vul})**

Maricato (2001), assinala que nas áreas rejeitadas pelo mercado imobiliário privado e nas áreas públicas, situadas em regiões desvalorizadas, que a população trabalhadora pobre vai se instalar: beira de córregos, encostas de morros, terrenos sujeitos a enchentes, entre outros. Assim, considera-se que nas áreas sujeitas às inundações, predomina a população de baixa renda, cujo prejuízo financeiro absoluto não é expressivo, porém as perdas decorrentes do flagelo causado pelo desamparo, pelo incômodo, pela possível interrupção da vida profissional ou rotineira, pela exposição de doenças, e etc., são significativas e de difícil recuperação.

Outro ponto de vista a ser analisado é que, o poder de recuperação de um flagelo é diretamente proporcional à renda da vítima, pois aquele que tem uma renda baixa a consome com sua sobrevivência e seu poder de poupar ou de recuperar o que foi perdido é baixo ou nulo. Desse modo, os cidadãos desabrigados ou desalojados representam um alto custo para a sociedade e para si próprio. O que se pretende indicar com a renda é o valor representativo das categorias sociais, não sendo estudado o que esse valor representa para cada vítima, considerando os seus rendimentos mensais.

Para o indicador Renda adotou-se o rendimento médio mensal domiciliar per capita. As variáveis de renda foram elaboradas a partir das faixas salariais do IBGE, que determinam a classe social da população brasileira. É um método utilizado no censo populacional a cada dez anos. Trata-se de um critério de cálculo fácil e objetivo, baseado

no número de salários mínimos e divide em cinco faixas de renda (até 2 SM; de 2 a 5 SM; de 5 a 10 SM; 10 a 20 SM e mais de 20 SM) ou classe social (classes A, B, C, D ou E), porém, só leva em consideração o salário atual das pessoas, ignora eventuais conquistas e patrimônio.

O Maranhão tem a pior renda per capita média do Brasil, no valor de R\$ 360,43, de acordo com o Atlas de Desenvolvimento Humano 2013 divulgado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (Pnud). A região da bacia do Bacanga é uma das mais pobres do município de São Luís, por isso, neste estudo, adotou-se faixas de renda de até 2 SM; 2 a 5 SM; 5 a 10 SM; mais de 10 SM e domicílios sem rendimento mensal, considerando os baixos rendimentos da população da área de estudo.

Neste tudo, esse indicador é denominado de “renda” e é representado pela sigla “REN”. Na **Tabela 6.10**, são representadas as classes de renda e seu índice normalizado.

Tabela 6.10. Normalização Renda domiciliar per capita.

Variável	Nota	Classes de Vulnerabilidade social
Mais de 10 salários mínimos	1	Muito baixa vulnerabilidade
5 a 10 salários mínimos	2	Baixa vulnerabilidade
2 a 5 salários mínimos	3	Média vulnerabilidade
Até 2 salários mínimos	4	Alta vulnerabilidade
Sem rendimento	5	Muito alta vulnerabilidade

- **Aglomerados Subnormais (I_{Agl}^{Vul})**

A ocupação desordenada do solo urbano, chamados de aglomerados subnormais, resulta em áreas sem infraestrutura adequada, que transformam bairros inteiros em locais impróprios para morar. São áreas conhecidas ao longo do país por diversos nomes, como favela, comunidade, grotão, vila, mocambo, entre outros.

Segundo o IBGE, aglomerados subnormais formam um conjunto constituído por 51 ou mais unidades habitacionais caracterizadas por ausência de título de propriedade e pelo menos uma das características: irregularidade das vias de circulação e do tamanho e forma dos lotes e/ou carência de serviços públicos essenciais (como coleta de lixo, rede de esgoto, rede de água, energia elétrica e iluminação pública). Geralmente essas unidades habitacionais surgem como resposta a uma parcela da população à necessidade de moradia e que irá habitar espaços menos valorizados pelo setor imobiliário, ou seja, áreas de risco.

Assim, os aglomerados subnormais são considerados como agravantes dos riscos de inundação, pois a população que vive nesse tipo de moradia, está mais vulnerável a sofrer com os danos causados pela inundação. Neste estudo, esse indicador é denominado como “aglomerado subnormal” e é representado pela sigla “AGL”. Aqui, novamente, adotou-se a lógica binária de sim e não, para a existência de aglomerados subnormais. A **Tabela 6.11** apresenta as classes dos aglomerados subnormais e seu índice normalizado.

Tabela 6.11. Normalização Aglomerados Subnormais.

Variável	Nota	Classes de Vulnerabilidade social
Não aglomerados subnormais	1	Muito baixa vulnerabilidade
Aglomerados subnormais	5	Muito alta vulnerabilidade

- **Densidade Demográfica (I_{Den}^{Vul})**

Para o indicador densidade demográfica foram utilizados dados relativos ao número da população por setor censitário e a área dos setores (em km²) da bacia hidrográfica do Bacanga, contidos na base de dados do IBGE, portanto, já com uma escala particularizada para o estudo de caso desta dissertação. De acordo com o último Censo realizado em 2010, a densidade demográfica de São Luís é de 1215.69 hab./km², na bacia hidrográfica do rio Bacanga a densidade demográfica é de 1003.41 hab./km². As classes foram obtidas com base na densidade demográfica do município de São Luís.

O indicador densidade demográfica indica a área onde possa estar o maior número de pessoas expostas à inundação. Neste estudo, esse indicador é denominado como “densidade demográfica” e é representado pela sigla “DEN”. Através dessas considerações procedeu-se a interpolação dos valores intermediários, através da função linear entre os pontos obtidos. Na **Tabela 6.12**, são representadas as classes da densidade demográfica e seu índice normalizado.

Tabela 6.12. Normalização Densidade Demográfica.

Variável	Nota	Classes de Vulnerabilidade social
0 - 300 hab./km ²	1	Muito baixa vulnerabilidade
301 - 600 hab./km ²	2	Baixa vulnerabilidade
601 - 900 hab./km ²	3	Média vulnerabilidade
901 - 1200 hab./km ²	4	Alta vulnerabilidade
Mais de 1200 hab./km ²	5	Muito alta vulnerabilidade

- **Estrutura final do IRI**

De acordo com a formulação e os indicadores escolhidos, o IRI se define pela estrutura apresentada na Eq. (6.2):

$$IRI = \{I_{DEC}^{SUS} \cdot p_{DEC}^{SUS} + I_{ALT}^{SUS} \cdot p_{ALT}^{SUS} + I_{PED}^{SUS} \cdot p_{PED}^{SUS} + I_{VEG}^{SUS} \cdot p_{VEG}^{SUS}\} q_{SUS} \times \{I_{AGL}^{VUL} \cdot p_{AGL}^{VUL} + I_{REN}^{VUL} \cdot p_{REN}^{VUL} + I_{IDA}^{VUL} \cdot p_{IDA}^{VUL} + I_{EDU}^{VUL} \cdot p_{EDU}^{VUL}\} q_{VUL}$$

A atribuição de pesos dos indicativos e dos subíndices será especificada no item a seguir.

6.2.2.3 Atribuição de pesos

A análise multicritério é empregada para retratar o raciocínio e as convicções subjetivas das diferentes partes interessadas (pessoas, instituições e etc.) sobre cada questão particular. Geralmente, é usada para sintetizar opiniões expressadas, para determinar prioridades, para analisar situações de conflito, para formular recomendações ou proporcionar orientações de natureza operacional.

A determinação dos pesos é, em geral, extremamente complexa, pois é impossível dissociá-la da opinião pessoal. Apesar das dificuldades de se estabelecer uma metodologia livre de subjetividade, procura-se ter alguma base teórica ou raciocínio lógico que garanta credibilidade e aceitação na atribuição de pesos.

6.2.2.4 Domínio do Índice do Risco de Inundação

O domínio de aplicação do índice não é limitado pela formulação estabelecida. Ou seja, a formulação é válida, seja o índice referente a uma sub-bacia, a um município ou mesmo a regiões de maiores proporções. Essa independência representa uma das maiores vantagens desse método e lhe confere grande versatilidade.

Contudo, existem três fatores limitantes para a determinação do domínio do índice: disponibilidade de dados, existência de dados com precisão adequada e limites das escalas de normalização. Assim, o domínio de aplicação do índice pode variar conforme a situação específica de cada um destes fatores.

A indisponibilidade de dados incide em um problema evidente, pois não é possível realizar o cálculo do índice em uma região onde não se conheça o valor de determinado indicador. Geralmente, dados censitários e de domínio público sobre características da região e da população, podem ser obtidos com “certa” facilidade.

Quando há inexistência de dados na escala adequada ao índice, os valores dos indicadores podem ser inferidos, por agregação ou desagregação de valores obtidos em

outra escala. Muitas vezes, é mais aconselhável que os dados sejam agregados, já que os valores adaptados ao domínio do índice são, neste caso, baseados em medições de maior precisão, mesmo que a consequência seja a perda de informação em áreas heterogêneas. Se a maioria dos indicadores possui domínio superior ao determinado para o índice é aconselhável reconsiderar o domínio estabelecido para o índice.

Enfim, a determinação das escalas de normalização dos indicadores, deve considerar o domínio estabelecido para o índice. Se as escalas foram indicadas considerando um domínio pequeno (exemplo, sub-bacia) elas devem ser revistas antes da sua aplicação em domínios maiores. No caso das escalas métricas lineares, os valores mais e menos favoráveis para os indicadores devem levar em conta todo o domínio do índice. Essa consideração também se aplica para a determinação de limites na escala de normalização por faixas. Este fator é importante para que seja possível a comparação entre diferentes regiões.

Dessa forma, se as escalas forem fixas, podem ser feitas comparações gerais (regionais, nacionais ou internacionais), no entanto, pode-se perder a sensibilidade se o objetivo é tomar uma decisão local ou se é um município que deseja verificar o quanto crítico sua situação. Adaptações na escala fazem o valor do índice perder a generalidade, porém, permitem observações e conclusões locais de maior detalhamento e qualidade. De qualquer forma, a metodologia geral é sempre válida, mesmo com adaptações na escala.

Neste estudo, o índice estará restrito a áreas relativamente pequenas, como sub-bacias, bacias ou sub-regiões de municípios, permitindo a comparação entre elas.

6.3 Etapas de Modelagem Hidrodinâmica

Para o presente trabalho, desenvolveu-se a modelação do rio Bacanga e seus afluentes, simulando o comportamento de toda a bacia num total de 105,9 km². A partir de uma análise da bacia em mapas, usando o QGIS, foi possível entender as características da topografia e urbanização da região. Iniciando o processo de divisão da área de estudo em células de escoamento, levando em consideração as leis hidráulicas que representam as comunicações de cada célula com as suas vizinhas.

A aplicação do MODCEL requer a divisão da região em células. A divisão efetuada na bacia hidrográfica do rio Bacanga, foi constituída por uma malha de 196 células. Ao término do processo de divisão, foi construído um esquema topológico que integra a rede de células, mostrando as suas interações, e foram introduzidas as condições

de contorno que complementam a modelação. Toda a área da bacia foi modelada em células de acordo com sua característica física.

Foram analisados os principais os cursos de água, de modo a caracterizar a declividade desses cursos. Fez-se, então, a divisão em células pelos cursos de água principais, fazendo as mudanças de declividade nos centros de célula, usando as mudanças de características em seções transversais como fronteiras entre células. Na modelagem da bacia do rio Bacanga, as células e suas respectivas ligações receberam as seguintes classificações: célula de canal, célula de reservatório, células de planícies naturais e de planícies urbanizadas; as ligações entre elas receberam a classificação tipo vertedouro, tipo canal e tipo planície.

Para a determinação das características físicas e hidrológicas da bacia, foram utilizadas as seguintes informações:

- Imagens satélites (Landsat TM 5/ Landsat 8), imagens Google Earth.
- Carta topográfica, elaborada pela Diretoria do Serviço Geográfico do Exército (*DSG*), em escala 1:10.000, 1980, com curvas de nível em intervalos de 5.
- Dados hidrológicos para o posto Pluviométrico (Estação 822880 – INMET) de São Luís.

De forma abrangente, a delimitação das células deve resultar em uma rede de escoamento articulada, que permite a reprodução dos padrões gerais de escoamento. O princípio de delimitação de uma célula segue a premissa de se localizar o centro da célula em uma posição tal que possa vir a se ligar com os centros das células vizinhas, construindo-se assim uma malha de escoamentos que venha abranger toda a área a que o modelo se propõe a simular.

Logo após a divisão da bacia em células, passa a ser feito o levantamento dos dados necessários para permitir a comunicação hidráulica entre uma célula e suas vizinhas. Esses são listados em três grupos, contendo: informações gerais, informações específicas e valores de coeficientes.

As informações gerais comuns a todas as células e ligações, extraídas de cartografias disponíveis e referem-se às suas características físicas, sendo: área da célula, largura do centro da célula, distância entre os centros de células e cota do fundo das células. Quanto às informações específicas, essas distintas para cada tipo de célula e de ligação, cujos dados são: percentual entre a célula de canal e sua célula de planície, largura do vertedor, cota do vertedor.

Para a simulação desejada, faz-se necessário a avaliação inicial dos valores dos diversos coeficientes hidráulicos, que atuam nas ligações entre as células. Esses coeficientes são: coeficiente de escoamento superficial (“runoff”), coeficiente de Manning, coeficiente de vertimento (frontal e lateral), coeficiente de descarga (em confluências laterais ao canal principal) e coeficiente de escoamento através de orifício.

O cálculo do escoamento superficial produzido na área modelada é feito pelo próprio MODCEL, utilizando-se o método Racional, como escolha deste estudo, para separação da chuva efetiva. Dessa forma, cada célula recebe um valor para o seu coeficiente de escoamento superficial (runoff). As **tabelas 6.13 e 6.14** resume os valores adotados para esse coeficiente em função do tipo de ocupação e uso do solo observado na célula.

Tabela 6.13. Valores de Runoff recomendados pela ASCE (1969).

superfície	Coeficiente de <i>runoff</i> , <i>C</i>	
	intervalo	valor esperado
• pavimento		
asfalto	0,70 - 0,95	0,83
concreto	0,80 - 0,95	0,88
calçadas	0,75 - 0,85	0,80
telhado	0,75 - 0,95	0,85
• cobertura: grama solo arenoso		
pequena declividade (2%)	0,05 - 0,10	0,08
declividade média (2 a 7%)	0,10 - 0,15	0,13
forte declividade (7%)	0,15 - 0,20	0,18
• cobertura: grama solo pesado		
pequena declividade (2%)	0,13 - 0,17	0,15
declividade média (2 a 7%)	0,18 - 0,22	0,20
forte declividade (7%)	0,25 - 0,35	0,30

Tabela 6.14. - Valores de C' para cálculo de Runoff para áreas rurais (Williams, 1949).

Tipo de Área	C'
1. Topografia	
• terreno plano, declividade de 0,2 a 0,6 m/km	0,30
• terreno, declividade de 3,0 a 4,0 m/km	0,20
• morros, declividade de 30 a 50 m/km	0,10
2. Solo	
• argiloso (impermeável)	0,10
• permeabilidade média	0,20
• arenoso	0,40
3. Cobertura	
• áreas cultivadas	0,10
• árvores	0,20

$$C = 1 - (C'_1 + C'_2 + C'_3)$$

No modelo da bacia do rio Bacanga, a série de precipitação foi realizada através da chuva real medida, usualmente adotada para processos de calibração e de validação do modelo, pois tem-se como objetivo, além de calibrar e validar o modelo, comparar seus resultados com os também obtidos através do IRI.

A chuva utilizada como dado de entrada no modelo foi uma chuva medida, fornecida pelo posto pluviométrico (código 82280) do Instituto Nacional de Meteorologia referente – INMET, localizado próximo a bacia do rio Bacanga, no aeroporto Marechal Cunha Machado, referentes aos períodos de 1984 a 2014. Para capacitar o modelo matemático a realizar a simulação foi considerado as intervenções da barragem do Bacanga, com chuva para toda bacia, com chuva real do dia 11 de abril de 2009 e tempo de recorrência de 25 e 50 anos.

Considerou-se, também, a cota de 4.8 m como nível máximo da água na bacia, para o evento real do dia 11 de abril de 2009. Outro fator importante para realização da simulação proposta é a variação da maré. O Maranhão tem uma das maiores variações de maré do mundo, principalmente na Baía de São Marcos, onde está localizada a cidade de São Luís, podendo o mar subir até 8 metros aproximadamente. As marés têm amplitude que variam entre 4,2 (amplitude média) e 7,2 (marés de sizígias). Para o modelo da bacia do Bacanga foi utilizado a maré de sizígia.

7 ESTUDO DE CASO: Bacia hidrográfica do rio Bacanga.

7.1 Localização da área de estudo

A Ilha do Maranhão está situada ao norte do estado do Maranhão, região nordeste do Brasil. Sua posição geográfica é determinada pelas coordenadas 2° 24' 10" e 2° 46' 37" de latitude sul e 44° 22' 39" e 44° 22' 39" de longitude oeste, de Greenwich, como mostra a **figura 7.1**. A Ilha é composta pelos municípios: São Luís (capital), com área de 834,785 km² e população de 1.014.837 habitantes; São José de Ribamar, com 388,37 km² e população de 163.045 habitantes; Paço do Lumiar, com 122,828 km² e população de 105. 121 habitantes; e Raposa, com área de 66,280 km² e população de 26. 327 habitantes (IBGE, 2010).

A localização da cidade obedeceu a critérios que consideravam, principalmente, o relevo e a hidrografia, assentada em uma área que fica sobre o extremo de uma elevação que varia 30 metros de altura em relação ao nível do mar, formando uma península entre os rios Anil e Bacanga que banham a cidade (LOPES, 2008). O objeto específico de estudo é a bacia hidrográfica do rio Bacanga, com área de 102,18 km², que ocupa a porção Noroeste do Município de São Luís, entre as coordenadas 2°32'26" e 2°38'07" S e 44°16'00" e 44°19'16" W (MACEDO, 2011), como mostra a **figura 7.2**.

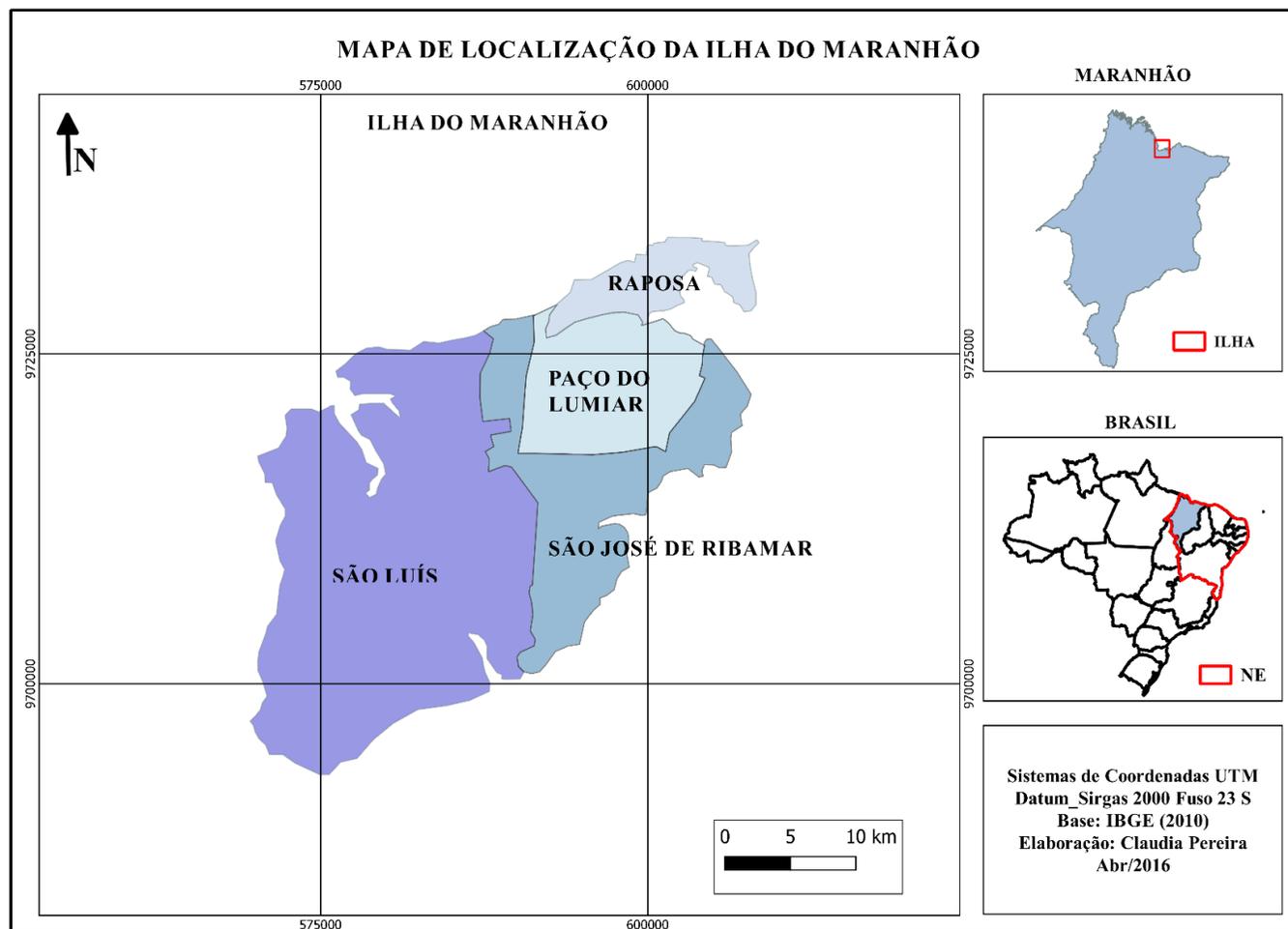


Figura 7.1. Mapa de localização da Ilha do Maranhão.

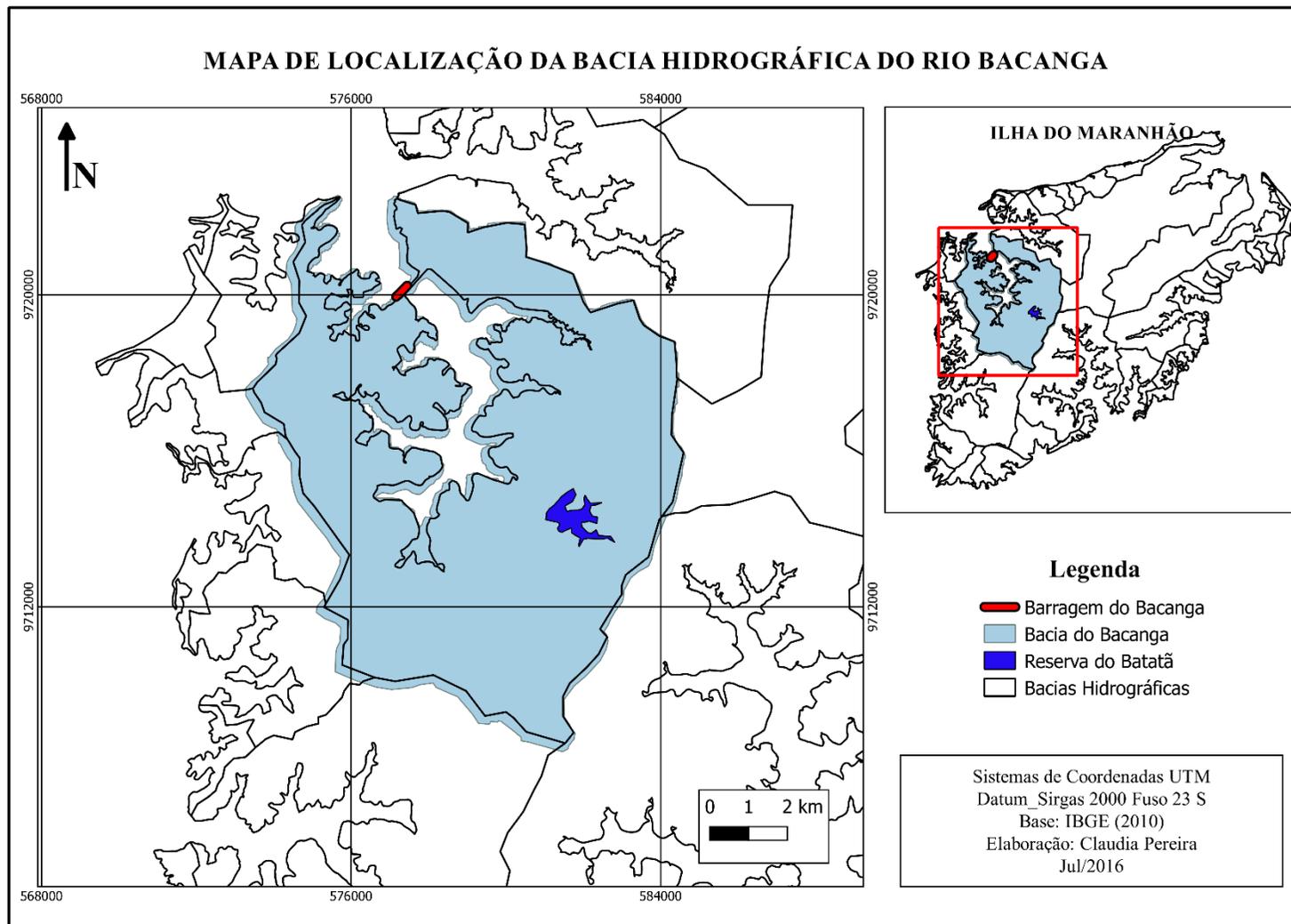


Figura 7.2. Mapa de localização da bacia hidrográfica do Bacanga.

7.2 Características físicas da bacia hidrográfica do rio Bacanga

- **Geologia**

Em toda Ilha do Maranhão, assim como na bacia do rio Bacanga, as estruturas geológicas superficiais são constituídas por rochas da Formação Itapecuru (originárias do Cretáceo) sobrepostas, em algumas áreas, por camadas da Formação Barreiras que datam do Terciário e por sedimentos quaternários da Formação Açuí (**Figura 7.3**). As rochas de idade Terciária estão dispostas, principalmente, nos tabuleiros e nas vertentes, enquanto os sedimentos quaternários estão na zona litorânea e nas desembocaduras dos rios (FEITOSA, 2006).

O **Quadro 7.1** apresenta a síntese das principais características das unidades geológicas - geotécnicas mapeadas na Bacia do Bacanga. Algumas considerações sobre as características dos materiais do relevo e sua posição topográfica, além dos processos geológicos atuantes e conflitos decorrentes das diferentes formas de ocupação, são pertinentes. As unidades geológicas sujeitas as inundações são os Depósitos construídos e a Formação Açuí. A litologia da área apresenta sedimentos arenosos a argilosos esbranquiçados com seixos e grânulos de lateritas dispersos, mal selecionados, além de sedimentos lodosos ricos em matéria orgânica. Solos hidromórficos orgânico, neossolos e solo de mangue com profundidade de nível de água raso (PEREIRA e ZAINÉ, 2007). Essas características associadas a outros fatores geoambientais, tais como o clima e a hidrografia, conferem grande susceptibilidade da área às inundações.

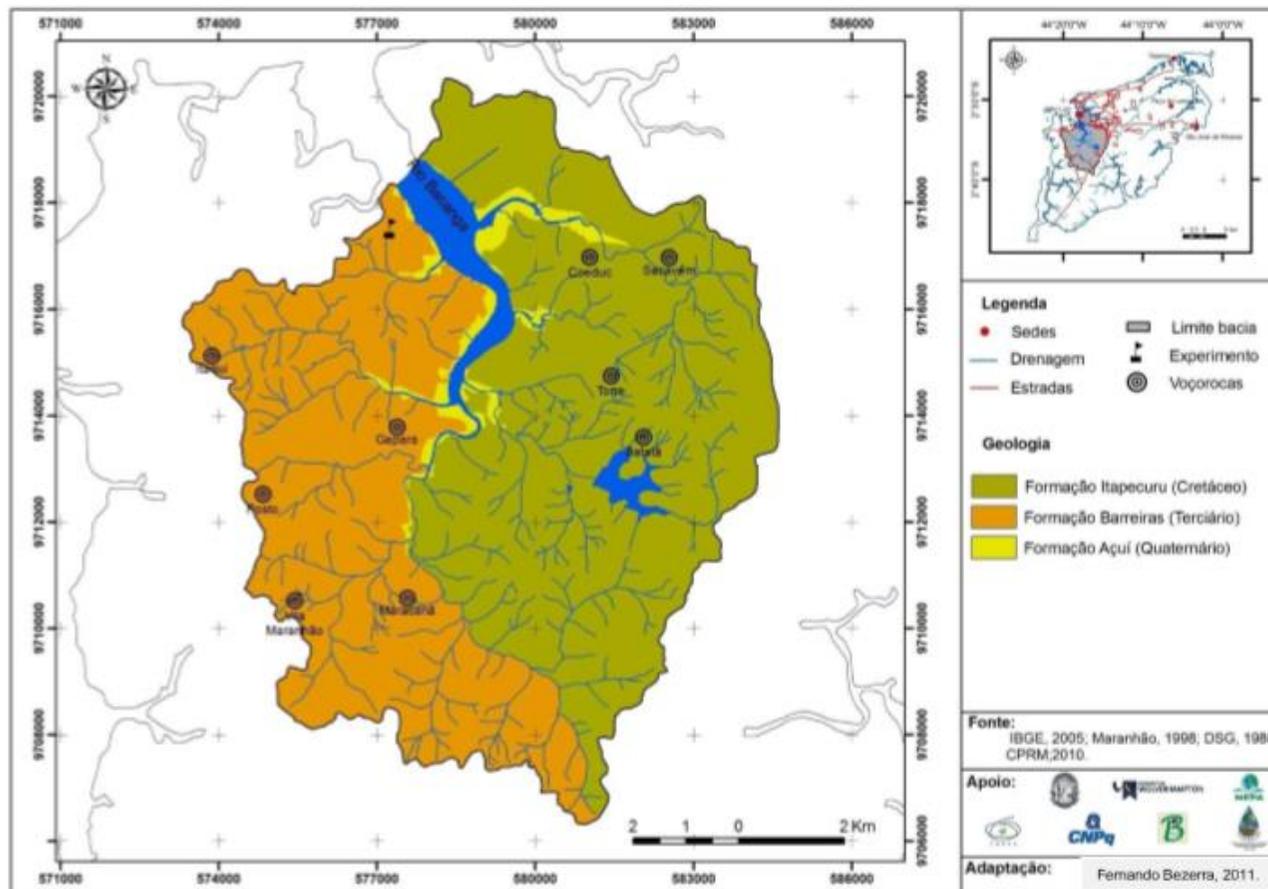


Figura 7.3. Mapa de Geologia da bacia hidrográfica do Bacanga⁶.
 Fonte: Bezerra, (2011).

6

⁶ Nesta imagem o autor considera o rio até a Barragem do Bacanga.

Quadro 7.1. Síntese das principais unidades geológico mapeados na bacia do Bacanga. K = Cretáceo, T = Terciário, Q = Quaternário, N.A = Nível de água, Prof.= Profundidade.

Unidades geológico geotécnicas	Domínio Geológico	Domínio Geomorfológico	Características dos materiais	Declividade (%)	Altitude (m)	Solo	Prof. do N.A. (m)	Principais processos/problemas de natureza geológico
I	Depósitos Construídos. Holoceno (Tecnógeno)	Planície Flúvio - marinha	Material de aterro proveniente da Formação barreiras.	Plano. 0 -2 %	0-5	Neossolos	Raso (<5)	Inundação, assoreamento, impermeabilizações e aterramento.
II - A	Sedimentos quaternários. Formação Açuí (Holoceno)	Planície Flúvio - marinha	Sedimentos lodosos ricos em matéria orgânica, cinza escuro	Plano. 0 -2 %	0-5	Solo de mangue	Raso (<5)	Assoreamento, inundação, desmatamento, aterramento, impermeabilizações, queimadas, eutrofização das águas, poluição provocada por esgoto in natura.
II - B		Planície Fluvial	Sedimentos arenosos esbranquiçados com seixos e grânulos de laterita dispersos, mal selecionados.			Solo hidromórfico, orgânico e neossolo.		
III - A	Fáceis arenosas. Formação Barreiras (Neógeno)	Tabuleiro	Areia fina creme-avermelhada, bem selecionada, quartzosa	Plano. Variações de 2 - 5%, localizadas	45-60	Argissolo	7-21 Variável	Suscetibilidade a erosão (ravina e voçoroca) e o rastejo.

III - B		Vertentes	Sedimento amarelo a avermelhado, arenoso a argiloso com altas concentrações de laterita.	Moderado a íngreme. 5 a 10%; > 15%.	45-30	Neossolos		Extração de areia e laterita
IV -A	Fáceis areno-argilosa. Formação	Topo de Colina	Sedimento avermelhado a amarelado, areia fina a argilosa, com plaquetas de folhelho dispersas	Brando a moderado 2-5%; 5-10%	20-30	Argissolo	20-48 Variável	Erosão (ravina e voçoroca)
IV -B	Barreiras (Neógeno)	Vertentes		Sedimento areno-argiloso mosqueado e lateritizado.				Moderado a íngreme 5 a 10%; > 15%.
V	Fáceis arenosas. Formação Itapecuru (K)	Vertente dissecada	Arenito fino a argiloso, com manchas esbranquiçadas, maciço, estratificações, plano paralela e convoluta.	Moderado a íngreme. 5 – 10%; > 15%.	0-5	Argissolo	Raso (<5)	Erosão (ravina e voçoroca)

Fonte: Adaptado Pereira e Zaine (2007).

- **Geomorfologia**

Segundo o Zoneamento Costeiro do Maranhão, UFMA (2003), a ilha do Maranhão situa-se no domínio geomorfológico Golfão Maranhense, subdividindo-se em Tabuleiros Costeiros (unidade dominante) e Baixada Litorânea (nas regiões estuarinas que circulam a Ilha). Essa unidade geomorfológica é resultante de uma série de processos de erosão, de soerguimento e de transgressão marinha, que deram origem a numerosas lagoas fluviais, extensas várzeas inundáveis, áreas sedimentares e um sistema hidrográfico sinuoso.

Para Maranhão (1998), a geomorfologia na bacia do rio Bacanga caracteriza-se por formas com pequena amplitude altimétrica, devido à ação de diversos agentes morfogenéticos que atuam com grande intensidade, uma vez que as características físicas são favoráveis às constantes modificações na paisagem. De acordo com Bezerra (2011), as principais feições geomorfológicas identificadas na área foram: superfície tabular, colina dissecada⁶, planície fluvial e planície flúvio-marinha, apresentadas na **Tabela 7.1**.

Tabela 7.1. Feições Geomorfológicas e suas respectivas áreas ocupadas.

FEIÇÕES GEOMORFOLÓGICAS	ÁREA OCUPADA	
	%	Km ²
Planície flúvio-marinha	7	8,35
Planície fluvial	10	16,42
Colina Dissecada	52	59,06
Superfície Tabular	31	11,40
TOTAL	100	95, 24

Fonte: Adaptado de Bezerra (2011).

7

Os tabuleiros representam as superfícies mais elevadas da bacia, e estão dispostos, principalmente, na porção leste, possuindo superfícies aplainadas esculpidas nas formações Barreiras e Itapecuru. A dinâmica dos processos geomorfológicos desencadeou significativos desgastes dos tabuleiros, dando origem a formas subtabulares residuais, intercaladas por colinas dissecadas⁶. As colinas dissecadas⁶ possuem vertentes modeladas nas Formações Itapecuru e Barreiras. As vertentes têm declividades que variam entre 0 a 20%, tonando-se, muitas vezes, difícil a sua identificação, decorrente do

⁷ Colinas Dissecadas: são colinas com topos convexos acentuadas e vales em “V” profundos. A rede de drenagem apresenta densidade média a baixa, caracterizando interflúvios mais estreitos.

avançado processo de denudação. Em alguns trechos apresenta maior declividade, estando acima de 20% (BEZERRA, 2011).

A planície flúvio marinha ocupada por áreas de manguezal, está submetida aos efeitos dos agentes oceanográficos, como correntes e marés. A variação de maré pode chegar até 7 metros, com altura máxima de 6,6 m e altura mínima de 0,3 m. São formadas por depósitos de sedimentos em que predominam argila e silte, com ocorrência de areia fina a muito fina. Constitui um ambiente Quaternário, com granulometria variada, conforme a quantidade de energia das correntes e marés, possuindo um aspecto lamoso e de coloração escura (ibid, 2011).

A planície fluvial é constituída por depósitos provenientes da sedimentação fluvial, cujo poder de deposição depende da competência dos rios em seu baixo curso. As planícies correspondem às áreas essencialmente planas ou levemente inclinadas, contendo principalmente matéria orgânica e sedimentos com granulometria arenosa, areno-argilosa e siltico-argilosa. Essas feições geomorfológicas são faixas rebaixadas, sujeitas a inundações periódicas pelo rio Bacanga e seus afluentes durante o período chuvoso, e pela maré semidiurna, nas proximidades da desembocadura (BEZERRA, 2011).

A **figura 7.4** mostra o modelo topográfico digital derivado do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), com Resolução de 30m, através do mapa altimétrico, apresentando uma altitude que varia entre 0 a 65 metros, com planícies flúvio marinhas, fluviais e extensivos manguezais, que se apresentam nas faixas de baixas altitudes de 0 a 5 m, suas colinas dissecadas nas cotas de 20 a 30 m e tabuleiros em altitudes de 40 a 65 m.

Na **figura 7.5**, nota-se que o território predominante é plano. A ausência de cobertura vegetal, associada as características do solo, como difícil infiltração e alta erodibilidade, à intensidade das chuvas e à declividade, conduz a uma maior velocidade de escoamento, menor quantidade de água armazenada no solo e propicia enchentes expressivas, sujeitando a bacia à degradação. A **tabela 7.2** apresenta as classes de declividade na bacia hidrográfica do Bacanga.

Tabela 7.2. Classes de declividade

Classes	Declividade (graus)	Área (km²)	% da Bacia
Plano	0 a 2,9	66,8	63,08
Suave ondulado	2,9 a 5,7	38,5	36,36
Ondulado	5,7 a 8,5	0,65	0,62

Fonte: Adaptado de Araújo et. al., (2009).

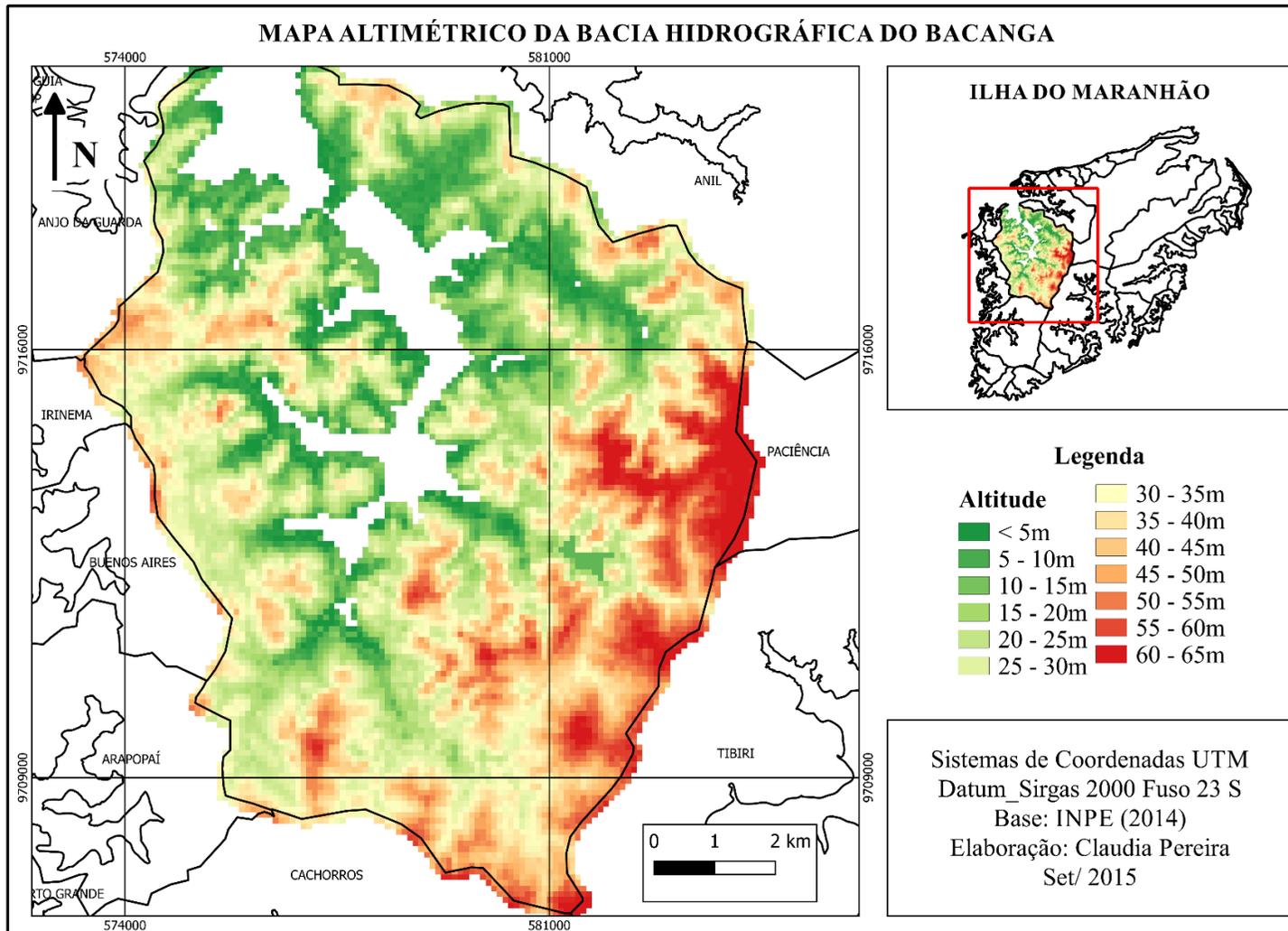


Figura 7.4. Mapa Altimétrico da bacia hidrográfica do Bacanga.

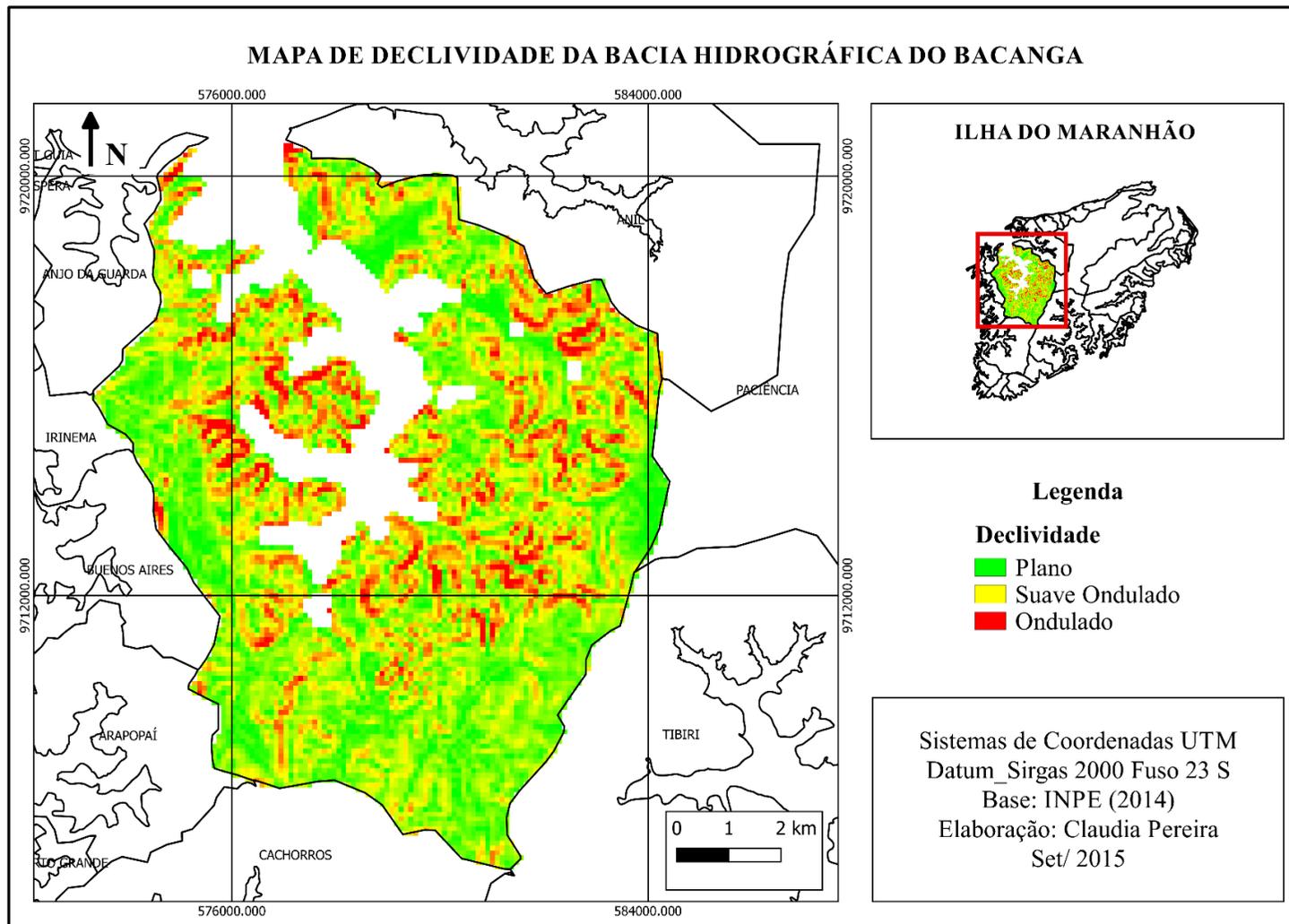


Figura 7.5. Mapa de Declividade da bacia hidrográfica do Bacanga.

- **Pedologia**

Quanto aos aspectos pedológicos, de acordo com Maranhão (1998), encontram-se na área de estudo os seguintes solos adaptados para atual classificação da EMBRAPA, (2006): Argissolos vermelhos amarelos com lateritas e Argissolos vermelhos amarelos (são solos de difícil infiltração, o que os tornam suscetíveis geração de escoamentos e à erosão); Neossolos regolíticos (solos não hidromórficos e de textura arenosa, apresentam alta erodibilidade, encontrados principalmente em áreas com declives mais acentuados); Gleissolos quartzarênicos (solos argilosos, argilo-arenosos, classificados como mal ou muito mal drenados) e Neossolos quartzarênicos (solos de textura arenosa, cujo processo erosivo não é alto, que ocorrem em relevo plano ou suave ondulado), como mostra a **Figura 7.6**.

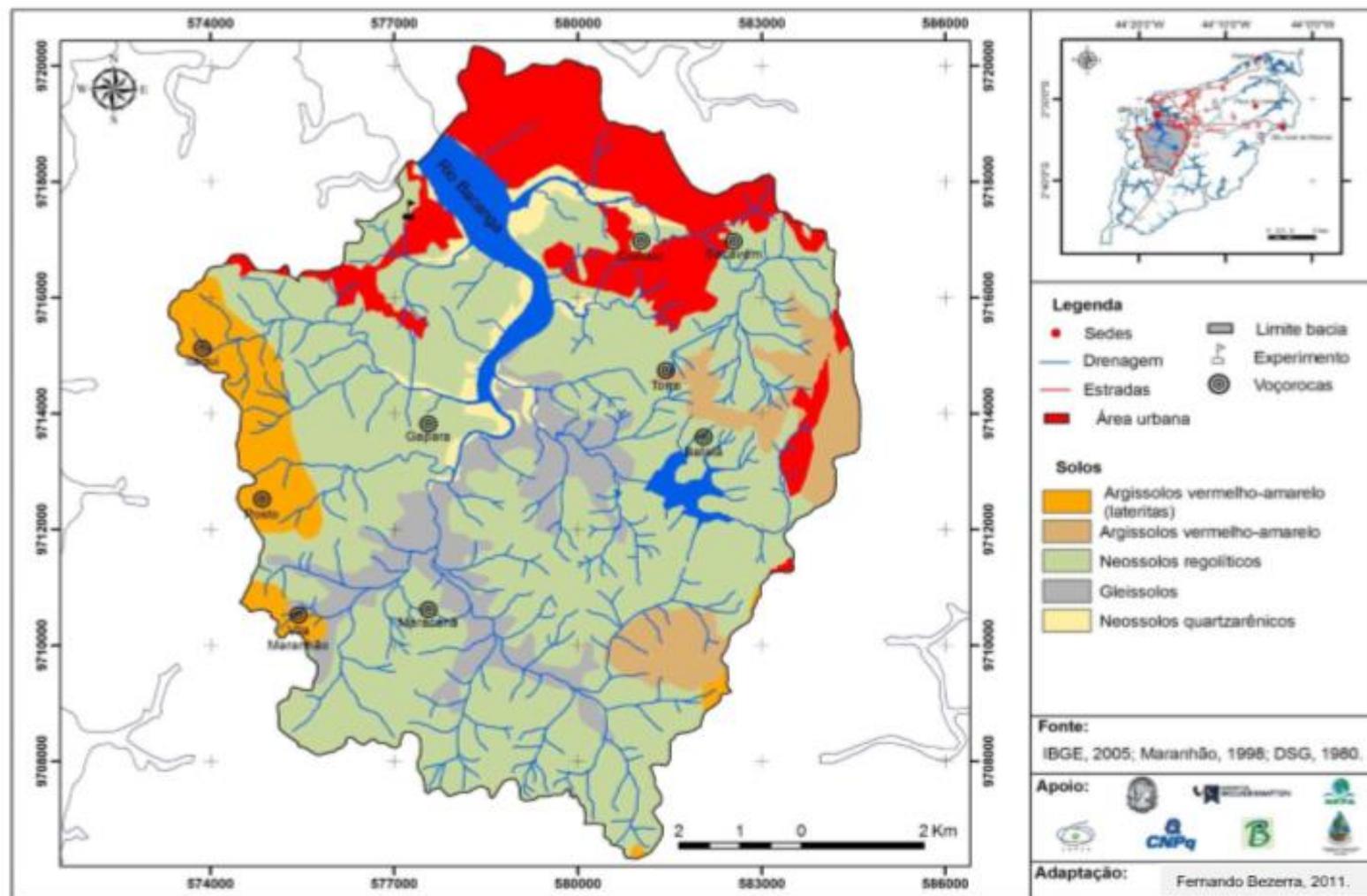


Figura 7.6. Mapa de Solos da bacia hidrográfica do Bacanga⁵.
Fonte: Bezerra, (2011).

- **Clima**

De acordo com a classificação de Köppen (1948), o clima da área de estudo corresponde ao tipo Aw, quente e úmido. Conforme Pereira (2006), a chuva apresenta média anual de 1.857 mm, com valor mínimo anual de 1.239 mm e máximo de 2.563 mm, temperatura média anual de 27°C e umidade média anual de 80%. A sazonalidade da chuva na área é marcante, indicando o período chuvoso de janeiro a junho e o período seco de julho a dezembro.

Os ventos predominantes na região são os alísios de direção NE (nordeste), com velocidade 3 m/s, com ocorrências significativas de E (leste), sendo mais frequentes e intensos na estação seca, o que provoca maiores concentrações de poeira nesta época. No período diurno predominam os ventos mais estáveis durante todo o ano, o que favorece a dispersão atmosférica de poluentes. Já no período noturno, as constantes calmarias na estação chuvosa prejudicam a dispersão dos poluentes atmosféricos durante essa época do ano (ESPÍRITO SANTO, 2006).

A **Tabela 7.3** apresenta os dados mensais das séries históricas da estação meteorológica da cidade de São Luís (código 82280), obtidas através do site do Instituto Nacional de Meteorologia referente – INMET, referente aos períodos de 1984 a 2014.

Tabela 7.3. Dados climatológicos médios mensais de São Luís.

Variável	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Temperatura Máxima (°C)	30,4	27,8	29,7	30	30,7	29,8	29,8	30,2	30,4	29,6	30,8	31,6
Temperatura Mínima (°C)	25,1	24,3	24	24,3	23,3	23,9	23,8	23	23	25	24	25
Umidade Relativa média (%)	77,3	82,4	81	84,9	83,5	81,7	81,4	78,1	75,3	74,3	71,5	75,3
Precipitação média (mm)	239	330	491	471	308	192	134	29	6,25	7	10	52
Média de dias de chuva	14,6	18,8	24,5	24,8	21,3	16,6	11,8	3,5	1,2	0,8	1,5	3,5

- **Hidrografia**

Na ilha do Maranhão, são identificados mananciais superficiais distribuídos em uma malha hidrográfica com características dendríticas, além de aquíferos subterrâneos que armazenem importantes reservas de água (SÃO LUÍS, 2007). A ilha é banhada por vários rios, dentre os quais destacam-se o Bacanga, Anil, Paciência, Cachorros e Jeniparana, além de uma grande quantidade de rios de pequeno porte.

Na bacia hidrográfica do Bacanga ocorre uma intensa ação hidrológica na elaboração do relevo, como mostra a **figura 7.7**. Segundo Maranhão (1998), evidencia-se a atividade dos rios no modelo das áreas emersas através da produção e da distribuição dos sedimentos ao longo dos cursos fluviais. No entanto, a hidrodinâmica marinha contribui com a produção de detritos, pelo solapamento de barreiras e cordões arenosos, e sua distribuição ao longo da costa, junto com os sedimentos de origem fluvial.

Seu regime hidrológico depende das precipitações sazonais e dos níveis de marés. No período de estiagem, é quase que inteiramente vinculado com o fluxo destas marés, com poucas contribuições relevantes de montante; na época das chuvas, há um notável acréscimo de vazões que provocam oscilações nos níveis d'água do canal apenas em regiões de montante, devido a Barragem do Bacanga (MACEDO, 2011). A localização de uma barragem quase no extremo de jusante, projetada para minimizar o gradiente hidráulico decorrente das marés, proporciona efeitos de amortecimento das cheias em seu reservatório.

O principal curso d'água da bacia é o próprio rio Bacanga, com 22 km. De acordo com Araújo et al. (2009), a bacia é de 5ª ordem, a densidade de drenagem é de 2,40 km/km² e o comprimento da rede de drenagem é de 254,60 km. Seus afluentes (alguns intermitentes) apresentam regime hidrológico dependentes das precipitações que são sazonais e do nível de maré a jusante no corpo do rio. Os mais importantes são:

a) Margem direita: igarapé do Mercado, igarapé da Areinha, rio das Bicas, igarapé do Coelho, igarapé do Tapete (contribui para a Represa do Batatã)

b) Margem esquerda: igarapé do Anjo da Guarda, igarapé do Tamancão, rio Itapicuraíba, rio Piancó e rio Bacanguinha.

Assim, os afluentes da margem direita correspondem a áreas totalmente edificadas da porção mais central da cidade, enquanto, os da margem esquerda correspondem a áreas poucos urbanizadas, com baixo índice de ocupação. Os rios Piancó e Bacanguinha e os igarapés Coelho e Tapete são os principais contribuintes do rio Bacanga.

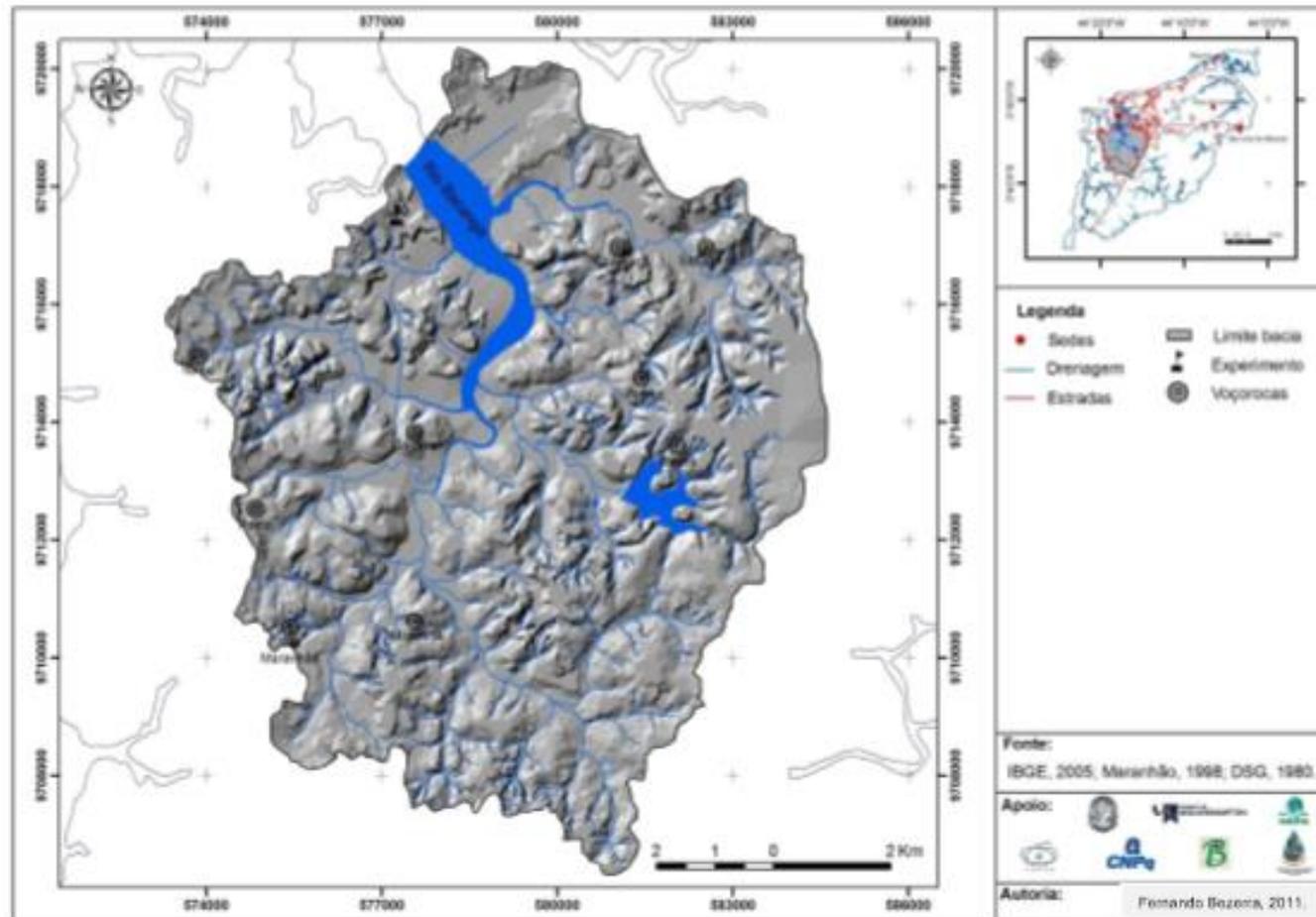


Figura 7.7. Mapa hidrográfico da bacia do Bacanga⁵.
 Fonte; Bezerra, (2011).

- **Vegetação**

De acordo com o documento *Leitura da Cidade* (Espírito Santo, 2006), a cobertura vegetal de São Luís varia de acordo com as características do relevo, a proximidade dos cursos d'água e o grau de alteração antrópica que, em alguns trechos, provoca a predominância de determinadas feições e espécies. As formações vegetais do município são divididas em três grupos fisionômicos: formações pioneiras, matas secundárias e vegetação frutífera.

Na área de estudo, são encontradas formações pioneiras representadas por manguezais e matas secundárias, que podem apresentar diferenciados tipos de cobertura, chamados de “capoeira aberta” (vegetação arbustiva) e “capoeira fechada” (vegetação arbórea). As distribuições espaciais são mostradas nas **figuras 7.8 e 7.9**.

A bacia do rio Bacanga possui duas Unidades de Conservação (Uc's): o Parque Estadual do Bacanga (criado pelo Decreto Estadual nº 7.545/1980), onde se localiza a Barragem do Batatã que fornece água para São Luís, e a Área de Proteção Ambiental (APA) do Maracanã (Decreto Estadual nº 12.103/ 1991), criada como tamponamento da expansão urbana e industrial.

O Parque Estadual do Bacanga (PEB), considerado como Área de Proteção Permanente (APP), criado em 07 de março de 1980, com uma área de 3,075 hectares, tendo como objetivos a preservação dos ecossistemas nativos, bem como a fauna e a flora primitivas da área e a conservação de ambientes naturais favoráveis ao desenvolvimento de atividades humanas de caráter científico, educativo e recreativo e a atividade turística na cidade. O PEB é uma área de recarga de aquífero, tendo grande importância para os recursos hídricos genuinamente ludovicenses, também, é uma área de conforto climático e, além disso, possui uma rica biodiversidade.

A Área de Proteção Ambiental do Maracanã, foi criada em 01 de outubro de 1991, com área inicial de 1,831 hectares, objetiva disciplinar as atividades humanas de forma a proporcionar o uso sustentável dos recursos naturais e a qualidade ambiental para as comunidades locais. Na APA do Maracanã aproveita-se da exploração *Euterpe oleracea Mart.*, a juçara, como atrativo turístico, pois o modo de extração e preparação da bebida típica desta fruta é conhecido por grande parte da população.

As Unidades de Conservação localizadas na bacia hidrográfica do rio Bacanga sofreram uma intensa pressão demográfica aliada a incrementos industriais instalados na área. Ademais, sofrem com desmatamento e aterro para instalação de portos e marinas de grande porte, pesca de arrasto para captura de camarão, desmatamento para

obtenção de lenha, entre outros. As **figuras 7.8 e 7.9** demonstram o desmatamento na bacia do Bacanga que vêm ocorrendo em 30 anos.

É importante ressaltar que o principal ideal das unidades de conservação é preservação das áreas naturais e de sua biodiversidade, no entanto, existem ainda, problemas decorrentes de leis que são infringidas, falta monitoramento e fiscalização, e principalmente, falta do plano de manejo. Das 11 Unidades de Conservação que o Maranhão detém, somente três possuem Plano de Manejo, são elas: o Parque Nacional do Lençóis Maranhenses, Reserva Biológica do Gurupi, ambas de responsabilidade do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA e o Parque Estadual do Bacanga, de responsabilidade estadual. O estado justifica que não dispõe aparato técnico-profissional para a gestão das Unidades de Conservação.

O primeiro plano de manejo do Parque Estadual do Bacanga foi elaborado em 1992 pela extinta SEMATUR (Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Turismo) com o apoio da CVRD (Companhia Vale do Rio Doce) e ENGE – RIO (Engenharia e Consultoria S.A.), com área inicial de 3,075 hectares. Em 2002 houve uma atualização do plano, hoje sua área é de 2.634,06 ha, o que significa que houve uma redução de 14,34% da área original. A redução dessa unidade deveu-se às exclusões de áreas irregularmente ocupadas no entorno do Parque.

Já a APA do Maracanã não possui entidade co-gestora e instrumentos de gestão (Plano de Manejo e Zoneamento do Plano de Manejo) que possam orientar e disciplinar as atividades e ações da entidade gestora dessa Unidade. Quanto as ações pontuais na APA, tem-se somente uma fiscalização bimestral realizada pelo Batalhão de Polícia Ambiental (BPA).

Para Mazzei (2002), nas áreas urbanas, o manejo de unidades de conservação, possui características que ressaltam a necessidade de estudos voltados à integração da área protegida com as áreas urbanizadas e as áreas “rurais”, sendo que estas últimas, quando não sobrevivem com uso rural, tornam-se alvo de diversos tipos de usos irregulares e clandestinos, de difícil controle por parte do poder público e de impactos à biota, muitas vezes de dimensões imprevisíveis.

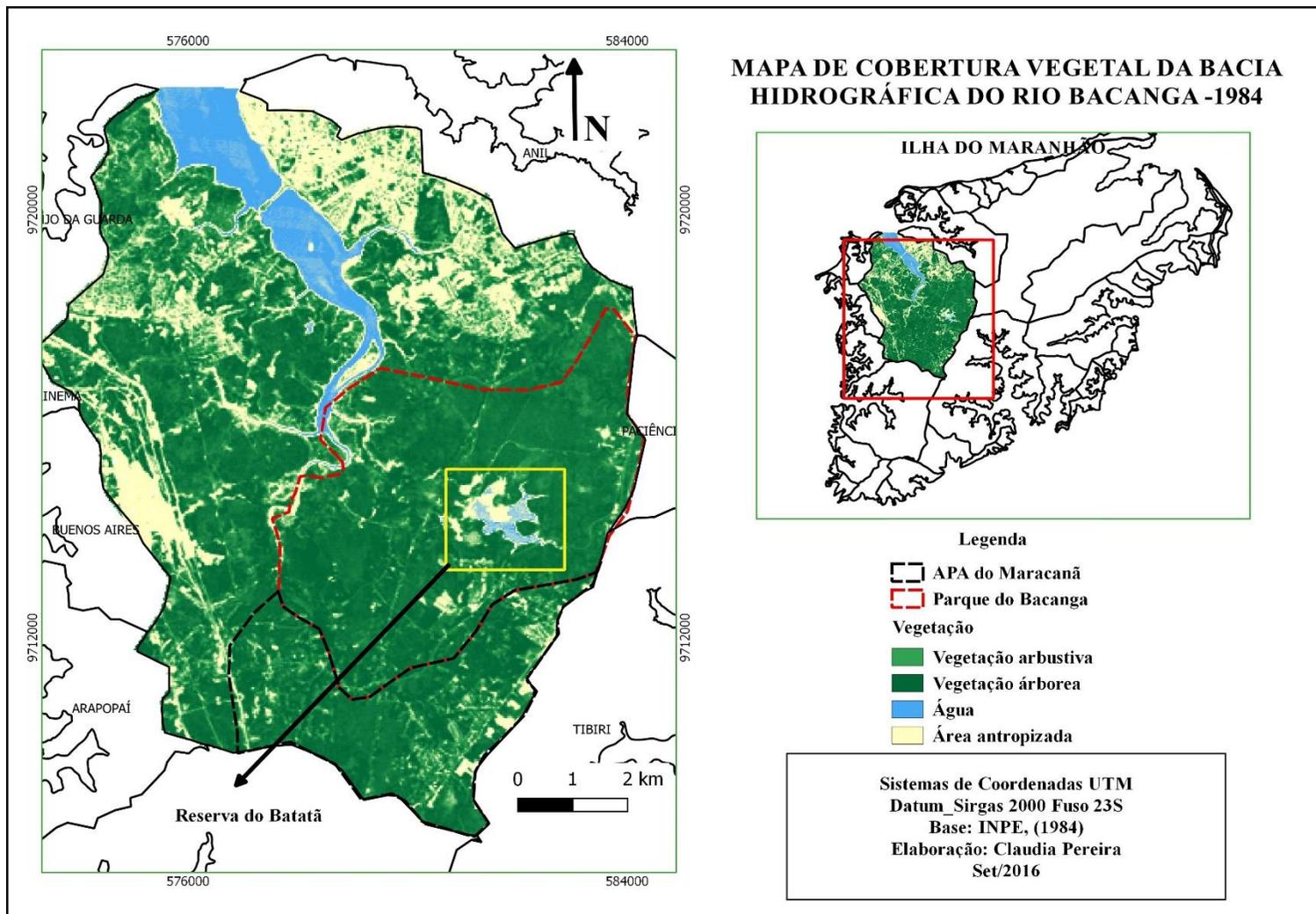


Figura 7.8. Mapa de cobertura vegetal da bacia hidrográfica do rio Bacanga/1984.

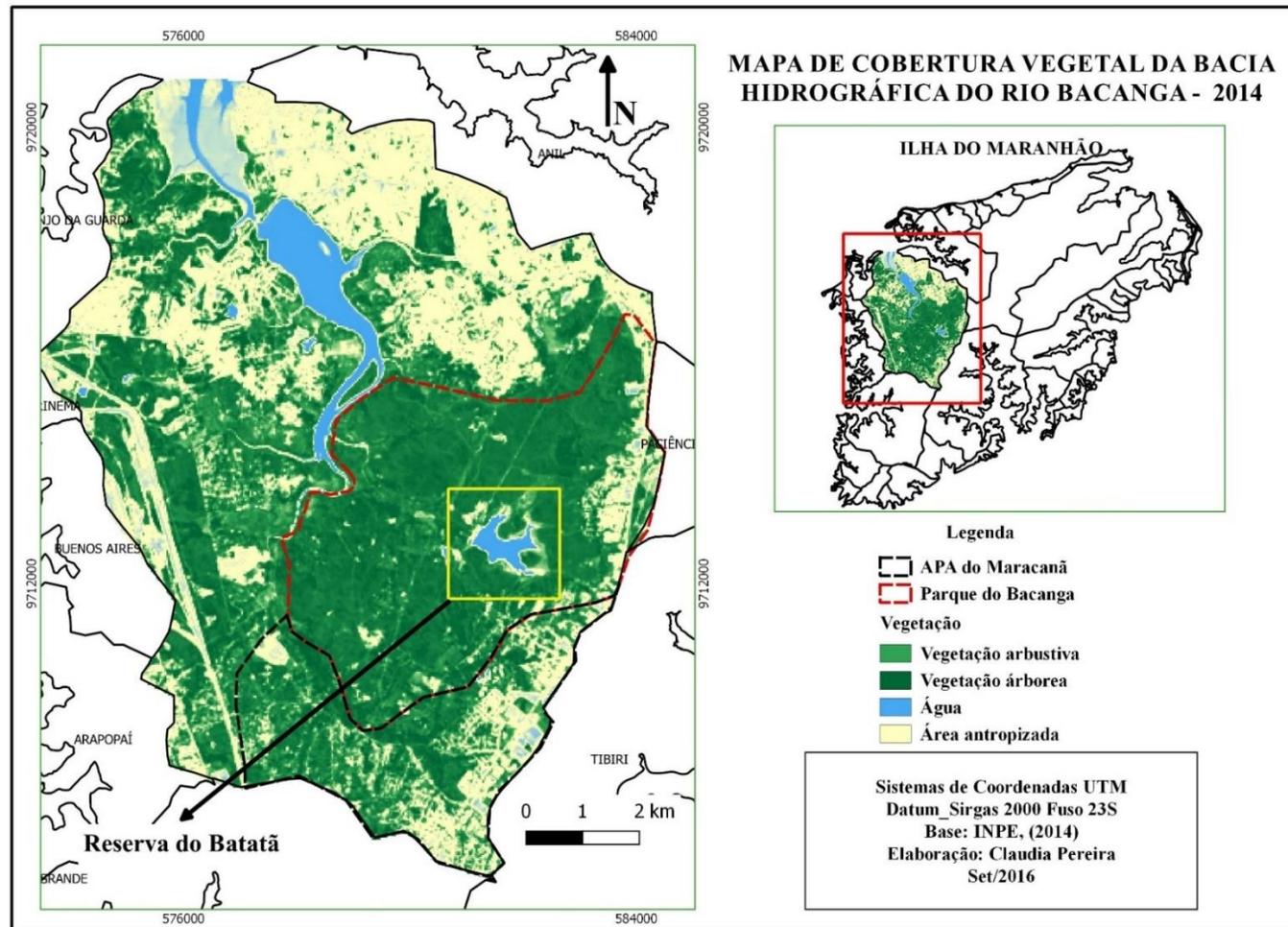


Figura 7.9. Mapa cobertura vegetal da bacia hidrográfica do rio Bacanga/ 2014.

7.3 Característica urbana da bacia do Bacanga

- **Histórico da ocupação urbana de São Luís**

De acordo Ferreira (1993), em 1611, no reinado de Luís XIII, por decisão de Maria de Médicis, em face da menor idade do rei da França, foi determinado a Daniel de La Touche, organizar uma expedição para criação da chamada França Equinocial, o que veio a se concretizar em 1612, com a construção do Forte de São Felipe, em homenagem ao seu imperador. Surgiu, assim, o primeiro núcleo de povoamento da cidade de São Luís, que teve início na Praia Grande às margens do rio Bacanga. Araújo (2001), salienta que, em 1614, a coroa portuguesa retomou a Capitania do Maranhão, com uma expedição armada, comandada por Jerônimo de Albuquerque.

Ainda no século XVIII, São Luís passou por um período marcado por revoltas, mas também, por um rápido crescimento econômico propiciado pelos engenhos de açúcar, o que permitiu o surgimento de outros núcleos de latifúndios, constituído pela burguesia mercantil, escravos, uns poucos comerciantes e os militares. Esse crescimento econômico também permitiu um prolongamento do núcleo central para o interior do tabuleiro e para as colinas de baixo declive entre 1650 e 1670, expandindo a cidade entre o Largo do Carmo, a Praia Grande e o Desterro, que constituíam os principais núcleos de ocupação de então (ARAÚJO, 2001).

A partir do século XVIII, São Luís passou a sofrer sensíveis melhorias na estrutura urbana com a construção de novos arruamentos e casarões, induzidas pelo ciclo do algodão. A malha urbana, avançou mais para o centro da ilha, surgindo as ruas Grande, Santana, da Paz, do Sol, dos Afogados e suas transversais. Na Praia Grande, novas vias surgiram a partir dos eixos constituídos hoje pelas ruas Portugal e da Estrela (TROVÃO, 1994).

Em 1808, esse quadro veio a sofrer uma alteração, quando gradativamente a produção americana de algodão ganhou cada vez mais o mercado junto ao império britânico e, ao ser instituído a proibição do tráfico negreiro, reduziu-se a produção, em razão da dificuldade de mão-de-obra escrava. No entanto, as dificuldades em comercializar a matéria-prima contribuíram para uma mudança na função econômica da cidade, deixando de ser mercantil para ser classificada como industrial, com o surgimento do parque têxtil na capital, por volta de 1890 (ARAÚJO, 2001).

A partir da década de 1950, São Luís é submetida a um novo e acentuado processo de urbanização, cujos efeitos culminaram com o crescimento desordenado da cidade, até então restrita a dois núcleos urbanos que acompanham o divisor de águas dos

rios Anil e Bacanga. No final dos anos 50, o até então rico parque industrial, por não acompanhar as mudanças tecnológicas ocorridas em relação às indústrias do centro-sul do país, entrou em completa decadência deixando milhares de operários desempregados, que passaram a trabalhar na máquina pública administrativa (ARAÚJO, 2001).

Na década de 60, houve uma mudança da base produtiva, com a instalação de grandes projetos agropecuários, minerais e industriais, iniciando um grande processo de valorização e especulação da terra, com fartos incentivos fiscais dados pelo governo do estado, além de áreas com disponibilidade de água e energia elétrica doadas para grandes grupos econômicos, causando um grande êxodo rural em direção à cidade (ibid, 2001).

Outro fator, relevante para o crescimento da mancha urbana de São Luís, foi a ocupação indiscriminada nas margens direita e esquerda dos rios Anil e Bacanga, em função da melhoria do Sistema Viário, com a construção de duas pontes (Newton Belo e Governador José Sarney), sobre a foz do Rio Anil e a construção da Barragem do Bacanga, além do asfaltamento da BR -135.

Segundo Ferreira (2007), a barragem do Bacanga teve sua construção iniciada em 1968, sofrendo várias paralisações e, finalmente, foi concluída em 1973 (**Figura 7.10**). O seu projeto executivo foi realizado pela empresa SONDOTÉCNICA entre os anos de 1966 e 1967. Os principais objetivos da barragem eram:

- permitir a ligação rodoviária entre São Luís e o Porto de Itaqui, reduzindo a distância entre 36 km para 9 km;
- promover o saneamento de áreas a montante do barramento, através da criação da represa que submergiria os manguezais e lodo existentes, os quais eram descobertos nos períodos de baixamar;
- favorecer a ocupação imobiliária, decorrente do crescimento da cidade, para o estabelecimento de novas áreas urbanas, formadas a partir da construção da barragem, que impediria que os níveis de maré voltassem a atingir aquelas cotas de inundação;

Ferreira (2007), afirma, que em 1968, foi sugerida ao governo do Estado do Maranhão a implantação de uma usina maremotriz utilizando a infraestrutura a ser construída para aproveitamento energético das marés. No entanto, os equipamentos necessários à geração de energia não foram instalados.

No caso da construção das pontes Newton Belo e Governador José Sarney, enquanto na margem direita do rio Anil, dada a proximidade do litoral, abriu-se espaço para promotores imobiliários e proprietários fundiários e a supervalorização das áreas

residenciais e comerciais, no setor norte/nordeste; na margem esquerda, a expansão concretizou-se pela apropriação destas áreas pela população de baixa renda, ocupando áreas inundáveis, de várzeas e manguezais (FEITOSA, 1989).

Na bacia do rio Bacanga, na margem direita, a presença de bairros de classe média como Parque Amazonas, Parque Pindorama e Parque Timbira, que apresentam um padrão razoável de urbanização. Já a sua margem esquerda é livre de especulação imobiliária, as condições de urbanização são precárias, podendo ser citado, por exemplo, o bairro do Sá Viana, vizinho da Universidade Federal do Maranhão, onde ocorreu ocupação urbana irregular e desordenada (*ibid*, 1989).

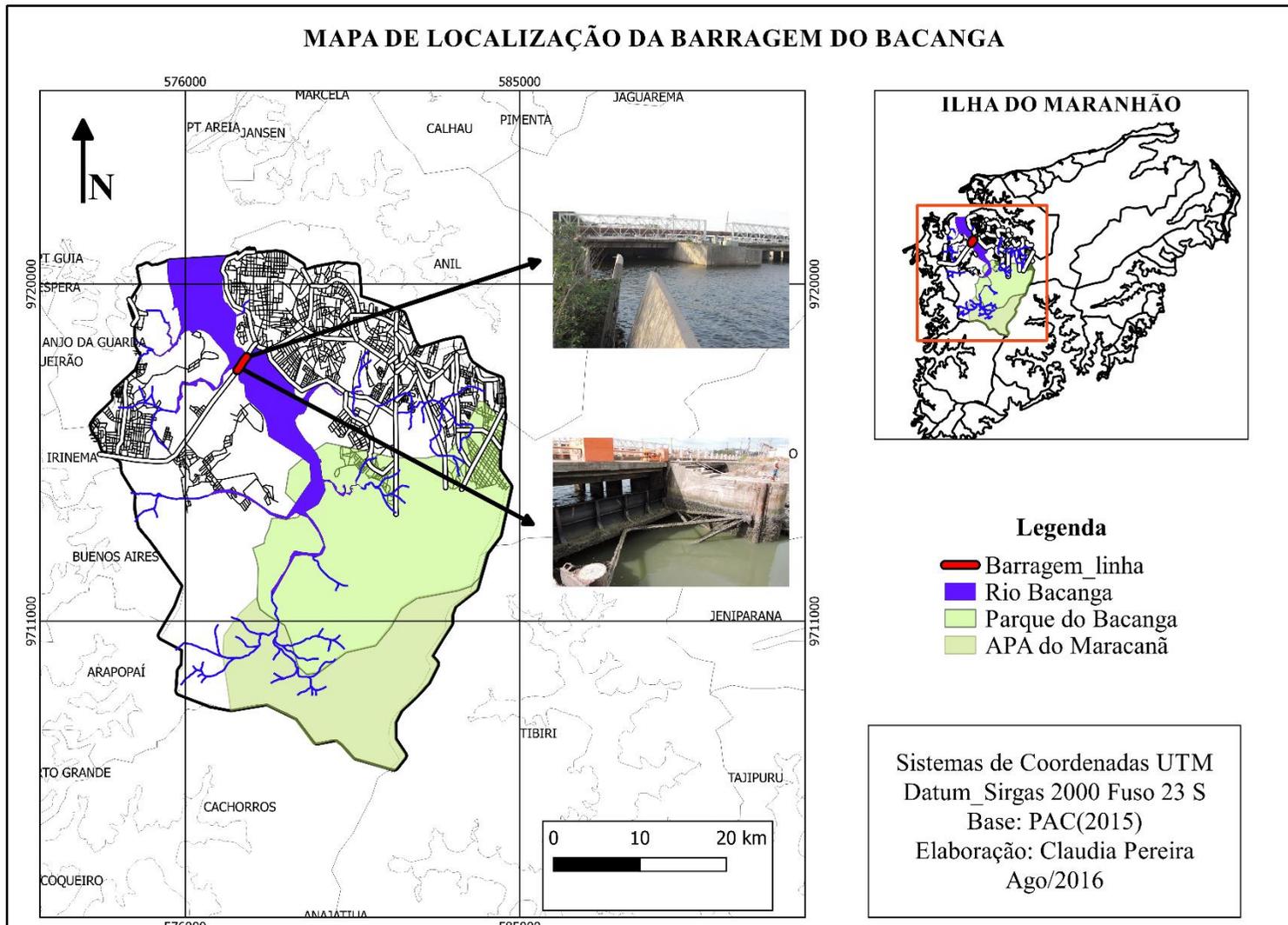


Figura 7.10. Mapa de localização da Barragem do Bacanga.

A partir da década de 1970, o poder público diante do expressivo crescimento demográfico, sentiu a necessidade de atender a defasagem habitacional, melhorar a paisagem urbana e ordenar de maneira adequada a ocupação espacial do município de São Luís (FERREIRA, 1993). Com incentivos do Banco Nacional de Habitação – BNH (atual Sistema Financeiro de Habitação – SFH) e da iniciativa de Cooperativas Habitacionais, iniciou-se a construção de conjuntos habitacionais e implantação de loteamentos públicos sob a responsabilidade do IPEM (Instituto de Previdência do Estado do Maranhão) e SURCAP (Sociedade e Melhoramento e Urbanismo da Capital S/A), embora a ocupação informal/desordenada, em diversas áreas, ainda ocorresse (SILVA, 1995).

De acordo com Diniz (1999), no início da década de 80, houve um incremento populacional na cidade, com a implantação de dois grandes projetos: o Consórcio Alumínio do Maranhão (ALUMAR) e o sistema mina ferrovia-porto do Sistema Norte (Carajás) da Companhia Vale do Rio Doce (VALE), localizados no distrito industrial, que atraíram um forte contingente populacional para a Ilha.

Ente as décadas de 1970 e 1980, a população urbana da cidade de São Luís apresentou um crescimento de 83,06%. As causas são destacadas a partir de dois pontos principais: um referente ao processo de êxodo rural da população pobre do Estado em direção a capital e o outro a partir dos investimentos em infraestrutura urbana provenientes do capital estatal (Sistema Financeiro de Habitação e Banco do Nordeste) concomitante aos investimentos gerados pelo capital industrial (Vale e Alumar). A **tabela 7.4** apresenta a população do município conforme os últimos censos. A **Figura 7.11**, mostra a evolução da ocupação do solo da ilha do Maranhão em 30 anos.

Tabela 7.4. População do município de São Luís.

Data dos Recenseamentos	População Residencial		
	Urbana	Rural	Total
São Luís			
1970	205.413	60.073	265.486
1980	247.288	202.144	449.432
1991	246.213	450.158	696.371
2000	837.584	32.444	870.028
2014	958.522	56.315	1.014.837

Fonte: Censo 2000/2010 (IBGE).

Com a falta de planejamento urbano-ambiental e o acelerado processo de urbanização, ocorreu uma grande deficiência no sistema habitacional, pois o espaço urbano organizou-se em função do preço do solo. Ter acesso aos equipamentos comunitários, como hospitais, escolas, centros comerciais tornou-se caro. Sem condições econômicas necessárias para a participação nos programas oficiais de habitação, restou como opção para população de baixa renda estabelecer-se mais distante do centro ou em locais onde problemas relacionados à qualidade de vida são mais acentuados, quer seja nos mangues, onde constroem palafitas, ou em áreas de capoeiras de terra firme, margens dos rios e etc., ou seja, em áreas de risco.

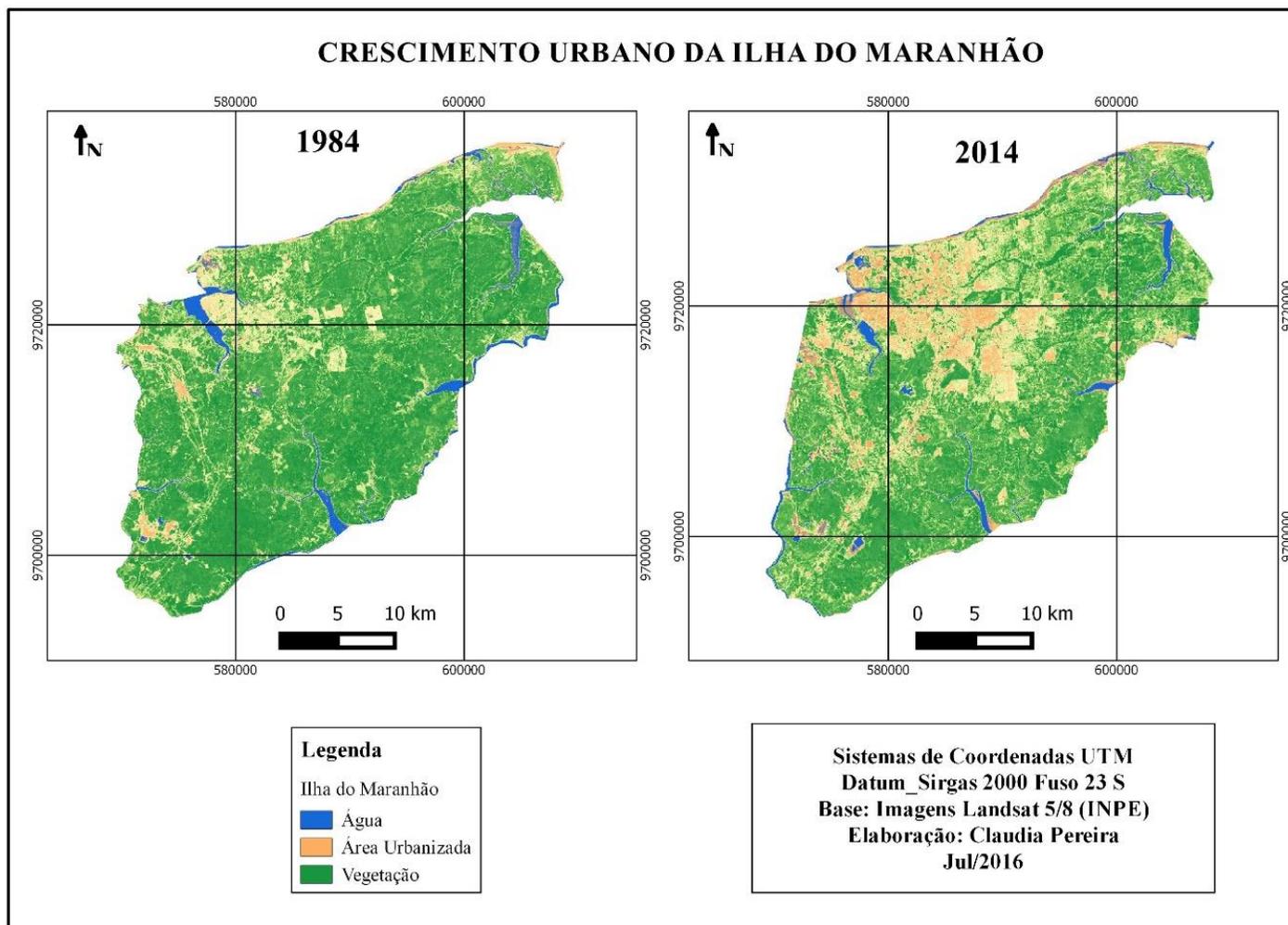


Figura 7.11. Crescimento urbano da Ilha do Maranhão.

- **População e densidade demográfica**

De acordo com o último censo demográfico do IBGE realizado em 2010, a população da cidade de São Luís era 1.014.837 habitantes, com estimativa de 1.082.935 habitantes no ano de 2016. Em 2010, a população residente na área rural do município era de 56.315 pessoas (5,6%) enquanto na área urbana era de 958.522 (94,4%). A população é representada em sua maioria por adultos da faixa etária de 30 a 49 anos (**Gráfico 7.1**). Com relação ao sexo, o número de mulheres é superior ao de homens em 13,6 %, o que equivale a 539.842 mulheres e 474.995 homens (**Gráfico 7.2**).

Segundo Macedo (2011), a população da bacia hidrográfica do Bacanga em 2011 era de 312.063 habitantes, distribuídos irregularmente. A **figura 7.12** apresenta a distribuição da população da bacia do Bacanga através dos setores censitários, de acordo com o Censo (2010). A densidade demográfica do município de São Luís é de 1.215,69 hab./km². De acordo com Espírito Santo (2006), os bairros mais populosos de São Luís são Jaracaty, São Francisco, Cohatrac, Cidade Operária, Turú, Cidade Olímpica e os bairros que se localizam na bacia do Bacanga como Madre Deus, Parque Amazonas, Pindorama, Anjo da Guarda, Vila Nova e Sá Viana. As áreas mais adensadas estão localizadas no entorno do Centro e no corredor Centro-Anil.

Espírito Santo (*ibid*) afirma que os baixos índices de adensamento populacional são justificados, em parte, pela presença rarefeita de edificações verticais na cidade, característica de cidades de porte médio em vias de desenvolvimento. Dentre as áreas de densidades mais baixas, estão incluídas a Zona de Segurança do Aeroporto e as áreas onde a presença da vegetação é significativa como as Zonas de Reserva Florestal, áreas de Proteção Ambiental e áreas verdes de um modo geral. A Zona Rural, como um todo, apresenta índices baixos de densidade populacional e presença significativa de cobertura vegetal.

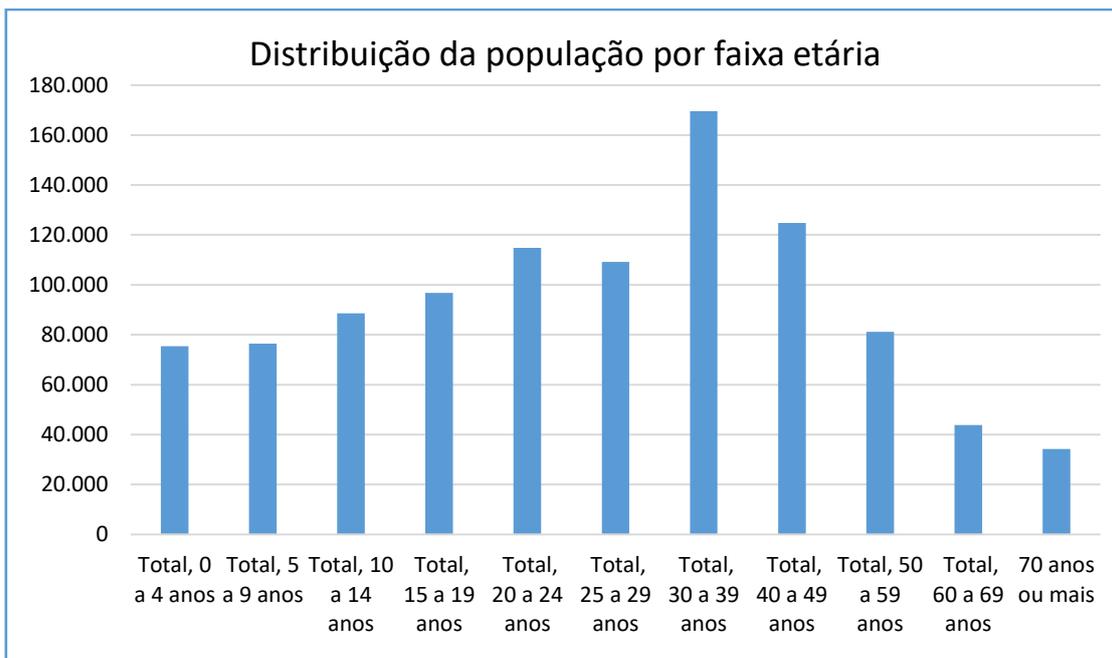


Gráfico 7.1. Distribuição da população por faixa etária.
Fonte: IBGE, (2010).

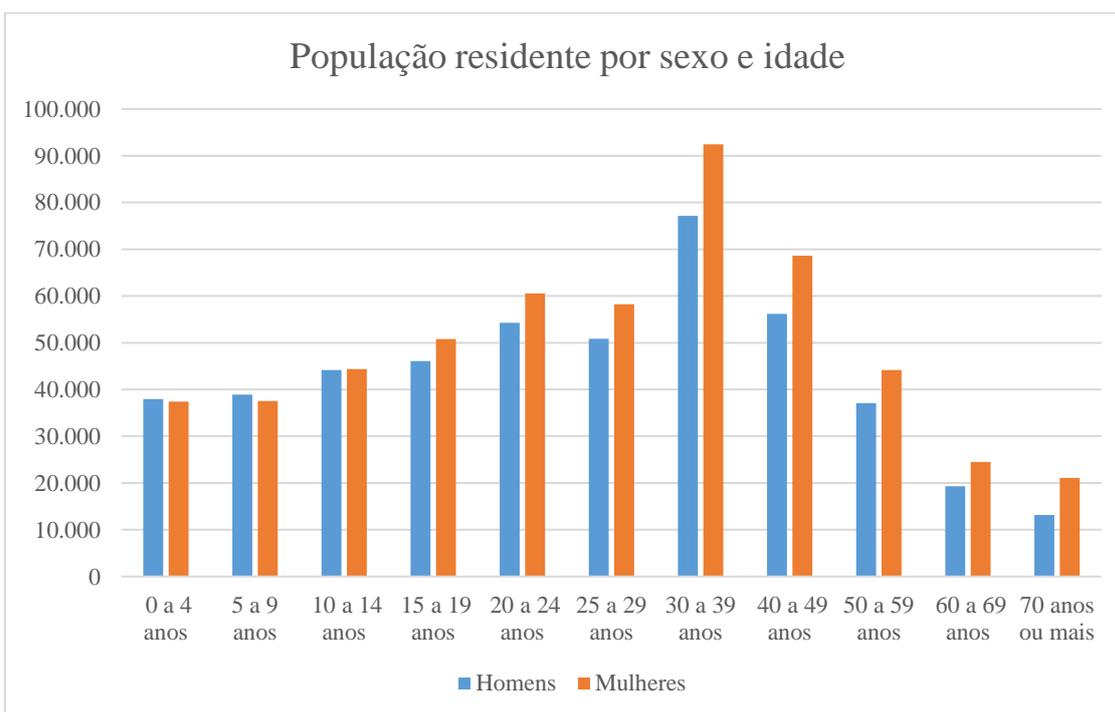


Gráfico 7.2. População residente por sexo e idade.
Fonte: IBGE, (2010).

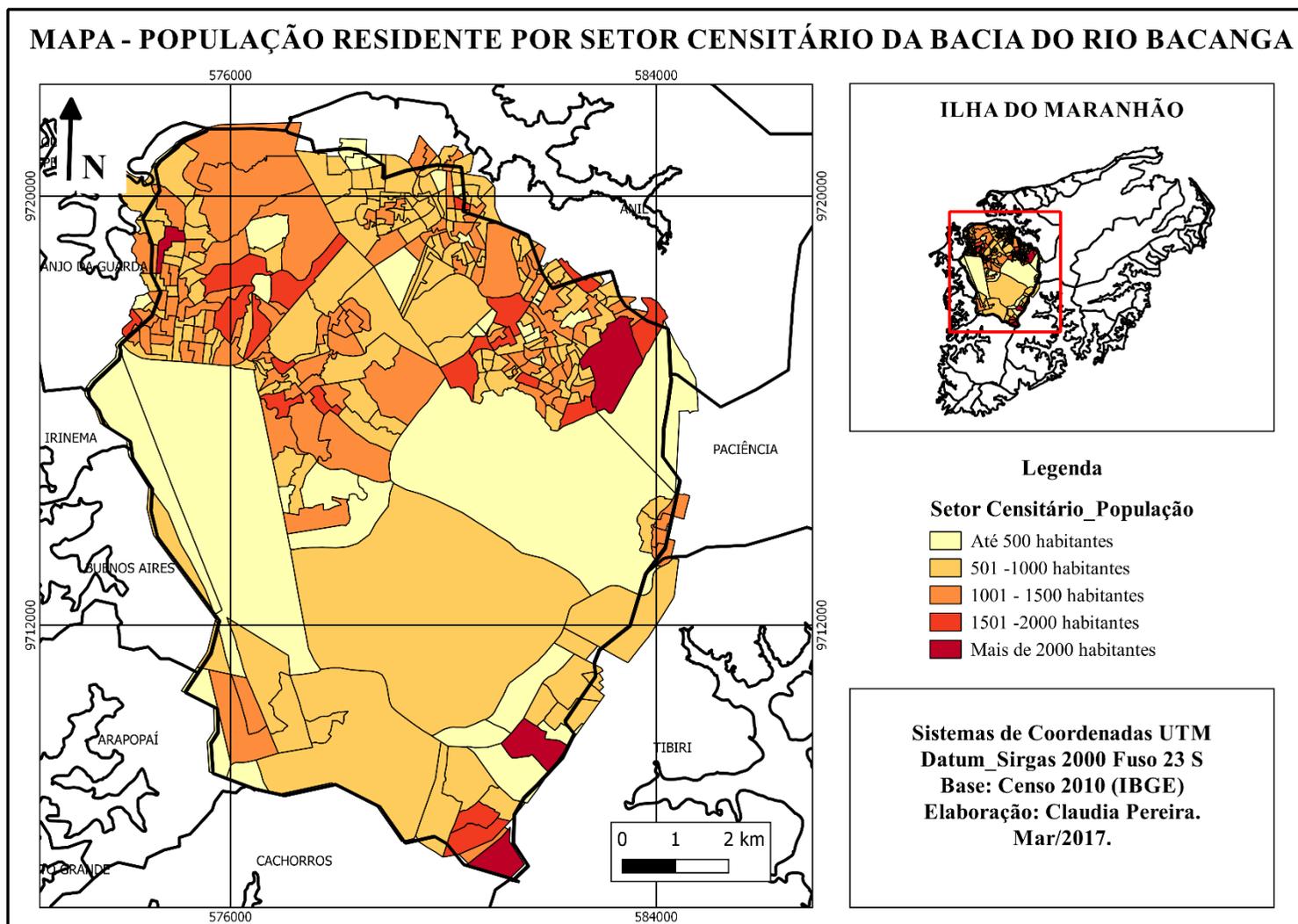


Figura 7.12. População residente por setor censitário.

- **Crescimento Populacional**

Os problemas de aumento de riscos, que se multiplicam nas cidades, são agravados pelo crescimento desordenado das mesmas, de forma que um planejamento do espaço urbano em conjunto com a gestão de risco é fundamental para mitigar os desastres sicionaturais, impendido perdas econômicas e a morte de pessoas, o que acontece com frequência nas cidades brasileiras.

No caso da cidade de São Luís, a acentuação da problemática urbana está ligada ao fenômeno da industrialização iniciada na década de 70, com a implantação de grandes projetos industriais/tecnológicos como a Vale, Alumar e algumas outras pequenas indústrias, assim como a florescência do comércio local. A soma destes fatos promoveu um “inchaço” populacional que resultou no aumento gradativo do número de ocupações desordenadas na cidade.

Na bacia do Bacanga, o crescimento populacional foi condicionado pela topografia e proximidade entre centro histórico e corpo d’ água (COELHO, 2011). A **figura 7.13** apresenta o processo de urbanização da bacia do rio Bacanga nos anos de 1984 a 2014.

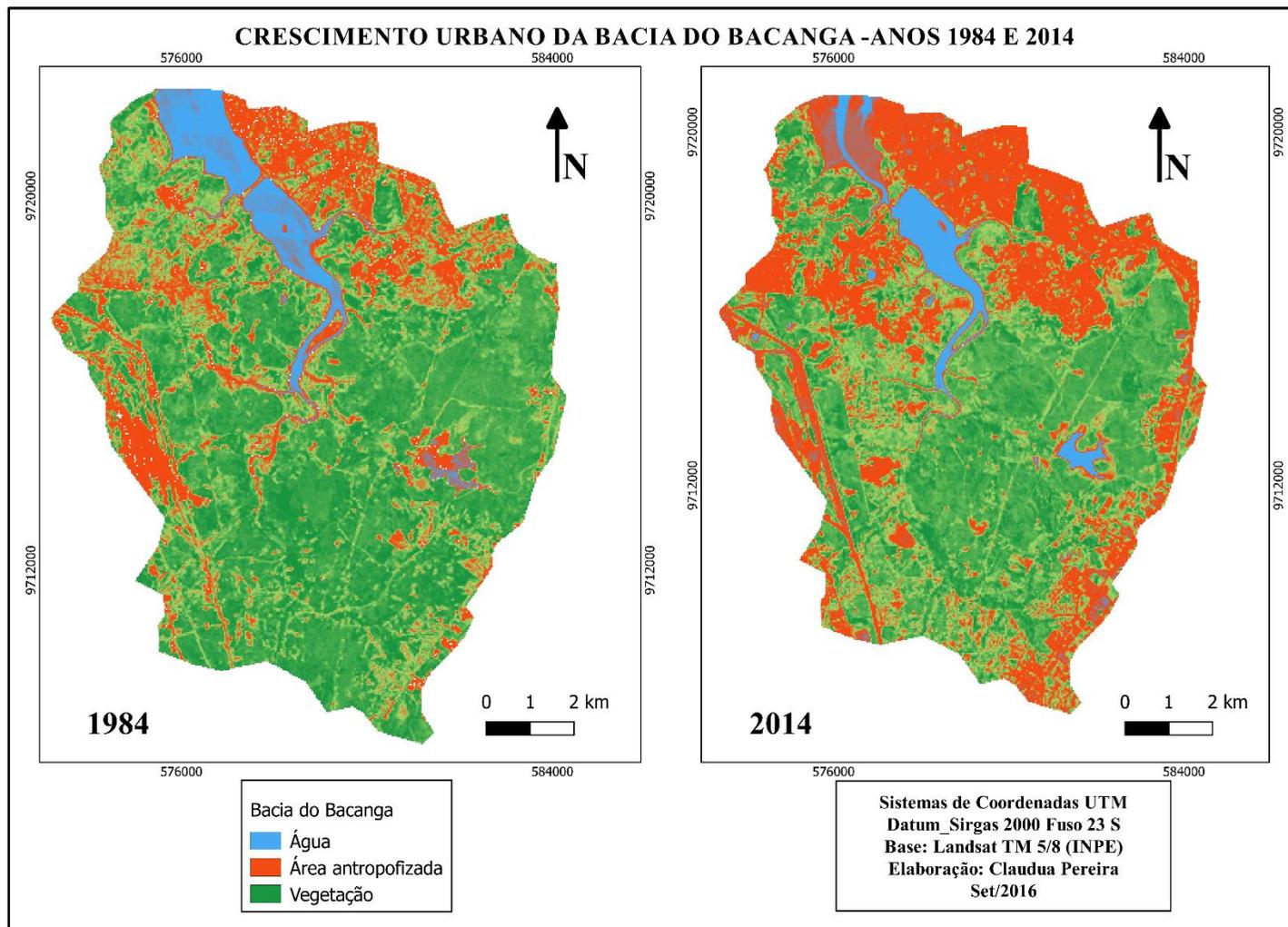


Figura 7.13. Mapa do Crescimento urbano da bacia do Bacanga – Anos 1984 e 2014.

Na **figura 7.13**, nota-se que houve um adensamento populacional no leste da bacia do Bacanga. A ocupação expandiu-se para o oeste e centro-sul da bacia. O processo de urbanização caracteriza-se por uma política ineficiente no que diz respeito ao planejamento urbano e ambiental, falta equipamentos urbanos na área, além disso, no centro-sul da bacia encontra-se duas Unidades de Conservação que estão sendo ocupadas de forma indiscriminada.

Dentre os fatores que impulsionaram a urbanização, está a construção da barragem do Bacanga (**Figura 7.10**): essa barragem mantém o nível da água do reservatório, aproximadamente, na cota 2,5 a 3,5 metros (DNH), o que permitiu a ocupação de áreas marginais da bacia que antes eram alagadas durante as preamares (a amplitude local de maré é de sete metros). O aterro possibilita acumulação de água até 6,5 metros (admitida como cota máxima de preamar). Além disso, em 1973, a inauguração da Avenida Médici, dentro dos limites da área inundada do reservatório, obrigou a manutenção do nível da lâmina de água bem abaixo da sua real capacidade de acumulação e contribuiu ainda mais para a ocupação de áreas que naturalmente ficavam submersas na maré de enchente, como é o caso dos bairros da Areinha, Coroado e Coroadinho, (Ferreira, 2007).

O adensamento urbano criou regiões com elevada densidade populacional e com grande deficiência em diversas escalas de análise. Os graves problemas de falta de moradia das camadas baixas e médias da população se agravaram e hoje muitas pessoas vivem em áreas de risco associadas à dinâmica fluvial. Os constantes impactos das cheias tendem a provocar problemas sérios em áreas urbanizadas, principalmente em ambientes com grande vulnerabilidade à inundação. A bacia do Bacanga, assim como as demais do município de São Luís, são objeto de uma série de impactos decorrentes da ocupação desordenada, tais como:

- a) maior escoamento superficial em decorrência impermeabilização do solo;
- b) sedimentação e assoreamento dos cursos d' água;
- c) remoção da mata ciliar das margens dos rios e córregos;
- d) lançamento de esgoto in natura e resíduos sólidos, poluição difusa, entre outros.

Assim, o rápido crescimento urbano verificado nos últimos anos em São Luís fez com que a ocupação do município não tenha sido precedida de uma política de estruturação adequada para a nova condição. A **figura 7.14** mostra as áreas de proteção da barragem do Bacanga, que favoreceram a ocupação imobiliária, estabelecendo novas

áreas urbanas, desde que os níveis de maré não atingissem as cotas de inundação (2 a 5 m).

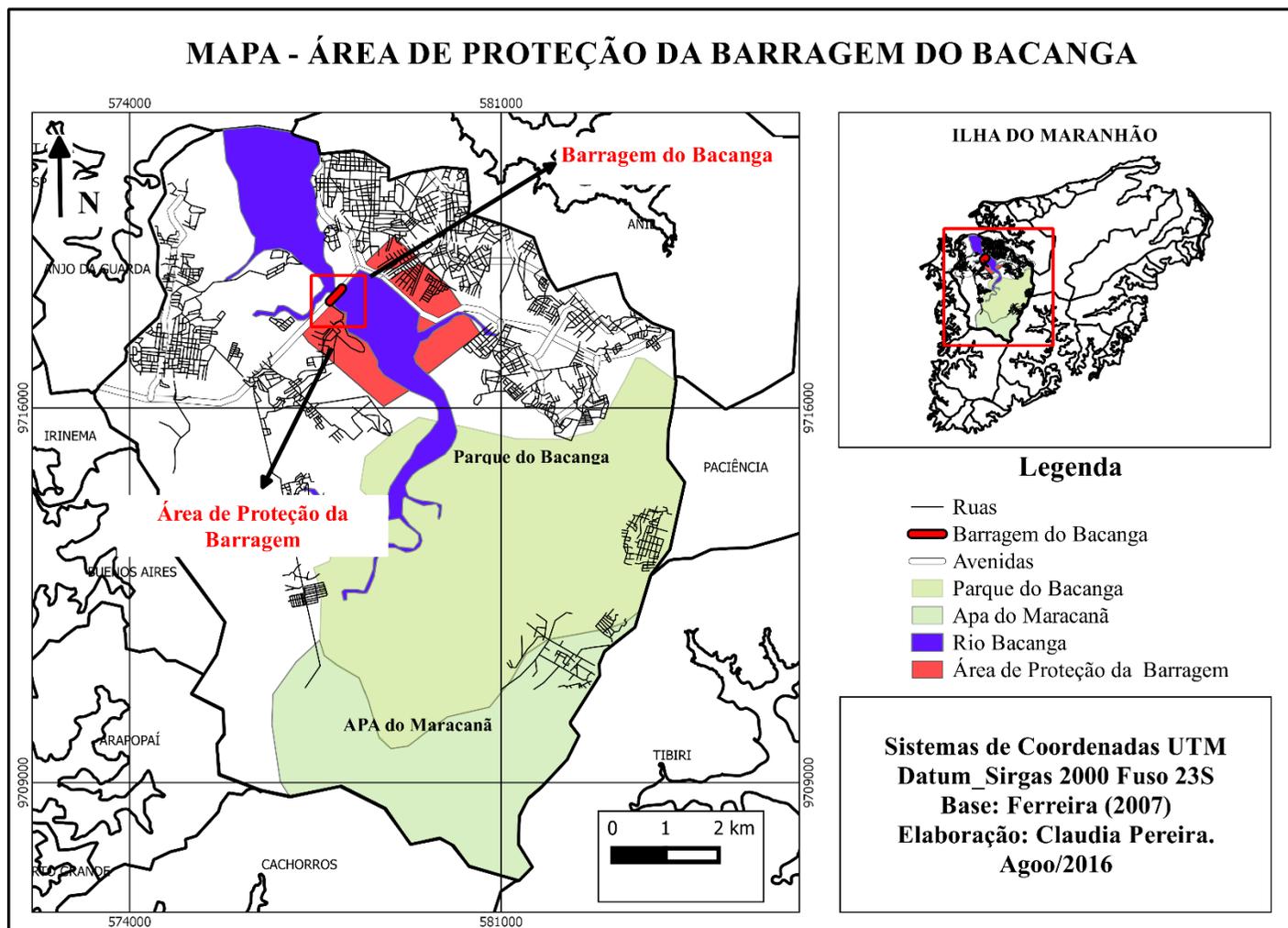


Figura 7.14. Mapa – Área de Proteção da Barragem do Bacanga.

- **Renda e Educação**

O IBGE divulgou os valores dos rendimentos domiciliares per capita 2015 para o Brasil e as Unidades da Federação (Estados e Distrito Federal), investigados pela Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNAD Contínua). O Maranhão tem a menor renda per capita do país, com R\$ 509,00. A renda per capita média da população de São Luís passou de R\$ 252,13 em 2000 para R\$ 917,87 em 2010, um aumento de 72,53%.

O resultado do censo do IBGE (2010) mostra que, do total das pessoas que receberam rendimentos a maioria estava na faixa de 2 a 5 salários mínimos, equivalente a uma porcentagem de 32,15 %. Somente 4,65 % da população recebe mais de 20 salários mínimos e 5,70% não possui rendimento, conforme apresentado no **Gráfico 7.3**.

Em relação a educação, foram consideradas alfabetizadas as pessoas capazes de ler e escrever um bilhete simples e analfabetas aquelas que não sabiam escrever ou apenas assinavam o próprio nome. O cálculo da taxa de analfabetos foi feito através do percentual da população analfabeta com 15 anos ou mais em relação à população nesta mesma faixa etária. Em São Luís a taxa de analfabetismo é de 10,9 %, de acordo com o último censo. De acordo com o censo IBGE (2010), 14,50% da população frequentavam o ensino fundamental regular (1º ao 9º ano), 6,13% frequentavam o ensino médio regular, 4,56 % a graduação e 0,41% a especialização. Somente 0,08% frequentavam mestrado e 0,013% doutorado (**Gráfico 7.4**).

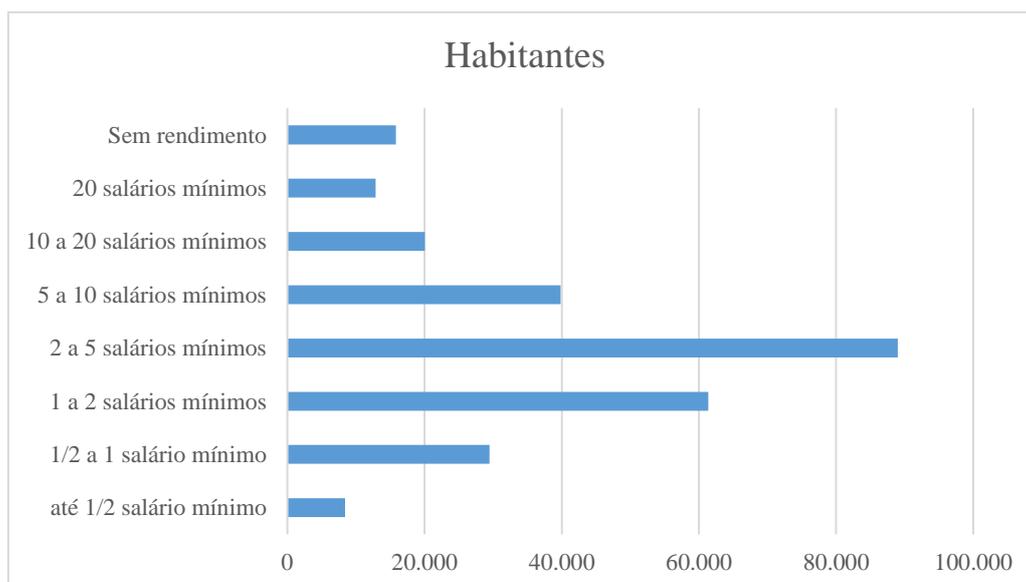


Gráfico 7.3. Nível salarial da população de São Luís com rendimentos.
Fonte: IBGE (2010).

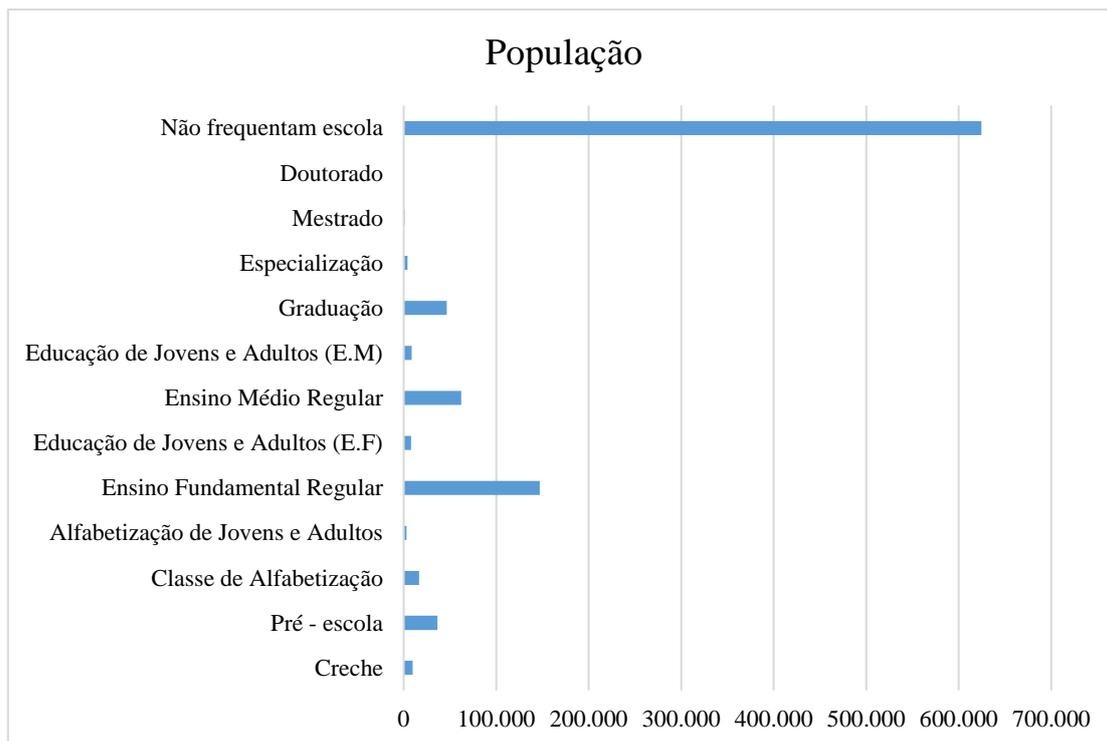


Gráfico 7.4. Escolaridade da População de São Luís.
Fonte: IBGE (2010).

- **Habitação e Saneamento ambiental**

De acordo Espírito Santo (2006), até a década de 80 a forma de aquisição da moradia no município de São Luís esteve vinculada a três fatores: o desmembramento do solo urbano, através da implantação de loteamentos de iniciativa privada; os conjuntos habitacionais de iniciativa do poder público (COHAB-MA, IPEM, PROMORAR e as entidades de classe cooperativadas) e o fenômeno das invasões, que se tornou uma alternativa à medida que as áreas foram sendo regularizadas.

Conforme estudos realizados pelo Centro de Estudos da Metrópole/ Centro Brasileiro de Análise e Planejamento (CEM/CEBRAP, 2007), para a Secretária Nacional de Habitação, do Ministério das Cidades, no âmbito do Projeto PNUD BRA/00/019, apresentados, no livro intitulado “Assentamentos precários no Brasil urbano”, a estimativa de assentamentos precários para região metropolitana de São Luís se elevou a mais do que o triplo do número de domicílios que se encontravam em condições habitacionais e sociais inadequadas, referente ao Censo de 2000, indicando aumento da extensão da precariedade urbana dessa região e uma demanda potencial maior de políticas de infraestrutura urbana e de habitação.

De acordo com o IBGE (2010), aglomerado subnormal é um conjunto de cinquenta e uma ou mais unidades habitacionais que são caracterizadas por ausência de

título de propriedade e pelo menos uma característica adicional: irregularidade das vias de circulação e do tamanho de lotes e/ou carência de serviços públicos essenciais (como coleta de lixo, rede de água, energia elétrica e iluminação pública). O censo do IBGE (2010) mostra a caracterização das moradias em São Luís: são 276.830 domicílios, sendo 262.406 urbanos e 14.424 rurais. 268.092 são de alvenaria, 647 de madeira aparelhada, 6.330 de taipa, 1.180 de madeira aproveitada, 50 de palha e 532 domicílios feitos de outros materiais. Além disso, 4.405 domicílios permanentes urbanos não possuem energia elétrica e em 37.769 domicílios não há pavimentação.

Quanto ao saneamento, 45,9% são considerados adequados, providos de boas instalações de abastecimento de água por rede geral, esgotamento sanitário por rede geral ou fossa séptica, coleta de lixo realizado por serviço de limpeza e até dois moradores por dormitório. 51% dos domicílios são semi adequados, apresentando um desses serviços de forma não satisfatória; os inadequados são 3,1 % e apresentam condições precárias de abastecimento de água, esgotamento sanitário e coleta de lixo. Note-se que dentre aqueles considerados adequados, a presença de fossa séptica caracteriza uma situação que pode ser tecnicamente pertinente, mas é individual e não há controle de seu efluente por parte do estado. São considerados como parte de aglomerados subnormais 61.845 unidades, com uma população residente de 232.912 pessoas (**Figura 7.15**).

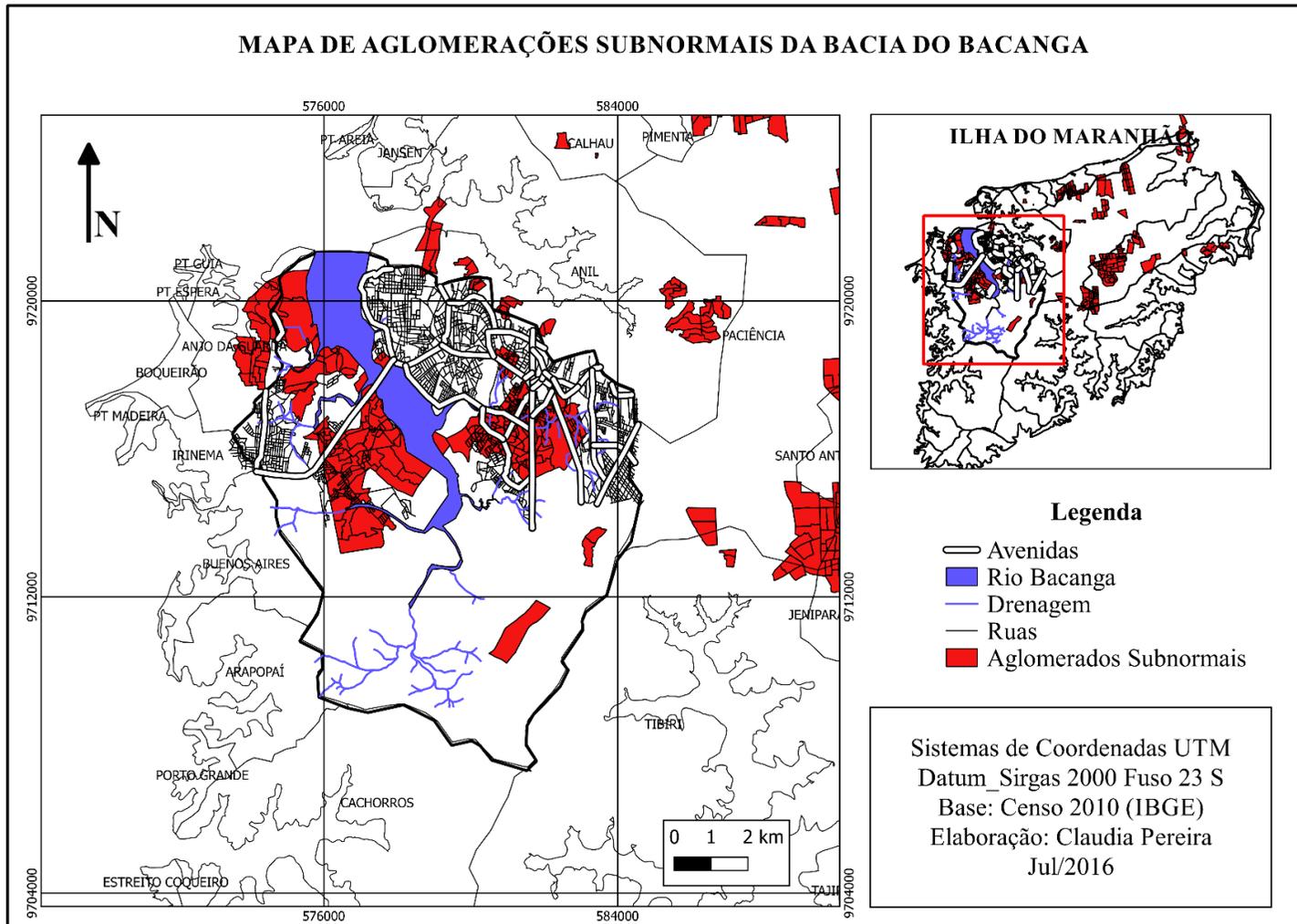


Figura 7.15. Mapa de Aglomerações Subnormais da bacia do rio Bacanga.

- **Planejamento urbano**

No Brasil, o desafio de organizar a cidade é uma problemática que vem se aprimorando a partir dos planos de desenvolvimento urbano, os chamados planos diretores, que estabelecem regras para o desenvolvimento físico das cidades, vilas e outros núcleos urbanos do município. O município de São Luís teve seu primeiro plano diretor em 1974, alterado em 1981. Houve uma nova formulação em 1992, com pequenas alterações em 2006.

No Plano Diretor de 1974, o controle do uso do solo urbano era de responsabilidade da Secretaria de Urbanismo e Planejamento – SURPLAN. Instituiu-se um Conselho do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de São Luís, como órgão consultivo, cuja coordenadoria tinha, como uma das funções, julgar os usos considerados como permissíveis no código de zoneamento que regula o uso do solo, emitindo o parecer em cada caso específico.

No Plano Diretor de 1981, o controle do solo urbano era de responsabilidade de vários órgãos, tais como: o Departamento Histórico da Fundação Cultural do Maranhão, que tratava das áreas históricas do município; a Secretária de Recursos Naturais, Tecnologia e Meio Ambiente - SERNAT, que se relacionava com projetos localizados em áreas próximas a mangues ou rios; a Prefeitura, juntamente com a Companhia de Desenvolvimento Industrial do Maranhão – CDI/MA, que aprovaria ou não os projetos na zona industrial.

O Plano Diretor de 1992 norteava as políticas públicas de preservação do Meio Ambiente, bem como o Sistema de Planejamento do Município - IPLAM, atualmente denominado de Instituto de Pesquisa e Planificação da Cidade. No mesmo ano foi assinada a Lei Complementar nº 3. 253, ainda vigente, que dividiu a cidade em 38 tipos de Zonas, mais 66 Corredores Viários, o que possibilitou índices urbanísticos específicos quanto à intensidade de uso e ocupação para os diversos setores da cidade.

O Plano Diretor de 2006, orientou políticas de Meio Ambiente, Paisagem e Saneamento Ambiental, que incluíram o sistema de drenagem pluvial como infraestrutura urbana, prevendo a execução de sua instalação e interferência na ordenação do espaço. Contudo, ainda não existe um Plano Diretor de Drenagem para orientar a gestão da infraestrutura urbana de manejo de águas pluviais e dos rios na área urbana.

Brasil (2002), afirma que o macrozoneamento é o primeiro nível de definição das diretrizes espaciais do Plano Diretor, estabelecendo um referencial para o uso e a ocupação do solo na cidade, em concordância com as estratégias de política urbana. O

ponto fundamental do macrozoneamento municipal é a definição das zonas urbana e de expansão urbana, principalmente esta última, pois se trata de um determinante das possibilidades de crescimento da malha urbana no município. Boa parte dos problemas ambientais das cidades brasileiras decorre de processos não controlados de expansão urbana, tanto quantitativamente, quanto qualitativamente.

O Macrozoneamento Ambiental do município de São Luís tem por objetivo identificar partes do território do município onde a preservação do meio ambiente é questão prioritária, sendo obrigatória à manutenção das características e da qualidade do ambiente. Divide-se em dois grupos, com características específicas: Áreas de Proteção Integral e Áreas de Uso Sustentável, especificado na **Tabela 7.5**.

Tabela 7.5. Macrozoneamento Ambiental (Plano Diretor Vigente)

MACROZONEAMENTO AMBIENTAL	DEFINIÇÃO	OBJETIVOS	INSTRUMENTOS
ÁREAS DE PROTEÇÃO INTEGRAL: - Área de Proteção Permanente (Dunas, Mangues, Mananciais e fundo de vales - incluindo as matas ciliares); - Estação Ecológica do Sítio do Rangedor; - Parque Estadual do Bacanga.	São áreas definidas por Legislação Federal como Áreas de Preservação Permanente ou como unidades de Proteção Integral.	Preservar a natureza e os recursos hídricos permitindo apenas os usos voltados à pesquisa, ao ecoturismo e à educação ambiental, quando previstos em lei específica.	- ZPA - Zona de Proteção Ambiental; - Programas de Educação Ambiental
ÁREAS DE USO SUSTENTÁVEL: - Parque Ecológico da Lagoa da Jansen; - APA's do Maracanã e Itapiracó; - Parques Urbanos do Bom Menino, Diamante e Rio das Bicas; - Sítio Santa Eulália; - Praias; - Áreas de Recarga de Aquíferos.	São áreas onde se deve compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de parcela dos recursos naturais existentes.	Utilização sustentável dos recursos naturais existentes. São permitidos usos econômicos como o turismo, lazer, comércio de consumo local, e agricultura (uso atribuído somente às APA's).	ZPA- Zona de Proteção Ambiental; - Transferência do Direito de Construir; - Termo de Compromisso Ambiental; - Incentivos Fiscais; - Programas de Educação Ambiental.

Fonte: Plano Diretor da cidade de São Luís/MA (2006).

Nas áreas de Proteção Integral é estabelecida a cota de 05 (cinco) metros como linha de preamar, abrangendo as áreas identificadas como inundáveis. No macrozoneamento ambiental da bacia hidrográfica do rio Bacanga encontram-se na área de proteção integral: áreas inundáveis (mangue), áreas de mananciais e fundos de vales.

Enquanto na área de uso sustentável, encontram-se: a área de proteção ambiental do Maracanã e recarga de aquífero, explicitado na **Figura 7.16**.

MAPA DE MACROZONEAMENTO AMBIENTAL DA BACIA DO BACANGA (PLANO DIRETOR)

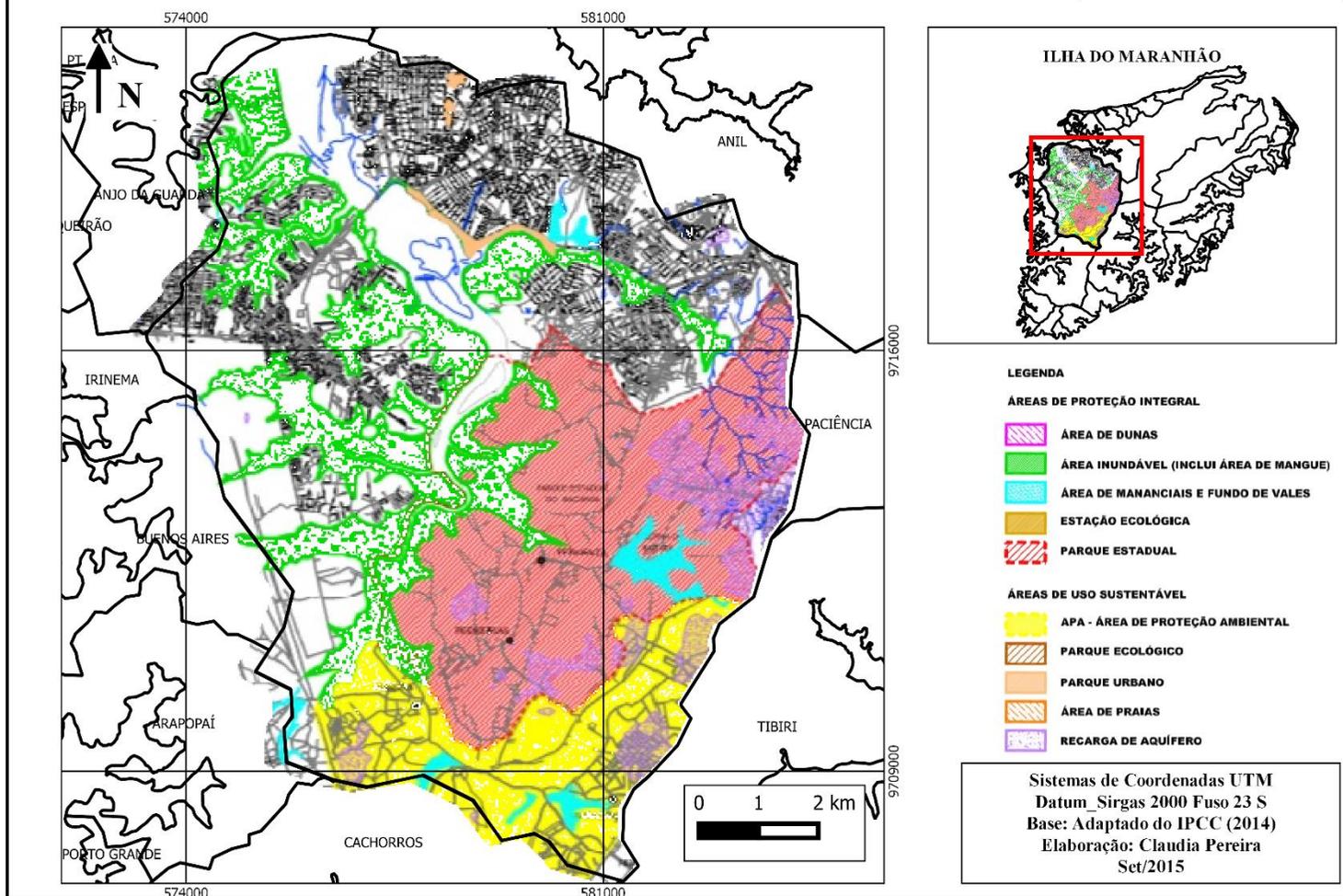


Figura 7.16. Mapa de Macrozoneamento Ambiental - Plano Diretor (Vigente) / Bacia do rio Bacanga.

Tabela 7.6. Macrozoneamento Ambiental (Plano Diretor - Proposta)

MACROZONEAMENTO AMBIENTAL	DEFINIÇÃO	OBJETIVOS	INSTRUMENTOS
<p>MACROZONA DE PROTEÇÃO INTEGRAL</p> <p>-Áreas de Preservação Permanente;</p> <p>- Unidades de Conservação da categoria de Proteção Integral.</p>	<p>São áreas de extrema relevância ambiental e devem ser mantidas sem nenhum ou com o mínimo de interferência humana.</p>	<p>Preservar, conservar e proteger áreas de extrema relevância ambiental, admitindo-se apenas o aproveitamento indireto de seus benefícios;</p>	<p>ZPA – Zona de Proteção Ambiental;</p> <p>-Programas de Educação Ambiental e Pesquisa;</p> <p>-Compensação Ambiental</p>
<p>MACROZONA DE USO SUSTENTÁVEL</p> <p>-Unidades de Conservação da categoria de Uso Sustentável;</p> <p>- Os Parques Urbanos;</p> <p>- As Praias.</p>	<p>São áreas destinadas a garantir o uso racional dos serviços ambientais assegurando a perenidade dos recursos ambientais renováveis e dos processos ecológicos, mantendo a biodiversidade de forma socialmente justa e economicamente viável.</p>	<p>Favorecer a biodiversidade, compatibilizar a conservação da natureza com o uso racional dos recursos naturais, possibilitando atividades que valorizem o meio ambiente.</p>	<p>ZPA – Zona de Proteção Ambiental;</p> <p>-Transferência do Direito de Construir;</p> <p>-Termo de Compromisso Ambiental;</p> <p>- Incentivos Fiscais;</p> <p>-Programas de Educação Ambiental e Pesquisa;</p> <p>-Compensação Ambiental.</p>
<p>MACROZONA DE MANUTENÇÃO DA DRENAGEM</p> <p>- Áreas de Recarga de Aquíferos;</p> <p>- Canais de Drenagem Natural.</p>	<p>São aquelas necessárias à manutenção dos recursos hídricos bem como áreas necessárias para assegurar a drenagem e percolação da água no perímetro municipal.</p>	<p>Garantir a perenidade dos recursos hídricos, bem como assegurar a drenagem e percolação da água dentro do perímetro municipal.</p>	<p>Transferência do Direito de Construir; - Termo de Compromisso Ambiental;</p> <p>- Incentivos Fiscais;</p> <p>-Programas de Educação Ambiental</p> <p>-Programas de Educação e Mobilização para a gestão de recursos hídricos.</p>

Fonte: Barboza et al., (2014).

MAPA DA PROPOSTA DE MACROZONEAMENTO AMBIENTAL DA BACIA DO BACANGA

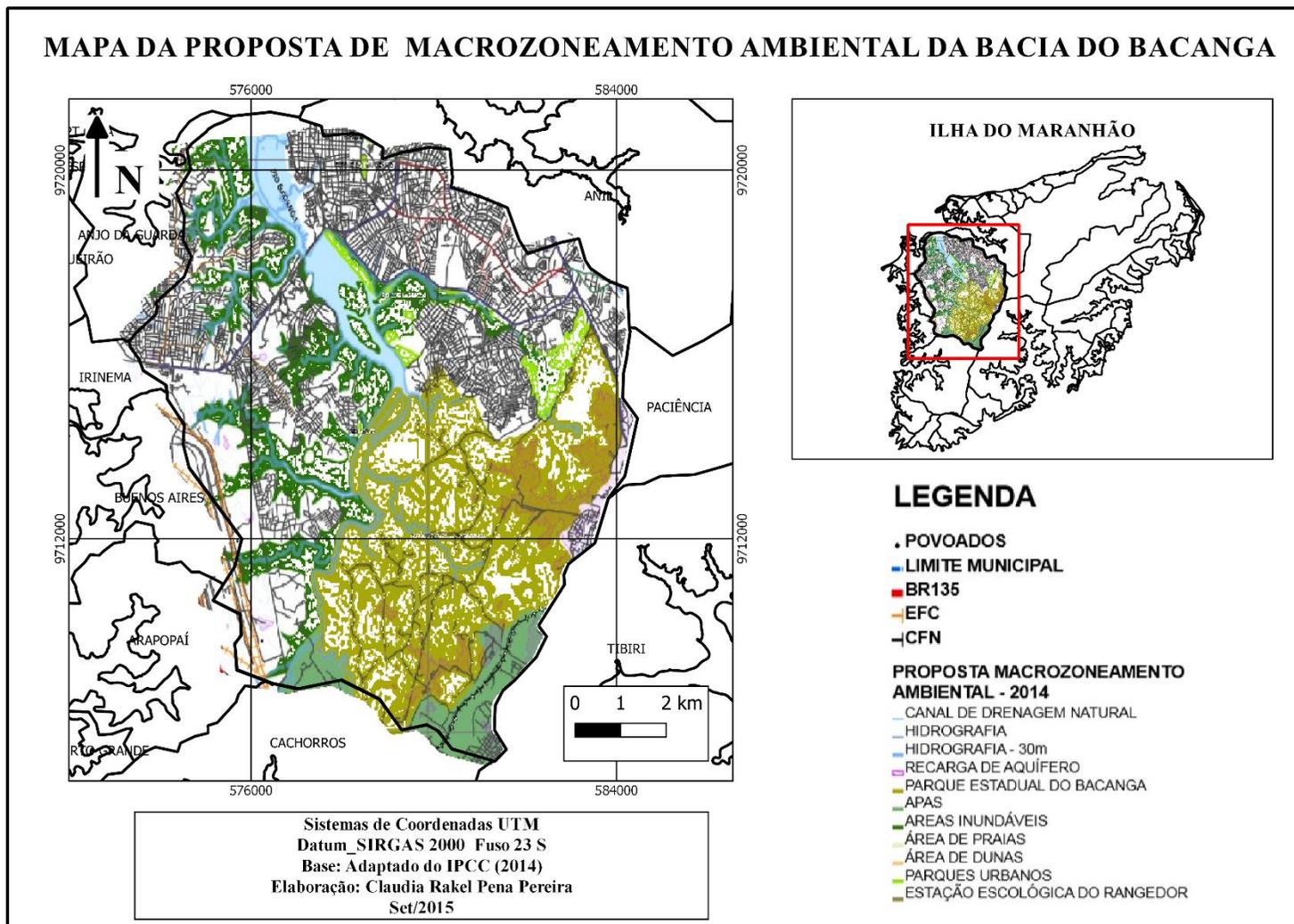


Figura 7.17. Mapa da Proposta do novo Macrozoneamento Ambiental/ Bacia do Bacanga.

Ao comparar os mapas de macrozoneamento ambiental (Plano Diretor Vigente) e a Proposta do Novo Macrozoneamento (**Figuras 7.16 e 7.17**), verifica-se que, em oito anos, houve um rápido crescimento urbano, provocando uma diminuição nas áreas de proteção ambiental e maior ocupação de áreas de risco de inundação. Pensando nesse problema, o Plano Diretor lança a proposta de estabelecer áreas de Manutenção da Drenagem, que são áreas de recarga de aquíferos e canais de drenagem natural objetivando assegurar a drenagem e a circulação da água no perímetro municipal.

A drenagem urbana, tem sido realizada de forma não sustentável com contaminação e alterações no regime de escoamento superficial, devido ao excesso de impermeabilização da superfície e à disposição de resíduos sólidos. Estas condições representam ameaça considerável ao homem e ao ecossistema do corpo receptor. O emprego de práticas de drenagem urbana sustentável aparece como caminho a ser seguido para o Desenvolvimento Urbano de baixo impacto hidrológico, com vistas à redução de inundação.

Já, o Macrozoneamento Urbano de São Luís tem como objetivo determinar as diferentes políticas de intervenção no solo urbano, por parte do poder público e dos agentes privados, no sentido de assegurar a função social da cidade e da propriedade privada, orientar o ordenamento do solo urbano e estabelecer as bases para aplicação dos instrumentos da política urbana previstos no estatuto da Cidade em consonância com as políticas públicas municipais previstas no Plano Diretor. Estão estabelecidas as seguintes macrozonas no município: Macrozona de Requalificação Urbana, Macrozona Consolidada, Macrozona em Consolidação -1, Macrozona em Consolidação -2 e Macrozona de Qualificação.

A diferença entre a Macrozona em Consolidação -1 e a Macrozona em Consolidação -2 está na infraestrutura. Embora a infraestrutura da Macrozona em Consolidação -1 esteja incompleta, está, possui mais equipamentos urbanos do que a zona em Consolidação -2.

Na bacia do Bacanga estão estabelecidas as macrozonas de Requalificação Urbana, áreas Consolidadas, áreas em Consolidação -2 e áreas de Qualificação, descritas a seguir (**Figura 7.18**).

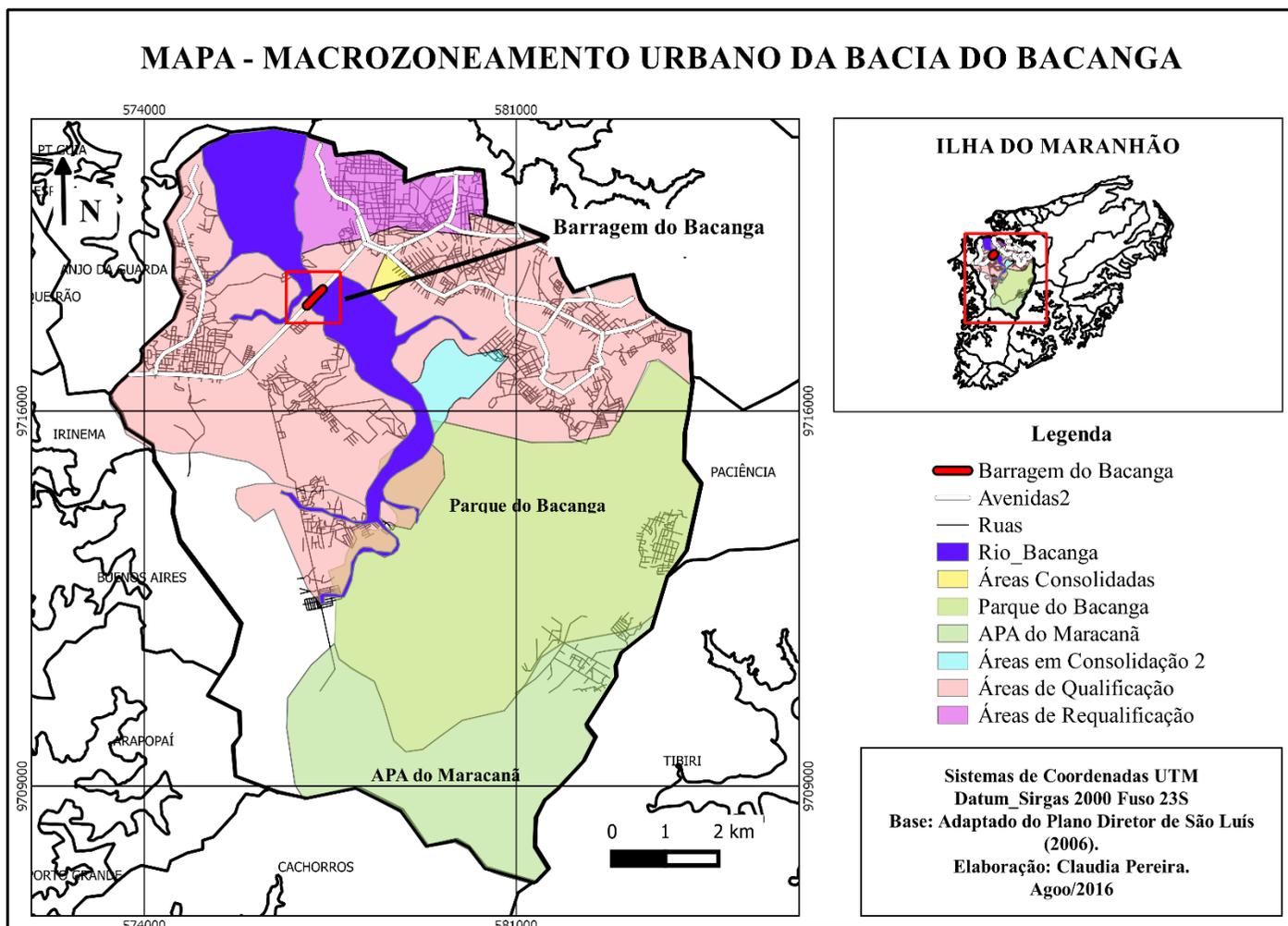


Figura 7.18. Mapa -Macrozoneamento Urbano da Bacia do Bacanga.

As macrozonas de Requalificação são áreas com boa infraestrutura, mas que passam por processo de esvaziamento populacional, algumas áreas possuem valor histórico e arquitetônico. Os objetivos de requalificar essa área são incentivar a habitação de interesse social, preservar o patrimônio cultural construído e melhorar a qualidade dos espaços públicos.

As áreas Consolidadas são áreas com boa infraestrutura e boas condições de urbanização, caracterizam-se pelo adensamento e pela verticalização de construções em algumas áreas, são áreas valorizadas no mercado imobiliário, além disso, apresentam saturação da malha viária em alguns pontos. O objetivo dessa área é estimular o adensamento onde for possível, com habitação de mercado popular ou de interesse social para aproveitar melhor a infraestrutura e equilibrar a relação entre oferta de empregos e moradia.

As áreas em Consolidação -2 são áreas que apresentam vazios urbanos significativos propícios à expansão e ao adensamento, possuindo áreas em condições favoráveis à atração de investimentos imobiliários privados. Seu objetivo é complementação do tecido urbano, aproveitamento do potencial paisagístico e cumprimento da função social da propriedade.

Por fim, as macrozonas de Qualificação caracterizam-se pela concentração de assentamentos espontâneos, apresentando infraestrutura precária, ou seja, são áreas com baixa valorização para o mercado imobiliário. Os objetivos dessa área são completar e melhorar a infraestrutura, incentivar a construção de habitações de interesse social, melhorar o acesso com transporte coletivo, regularização fundiária entre outros.

O Poder Público Municipal, implementou a Política de Habitação que prioriza o acesso da população de baixa renda a terra e à moradia digna, bem como promoverá a intervenção em assentamentos subnormais. Seus objetivos são:

- a) intervenção em assentamentos subnormais existentes visando criar melhores condições de vida e elevar o padrão de habitabilidade destas populações;
- b) produção de novos assentamentos regulares e/ou unidades habitacionais para famílias sem teto, com atendimento prioritário às demandas coletivas e organizadas.

A divisão da cidade em zonas, de acordo com as categorias de usos e atividades, é adotada pela maior parte das cidades do mundo. Atualmente a Lei de Zoneamento, Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo Urbano nº 3.253/1992, subdivide

em zonas: 11 residenciais, 2 turísticas, 1 administrativa, 1 central, 1 de preservação histórica, 2 de proteção ambiental, 1 de segurança ao aeroporto, 3 industriais e 1 rural. Na área de estudo foram encontradas as seguintes zonas:

- ✓ ZC - Zona Central
- ✓ ZI 3 - Zona Industrial 3
- ✓ ZIS 1 - Zona de Interesse Social 1
- ✓ ZPH - Zona de Preservação Histórica
- ✓ ZPA - Zona de Proteção Ambiental
- ✓ ZR2 - Zona Residencial 2
- ✓ ZR4 - Zona Residencial 3
- ✓ ZR5 - Zona Residencial 4
- ✓ ZRF - Zona de Reserva Florestal
- ✓ ZRU - Zona Rural

O zoneamento de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do rio Bacanga está ilustrado na **Figura 7.19**, a seguir:

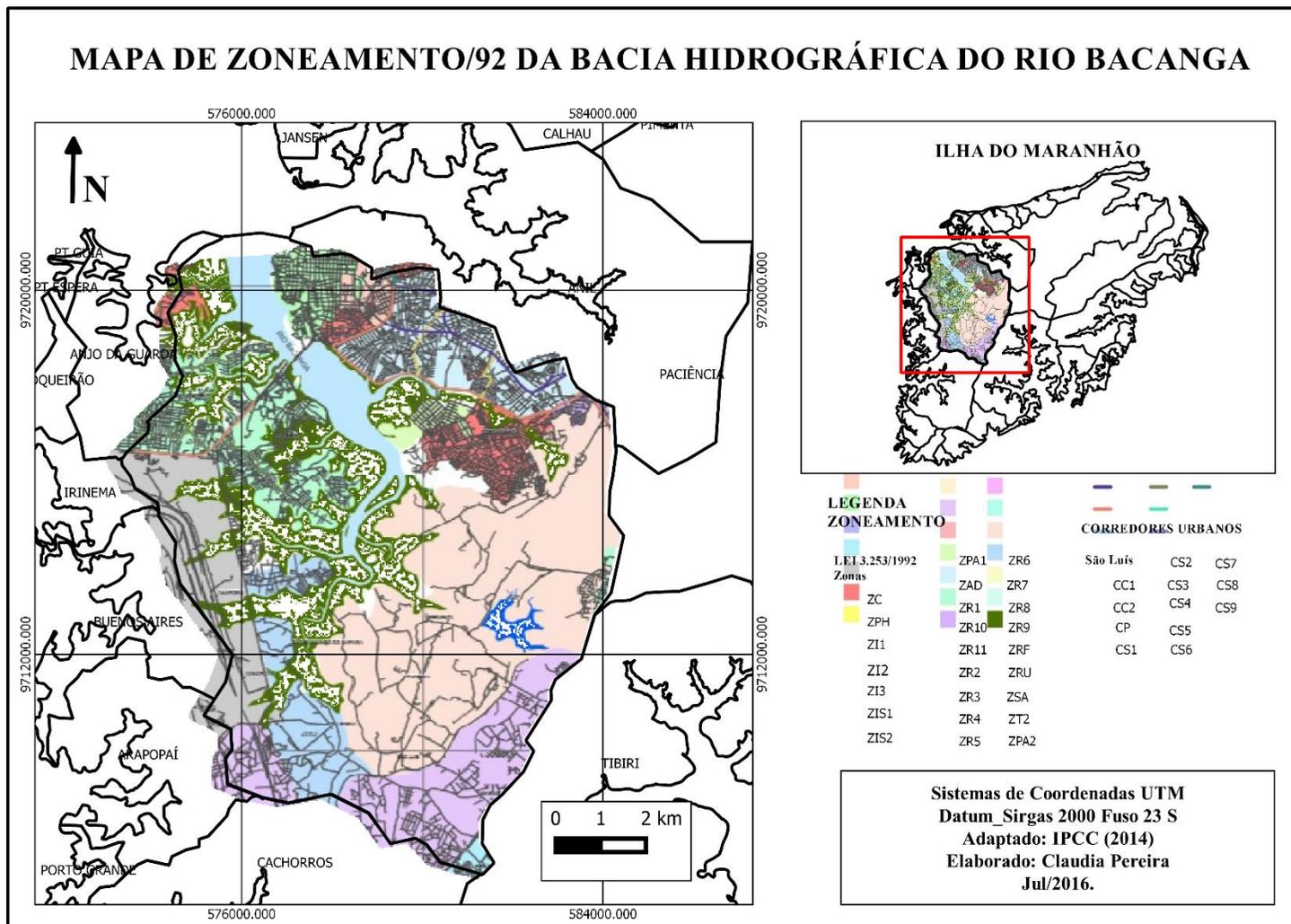


Figura 7.19. Mapa do Zoneamento da Bacia Hidrográfica do Bacanga (Vigente 92).

A zona central concentra atividades administrativas, comerciais e empresariais. A zona de preservação histórica possui elementos com valor de preservação naturais e históricos, que representam um referencial de identidade para a população, onde localiza-se o Patrimônio Histórico de São Luís, formado por casarões construídos no século XVII. A ZIS 1, é a área ocupada espontaneamente por assentamentos habitacionais da população de baixa renda onde existe interesse social em se promover a regularização jurídica da posse da terra e sua integração na estrutura urbana.

As zonas residências 2, 3 e 4 são onde localizam-se os bairros mais pobres do município. As zonas de proteção ambiental são formadas pelas áreas às margens dos rios, riachos, lagos, igarapés, lagoas, áreas inundáveis pelas marés (abaixo da cota 5 do levantamento aerofotogramétrico). Na zona industrial, está instalado o pátio de manobras ferroviária de propriedade da Companhia Vale. A zona de reserva florestal de preservação permanente das coberturas ou demais formas de vegetação original destinadas a proteger sítios de beleza paisagística natural, ou formar regiões de proteção entre áreas de utilizações diversas, é onde localiza-se o parque do Bacanga e a APA do Maracanã. Pôr fim, a zona rural é onde realizam-se as atividades primárias do município.

O zoneamento urbano é, certamente, o mais difundido instrumento urbanístico e, também, o mais criticado, tanto por sua eventual ineficácia, quanto por seus eventuais efeitos perversos (especulação imobiliária e segregação socioespacial).

Em 2014, o Instituto da Cidade, Pesquisa e Planejamento Urbano e Rural apresentou um conjunto de informações territoriais atualizadas, organizadas para apoiar decisões urbanísticas municipais, objetivando atualizar a Lei de Zoneamento em vigência. A fim de atender às necessidades atuais do município, foram desenvolvidos estudos geomorfológicos e demográficos, visando renovar dados e apresentar a real situação da cidade, como mostra a **Figura 7.20**.

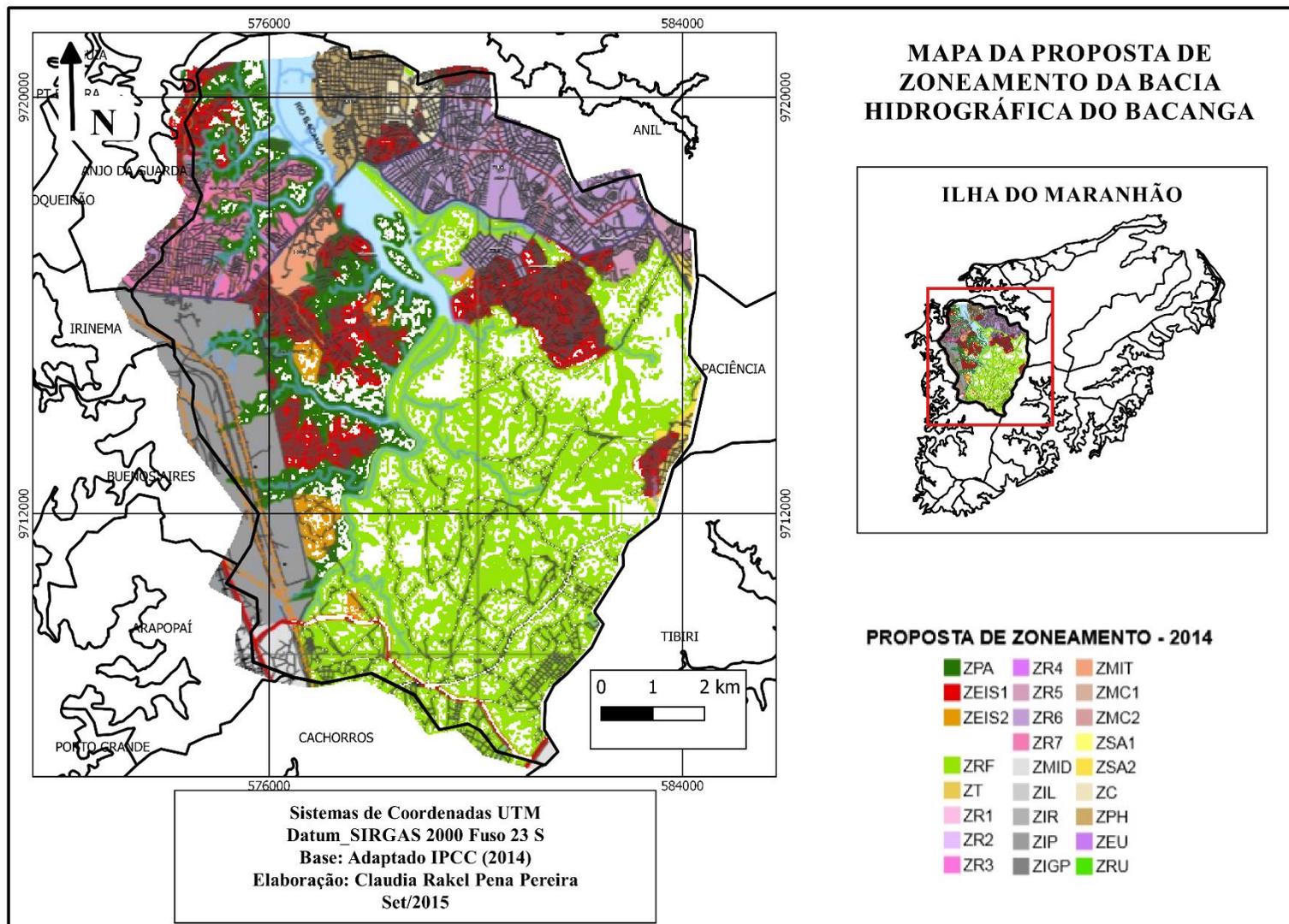


Figura 7.20. Mapa da Proposta do Zoneamento da bacia hidrográfica do rio Bacanga.

a área de estudo encontram-se nove zonas, entre elas:

- ✓ ZPH - Zona Preservação Histórica
- ✓ ZMIT - Zona Mista Institucional
- ✓ ZR7 - Zona Residencial 7
- ✓ ZR6 - Zona Residencial 6
- ✓ ZEIS 1- Zona Especial de Interesse Social 1
- ✓ ZPA - Zona de Preservação Ambiental
- ✓ ZRF - Zona de Reserva Florestal
- ✓ ZEIS 2 - Zona Especial de Interesse 2
- ✓ ZIP - Zona Industrial Portuária

Com essa nova proposta, foram incluídas a Zona Especial de Interesse Social Dois (ZEIS 2), que corresponde a terrenos não edificados, subutilizados ou não utilizados, necessários para implantação de programas habitacionais de interesse social, e a Zona Mista Institucional (ZMIT), que se refere as áreas destinadas ao desenvolvimento das atividades acadêmicas e administrativas das universidades públicas, a saber: Universidade Federal do Maranhão (UFMA) e Universidade Estadual do Maranhão (UEMA).

No entanto, há uma contradição no que se refere a implantação e regulamentação das zonas especiais de interesse social no município de São Luís, partes da ZEIS 1 e ZEIS 2 encontram-se em áreas alagáveis. De acordo com a Lei Federal nº 6.766 de 1979, que regula o parcelamento do solo urbano não poderão ser delimitadas como zonas especiais de interesse social: terrenos alagadiços ou sujeitos a inundações, salvo aqueles objetos de intervenção que assegure a drenagem e o escoamento das águas; e terrenos com declividade igual ou superior a 30% (trinta por cento), salvo aqueles objetos de intervenção que assegure a contenção das encostas, atestando a viabilidade da urbanização.

O estudo Leitura urbana – São Luís, uma revisão da lei de Zoneamento, Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo, realizado pelo Instituto da Cidade, em 2014, mapeou as áreas restritas à ocupação, levando em consideração áreas baixas sujeitas à inundação, áreas de preservação permanente de rios e córregos, porções territoriais onde podem predominar os solos instáveis e porções com declives iguais ou superiores a 30% (**Figura 7.21**). A ocupação urbana avançou para áreas sujeitas a processos que podem colocar a população em risco, como as comunidades que estão localizadas em áreas inundáveis.

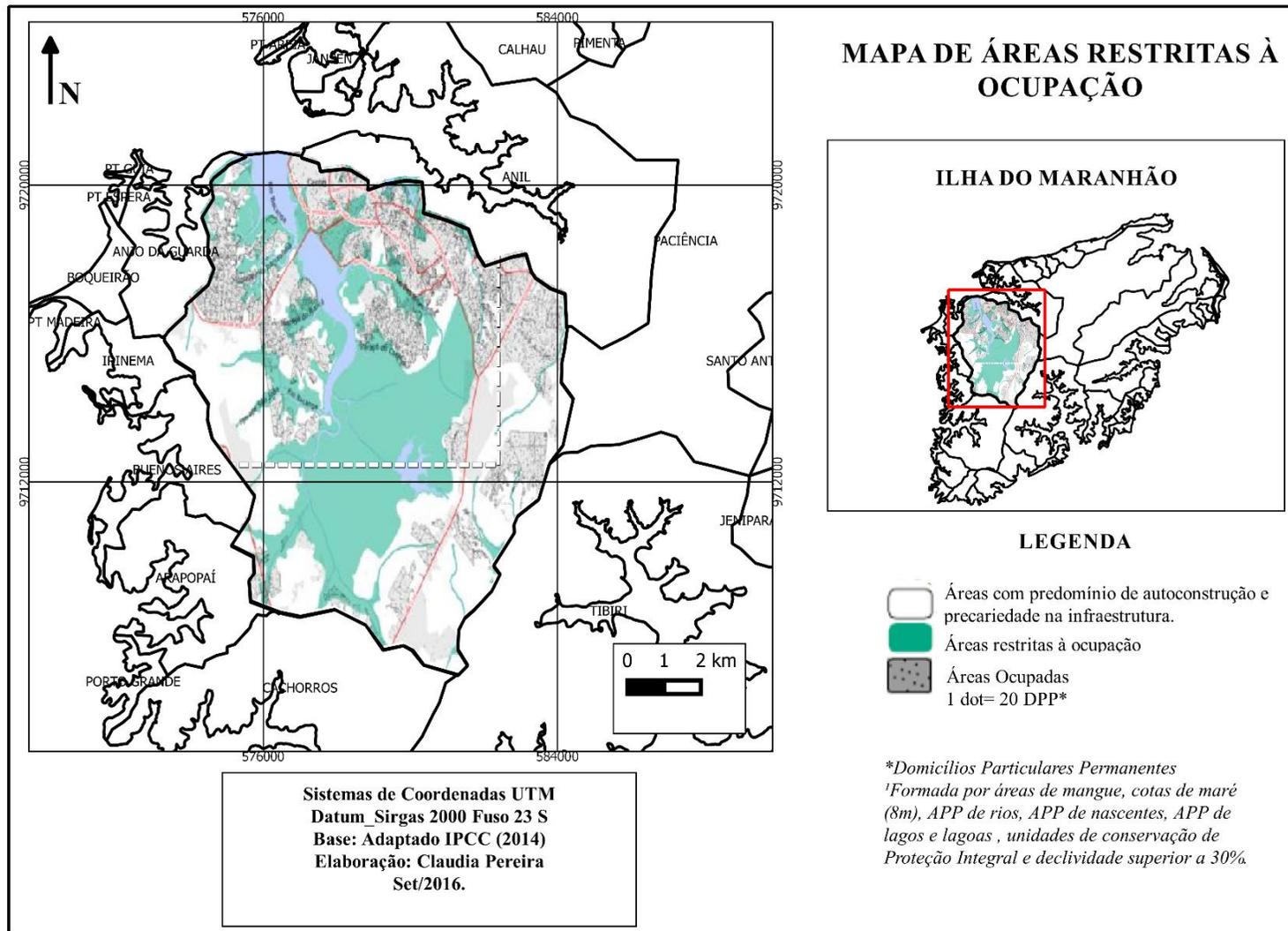


Figura 7.21. Mapa de áreas restritas à ocupação.

Na bacia hidrográfica do Bacanga, o território é plano, com predominância de declividades de até 30%, sendo áreas com baixa altimetria, normalmente enquadradas como sujeitas a inundação. Mesmo com a barragem do Bacanga a área sofre com frequentes inundações decorrentes dos problemas de drenagem das águas pluviais.

Propôs-se, ainda, mudanças das nomenclaturas o que se chamava zonas residenciais passaria a se chamar zonas mistas, pois não existem zonas residenciais exclusivas. O número de zonas residenciais é alto, com 11 tipos de usos diferenciados sem objetivos claramente definidos para a ocupação de cada uma, de acordo com suas características socioambientais ou vocação econômica.

O Zoneamento caracteriza-se como um instrumento de solução de conflitos de uso do solo, na disputa por espaço entre uma alocação “natural” das funções urbanas, mediada pela lógica do mercado, e uma ação de regulação locativa “artificial”, mediado pela lógica do poder público, que, em tese, representa o interesse coletivo, ou a função social da cidade e da propriedade urbana, como define a Constituição Federal e o Estatuto da Cidade. Os conflitos do Zoneamento são decorrentes da própria discussão da ordenação do território: a disputa entre os interesses privados (de produtores e consumidores) e os interesses públicos (efeitos agregados, sociais e ambientais).

- **Projetos existentes na bacia hidrográfica do rio Bacanga**

Na bacia do rio Bacanga, atualmente, encontram-se dois projetos em execução: Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), e o Programa de recuperação e qualidade ambiental e melhoria da qualidade de vida na bacia do rio Bacanga, lançados em 2011 e em andamento.

O Programa de Aceleração do Crescimento é um plano do governo federal que visa estimular o crescimento da economia brasileira, através do investimento em obras de infraestrutura (portos, rodovias, aeroportos, redes de esgoto, geração de energia, hidrovias, ferrovias, entre outros...). O capital utilizado é originário das seguintes fontes principais: recursos da União, capitais de investimento de empresas estatais e investimentos do Governo do Maranhão e da Prefeitura de São Luís e parcerias.

O PAC do Bacanga é um programa do governo federal, sob responsabilidade do Ministério das Cidades, que tem como unidade executora a Prefeitura de São Luís, que prioriza o abastecimento de água e esgoto da área Itaqui - Bacanga (margem esquerda da bacia). O foco do projeto é a complementação da rede de abastecimento de água, onde

estão sendo implantadas redes coletoras e galerias de águas pluviais, pavimentação de vias, prevenção de áreas de risco, urbanização e infraestrutura social.

Já o Programa de Recuperação e Qualidade Ambiental e Melhoria da Qualidade de Vida da bacia do rio Bacanga, tem como premissa o desenvolvimento sustentável, promovido pela Prefeitura Municipal de São Luís e pelo Banco Mundial (BIRD). O programa é parte integrante do Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico - PMISB de São Luís. Nele são apresentadas as diretrizes para o planejamento das atividades condizentes com os serviços de saneamento do município, conforme estabelecido pela Lei Federal 11.445/2007: abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e o manejo de resíduos, assim como a drenagem e manejo das águas pluviais.

Dentre os quatro componentes do saneamento básico, os serviços inerentes a drenagem e resíduos sólidos são os que apresentam uma maior lacuna. Dessa forma, foram estabelecidos planos de metas para serviços de drenagem urbana e manejo de águas pluviais, onde uma das metas desse plano é a redução da ocorrência de inundação. Contudo, para os serviços de drenagem de águas pluviais há uma deficiência de estudos, o que leva a maior demanda de levantamentos de dados para um diagnóstico mais acurado.

Estabeleceram-se em planejamento, melhorias e ampliação do sistema de drenagem urbana, cuja ações inerentes à drenagem são: elaboração de Plano Diretor de Drenagem Urbana; Plano de Gestão de Manutenção e Operação; recuperação das comportas da barragem do rio Bacanga; elaboração de banco de dados integrado dos sistemas de micro e macrodrenagem, dos pontos críticos de alagamentos, e registro de eventos de precipitações e inundações; elaboração de projetos básicos e executivos incluindo estudos de impacto ambiental; conclusão de obras de drenagem cujos projetos já estão finalizados; execução de pavimentação e estrutura de microdrenagem.

Tais ações vislumbram a redução da impermeabilização do solo, estabelecer critérios para armazenamento de águas em lugar da sua evacuação rápida, implementar o monitoramento hidrológico dos mananciais urbanos. Além das melhorias e ampliação do sistema de drenagem urbana, também tem destaque a identificação e controle das interconexões de redes coletoras de esgotos com rede pluvial.

O Programa possui, ainda, ações emergenciais e contingências. As situações emergenciais decorrem, em geral, de acidentes nos sistemas ou ainda de situações de vandalismo, situações estas que exigem ações corretivas de rápido encaminhamento. Já

as situações de contingência significam eventualidades que podem ser minimizadas mediante um planejamento preventivo de ações, em particular aquelas vinculadas à manutenção constante e proteção de equipamentos.

Foi executado o plano de reassentamento involuntário na margem esquerda do rio Bacanga. As comunidades que fazem parte desse plano são: Sá Viana, Vila Embratel, Jambeiro e Piancó, consideradas áreas de risco de inundação/alagamento. 108 famílias foram realocadas para um conjunto habitacional com 437 unidades, localizado no bairro Piancó, que fica na Zona Especial de Interesse social 2, realizado pelo Programa Minha Casa Minha Vida, do governo federal. De acordo com a prefeitura, foram discutidas a recuperação da barragem do Bacanga, além da recuperação das treliças da estrutura metálica que dá sustentação à adutora Italuís, em sequência foi feito um plano de contingência de risco caso haja rompimento da adutora no local.

A **figura 7.22** apresenta as obras que foram ou estão sendo realizadas na bacia hidrográfica do Bacanga pelo PAC e PMISB através dos pontos em vermelho, já os pontos em azul são os pontos cadastrados pela Defesa Civil que sofrem com inundações. Nota-se, no mapa, que os pontos em vermelho estão em áreas de aglomerações subnormais e suscetíveis as inundações. O Programa de aceleração do crescimento está realizando obras de:

- urbanização no bairro Salina do Sacavém;
- mitigação do risco, com obras de drenagem nos bairros Jambeiro 1 e 2, Sá Viana, Piancó 1 e 2, UFMA 1 e 2 e Travessa Alberto Sales;
- saneamento, com ampliação da SES e ampliação da ETE do Bacanga, rede coletora e interceptores.

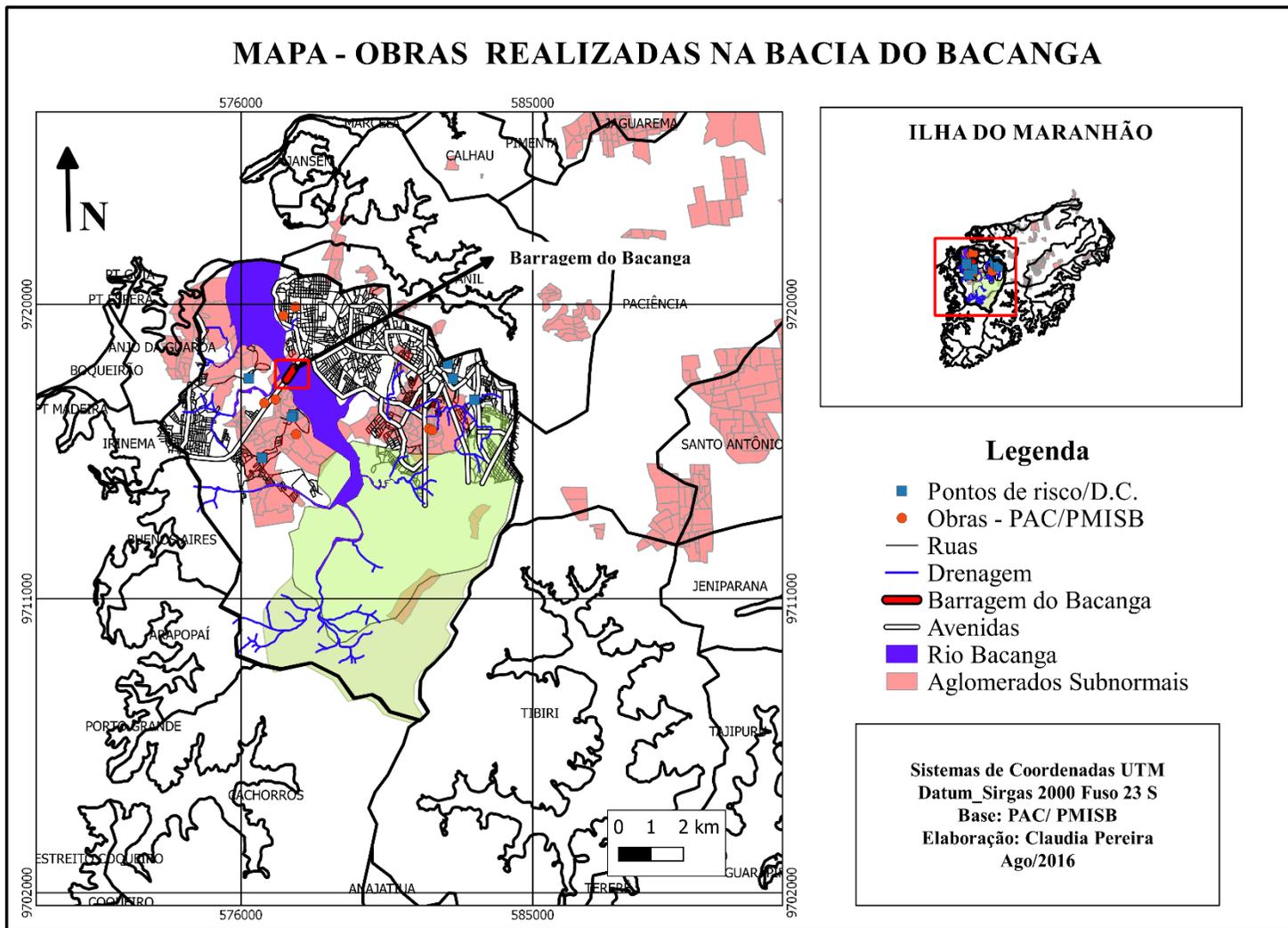


Figura 7.22. Mapa – Obras realizadas na bacia hidrográfica do Bacanga.

O Programa de Recuperação e Qualidade Ambiental e Melhoria da Qualidade de Vida da bacia do rio Bacanga realizou obras de esgotamento sanitário da região Itaquí - Bacanga foram construídos 71,5 km de rede de esgoto com 31,1 mil ligações condominiais e 802 módulos sanitários⁷; canalização do córrego do Salinas do Sacavém e do rio das Bicas, com 2 km de extensão, que irá atender as ruas identificadas como áreas de risco de inundação pela Defesa Civil. Segundo a prefeitura, essas obras contribuíram com a redução das áreas de risco: sessenta e seis pontos deixaram a classificação de risco, tanto de deslizamento quanto de inundação.

7.4 Breve histórico de desastres socioambientais no município de São Luís - MA

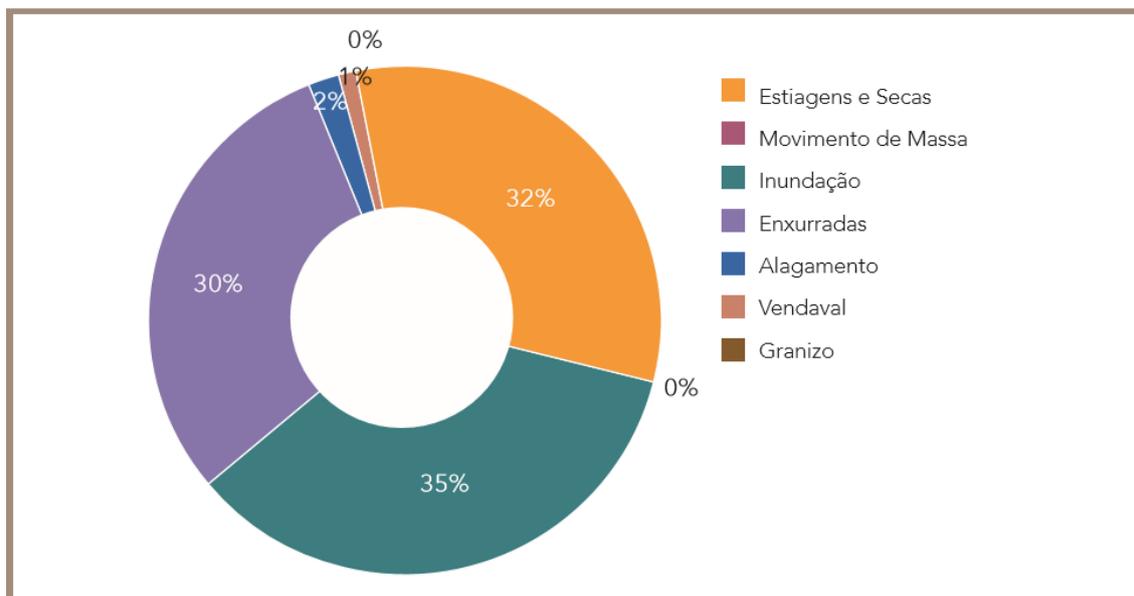
As inundações, os deslizamentos de terra e secas são os desastres naturais de maior frequência no Brasil. Para a Defesa Civil (1998), esses são desastres de evolução crônica e gradual, com características e periodicidade diferentes, em cada região brasileira. Segundo o Anuário brasileiro de desastres naturais (CENAD, 2014), em 2013, foram oficialmente reportados 493 desastres naturais, os quais causaram 183 óbitos e afetaram 1.557.233 pessoas. No que diz respeito ao número de afetados por inundações, deslizamentos de terra e secas, foram 1.389.454 pessoas afetadas por desastres de inundações; 233.356 afetados por deslizamentos de terra e; 11.953.305 afetadas pelos desastres relacionados a seca e estiagem.

No Maranhão, ao analisar os desastres naturais que afetam o Estado entre os anos de 1991 a 2012, houve a ocorrência dos seguintes eventos: estiagens e secas, alagamentos, enxurradas, inundações, incêndios florestais, granizos, movimentos de massa e vendavais. As inundações e enxurradas estão entre os desastres naturais mais registrados no Estado, entre 1991 e 2012, juntos, correspondem a 334 registros. Em seguida estão os desastres relacionados à estiagem e seca, com total de 167 registros, como mostra o **gráfico 7.5** (ATLAS BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 2013).

8

⁸ Módulos sanitários: compreende o conjunto de melhorias sanitárias, formado por no mínimo, abrigo com vaso sanitário e destino adequado dos dejetos (tanque séptico e sumidouro ou ligação à rede de esgoto).

Gráfico 7.5. Percentual dos desastres naturais mais recorrentes do Estado do Maranhão, no período de 1991 a 2012.



Fonte: Brasil, (2013).

Durante o período de 1991 a 2012, em todo o Maranhão, foram registrados oficialmente 167 desastres naturais relacionados a seca e estiagem, 180 relacionados a inundações, 154 registros de enxurradas, 8 de alagamentos, 03 registros de incêndios florestais, 02 de movimento de massa, 02 granizos e 02 de vendavais. Durante os anos de análise constatou-se que 2,078.568 pessoas foram afetadas por desastres naturais no Maranhão, **gráfico 7.6** (ATLAS BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 2013).

Gráfico 7.6. Número de afetados por desastres naturais no Maranhão.



Fonte: ATLAS BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 2013.

Em São Luís tem-se registro oficial de desastre natural por enxurrada, ocorrido em 2009. Segundo dados da Superintendência Municipal, somente na capital foram registradas 13 áreas de risco de deslizamento e desmoronamento de barreiras, 274 famílias desabrigadas, 60 imóveis destruídos ou interditados. De acordo com a Defesa Civil do Maranhão (2014), foram 02 mortos; 614 desalojados; 268 famílias desabrigadas, no total de 901 pessoas afetadas. Conforme o Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, a capital maranhense recebeu em 2009, uma precipitação 767, 1 milímetros de chuva no mês de abril, distribuídos em 27 dias, sendo que a mesma, para este período, é, em média 471 milímetros.

Os bairros mais atingidos e mais prejudicados na capita foram Salinas do Sacavém, Alto da Esperança, Vila Embratel, Pão de Açúcar, Túnel do Sacavém, Goiabal, Vila Maranhão, Vila Isabel Cafeteira, Vila Iobão, Vila Militar, Centro Histórico e São Francisco, como mostra a **figura 7. 23** (Defesa Civil do Maranhão, 2014).

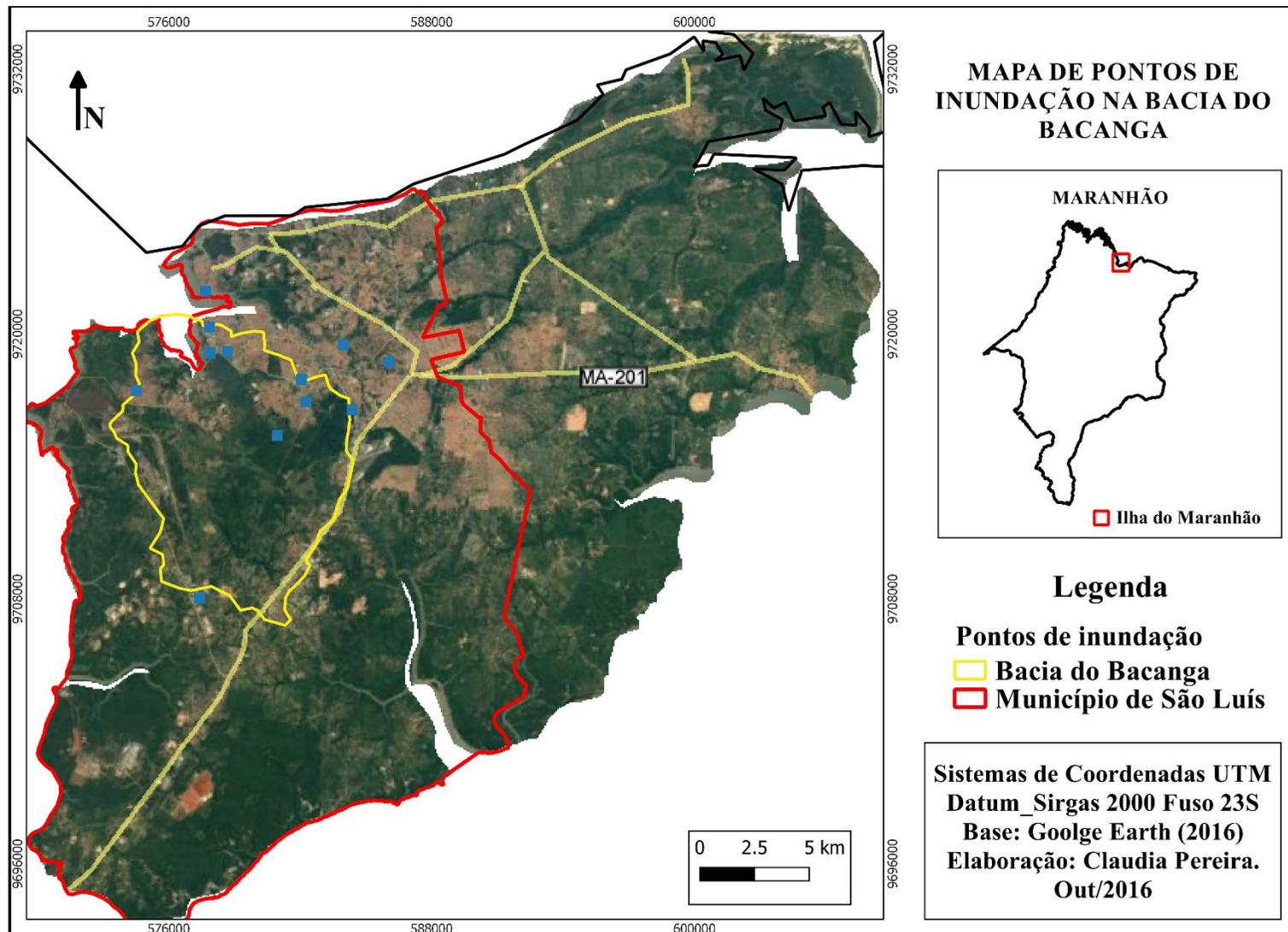


Figura 7.23. Pontos de Inundação do Município de São Luís.

Os registros no estado do Maranhão sugerem que as inundações passaram a ser registradas oficialmente a partir da década de 2000. Os demais anos (entre 1991 e 2012) com ocorrência apresentam números inferiores de eventos. Portanto, não há uma frequência anual de registros de desastres no estado. No Brasil, o registro oficial de um desastre poderia ocorrer pela emissão de 2 documentos distintos, não obrigatoriamente dependentes: Formulário de Informações sobre Desastres (FIDE) ou Decreto municipal ou estadual. Contudo, o Decreto municipal ou estadual de calamidade pública decorrente de um desastre deve ser submetido ao reconhecimento federal (ATLAS BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 2013).

Os principais fatos relacionados às inundações na cidade de São Luís constam de relatos, mais frequentes, a partir da década de 1970. Serão expostos alguns destes problemas de forma associada ao crescimento urbano do município.

A década de 60 ficou marcada por investimentos que foram determinantes da mancha urbana, tais como ampliação do sistema viário, a consolidação dos bairros em áreas já urbanizadas, implantação de conjuntos habitacionais pela COHAB e a intensificação das migrações rurais caracterizados pelo processo de ocupação por “invasão” (COELHO, 2011). Na década de 70, destaca-se a construção da Barragem do Bacanga e das pontes Governador José Sarney e Bandeira Tribuzi.

As inundações em São Luís não estão relacionadas somente com o crescimento urbano, mais também por falta de infraestrutura de saneamento, como mostram alguns relatos, extraídos dos jornais locais, apresentados a seguir:

- 1976 - Fortes chuvas alagam a Praça do Mercado Central se estendendo até o Canal do Portinho (Jornal O Estado, nº 195);
- 1977 - O III Conjunto da COHAB sofre com as intensas chuvas no mês de abril onde o lamaçal e grandes valas tomaram conta das vias, impossibilitando a passagem de veículos (Jornal O Estado, nº 1234);
- 1979 - O período de chuva ocasiona inundações ao longo do anel Viário e no Mercado Central, provocando o surgimento de enormes buracos (Jornal O Estado, nº 2254);

A criação do Distrito Industrial, em 1980; a implantação do Consórcio de Alumínio do Maranhão - ALUMAR (consórcio formado pelas empresas Alcoa, Rio Tinto Alcan e BHP Billiton); e da Companhia Vale do Rio Doce, em 1984 (hoje VALE), iniciou um processo de reconstrução industrial e comercial no contexto maranhense, com a modernização das atividades de serviços e comércio da capital (LOPES, 2008). Na década de 90, foram delimitadas e formalizadas, áreas de interesse ambiental, de acordo com o Plano Diretor de 1990. A expansão urbana sem infraestrutura adequada agravou os problemas de inundações na cidade, como mostram os relatos abaixo:

- 1982 – Uma comissão de moradores da Rua Bom Milagre, do Bairro Monte Castelo, faz manifesto através de abaixo assinado com o apelo para solucionar problemas de esgoto e drenagem de ruas do bairro que tiveram algumas residências alagadas, provocadas pelas fortes chuvas (Jornal O Estado, nº 3291);
- 1993 – Áreas do Bairro João Paulo são ameaçadas de desabamento devido às fortes chuvas no mês de março (Jornal O Imparcial, nº 10.691).

Atualmente, segundo Lopes (2008), a cidade está se expandindo em três setores: o primeiro, em direção aos municípios de São José de Ribamar e Paço do Lumiar, áreas consideradas adequadas a urbanização; segundo, em direção a oeste, em direção ao Distrito Industrial, ocupando áreas de ecossistemas flúvio-marinha frágil, e, o terceiro ocorre em direção ao continente, ocupando áreas lindeiras à BR - 135. O crescimento desordenado, a ineficiência do processo de planejamento urbano, o déficit habitacional, e a falta de infraestrutura urbana ainda contribuem com desastres socioambientais que acontecem em São Luís, como mostram os relatos de jornais abaixo:

- 2002- Chuvas castigam moradores que residem próximo à Lagoa da Janssem. Dentre os problemas ocorridos houve a invasão da água no estacionamento de um condomínio e o arraste de resíduos sólidos ao longo da avenida (Jornal Pequeno, nº 20352);
- 2003- Novamente, o estacionamento do Tropical Shopping fica completamente tomado pelas águas decorrentes da chuva, levando os lojistas a reclamarem dos prejuízos que sofrem durante os períodos chuvosos. Neste mesmo período, as chuvas provocaram o desmoronamento de muros e algumas casas nos bairros da cidade (Jornal Pequeno, nº 20706 e 20741);

- 2009- São Luís registra abril mais chuvoso dos últimos 24 anos. Segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet), a capital maranhense recebeu 707,6 milímetros de chuva no quarto mês do ano, sendo que a média para o período é de 472,6 milímetros. Nos registros do Inmet, o maior volume de chuvas em abril para São Luís havia sido de 801,9 milímetros, em 1985 (jornalpequeno.com.br/2009/05/03).

O crescimento urbano da cidade de São Luís está atrelado a diversos problemas que ocasionam desastres socioambientais, como inundações, erosões em áreas de encosta, além de proliferação de doenças de veiculação hídrica.

7.5 Aplicação do IRI à bacia hidrográfica do rio Bacanga

- **Suscetibilidade à inundação**

As características da geologia, geomorfologia e a declividade das vertentes condicionam a forma como se estruturou a ocupação rural e urbana das diversas paisagens de São Luís. A ocupação privilegiou, em um primeiro momento, os terrenos planos e, principalmente, não sujeitos às inundações. Com o rápido crescimento urbano, no qual muitas vertentes e canais fluviais foram modificados pelo homem de modo desordenado, desconsiderando a geomorfologia fluvial e seus processos naturais, acabaram sendo ocupadas áreas de risco.

Segundo Shutzer (2012), as planícies funcionam como uma área receptora e armazenadora de água e, na ocorrência de chuvas intensas, armazenam o excesso de água e retardam a chegada destas no sistema de drenagem, o que contribui para redução da probabilidade de ocorrer enchentes locais. Eventualmente, o processo oposto também pode ocorrer, ou seja, rios e córregos inundam e encontram nas planícies o local de armazenamento temporário adequado, antes de estas águas seguirem para áreas a jusante e poderem gerar alagamentos maiores nesses locais, por transferência de efeitos. Contudo, com a urbanização, esses processos naturais vêm sendo interrompidos e as áreas de armazenagem estão sendo ocupadas e se transformando em áreas apenas de passagem de vazões. Ações como a remoção da vegetação, que leva ao assoreamento de canais e rios, e a impermeabilização do solo reduzem a capacidade de armazenamento, aumentam a velocidade e reduzem o tempo da chegada das águas nos canais de drenagem e, portanto, influenciam no agravamento das inundações.

De acordo com a lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, que dispõe sobre o uso e parcelamento do solo urbano, não é permitido o parcelamento do solo em áreas: “de terrenos alagadiços e sujeitos a inundações, antes de tomadas as providências para assegurar o escoamento das águas, e em terrenos com declividades igual ou superior a 30% (trinta por cento), salvo se atendidas as exigências específicas das autoridades competentes”, entre outros.

Menos de 1% da área do município de São Luís possui declividades iguais ou superiores a 30%, consideradas restritas à ocupação, do ponto de vista da lei mencionada acima. Identificaram-se, porém, na bacia do rio Bacanga, áreas que não deveriam ser urbanizadas devido a possíveis inundações, pois 63,08 % da bacia têm um relevo plano, com altitudes de até 3 metros, nas planícies flúvio-marinhas, e de 4 a 7 metros, nas planícies fluviais, o que constitui uma condição propícia às inundações.

A ausência de cobertura vegetal associada a determinadas características de uma classe de solos, declividade, altimetria e a intensidade das chuvas, conduzirá à maior velocidade de escoamento, menor quantidade de água armazenada no solo e resultará em inundações expressivas.

A ilha de São Luís vem experimentando nos últimos anos um processo de urbanização acelerado, e em alguns casos, desordenado. Em consequência, a vegetação está sendo substituída por telhados e ruas asfaltadas, mananciais de superfície começam a ter suas margens desmatadas, as áreas de reserva florestal estão sendo invadidas, como não poderia deixar de ser, com similitude ao que ocorre em outras cidades em nível nacional. Na bacia do rio Bacanga, mesmo com as unidades de conservação, APA do Maracanã e o Parque Estadual do Bacanga, aproximadamente 46 % da área total é composta de área antropizada (**Figura 7.9**). Esse número pode crescer pois a degradação das unidades de conservação vem se agravando constantemente, não importando o fato de estarem protegidas por lei.

Em relação aos aspectos pedológicos, os neossolos e os gleissolos são solos arenosos que retém pouca água, pois apresentam alta porosidade e permeabilidade, facilitando o escoamento da água. Enquanto, os argissolos são mais suscetíveis à inundação, pois possuem microporos, são impermeáveis e retém mais água (**Figura 7.6**).

O processo, ainda, é impulsionado pela localização, da população de baixa renda em áreas próximas aos corpos hídricos com baixa altimetria e declividade. Cerca de 63,08% da bacia do Bacanga é plana, ou seja, nessas áreas a declividade não ultrapassam 5,7% (**Figura 7.5**). Quanto a altimetria, os intervalos adotados foram atribuídos a partir da cota de 2 m do reservatório da barragem do Bacanga, o que permitiu a ocupação de áreas marginais ao reservatório que eram alagadas durante as premares.

Para cumprir a finalidade do presente estudo, e considerando a discussão pregressa, constrói-se um mapa específico de susceptibilidade à inundação, definido por características do meio físico escolhidas dentre aquelas representativas de condições favoráveis às inundações (altimetria, declividade, pedologia e vegetação), com finalidade de orientar a ocupação e desenvolvimento urbano da bacia e identificar áreas hoje já ocupadas e suscetíveis sob o ponto de vista de risco de inundação.

Com objetivo de estabelecer quais são as áreas suscetíveis à inundação, na bacia específica de estudo, portanto, foi necessário resgatar os dados relativos a estas variáveis, propor escalas de variação normalizadas e combiná-las em uma equação.

Primeiramente, foi necessário elaborar a carta de declividade referente à área de estudo (**Figura 7.24**). A carta de declividade é o ponto de partida, uma vez que inundações se materializam (e são mais graves) nos terrenos mais planos. Terrenos íngremes (mesmo que juntem outras características propícias à inundações) não são considerados susceptíveis – as grandes declividades favorecem os escoamentos e são, muitas vezes, indutores de alagamento nas áreas planas adjacentes. A partir dessa primeira atividade, juntamente com a comparação e compilação de dados altimétricos (**Figura 7.25**), vegetação (**Figura 7.26**) e tipo de solo (**Figura 7.27**), buscou-se classificar as áreas mais susceptíveis à inundações, ponderando estas variáveis, matematicamente, através da construção de um índice especializado.

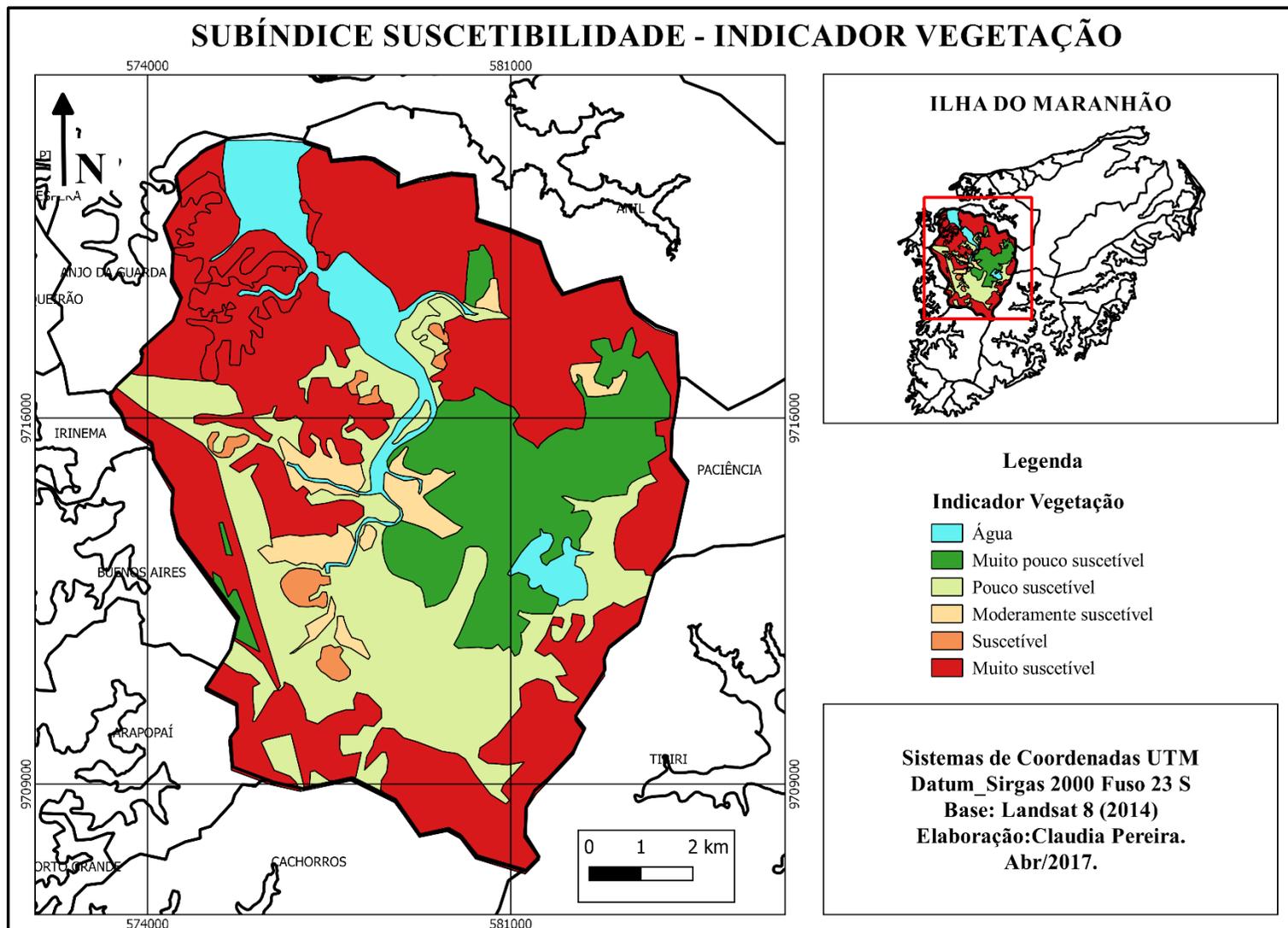


Figura 7.24. Subíndice Suscetibilidade – Indicador Vegetação.

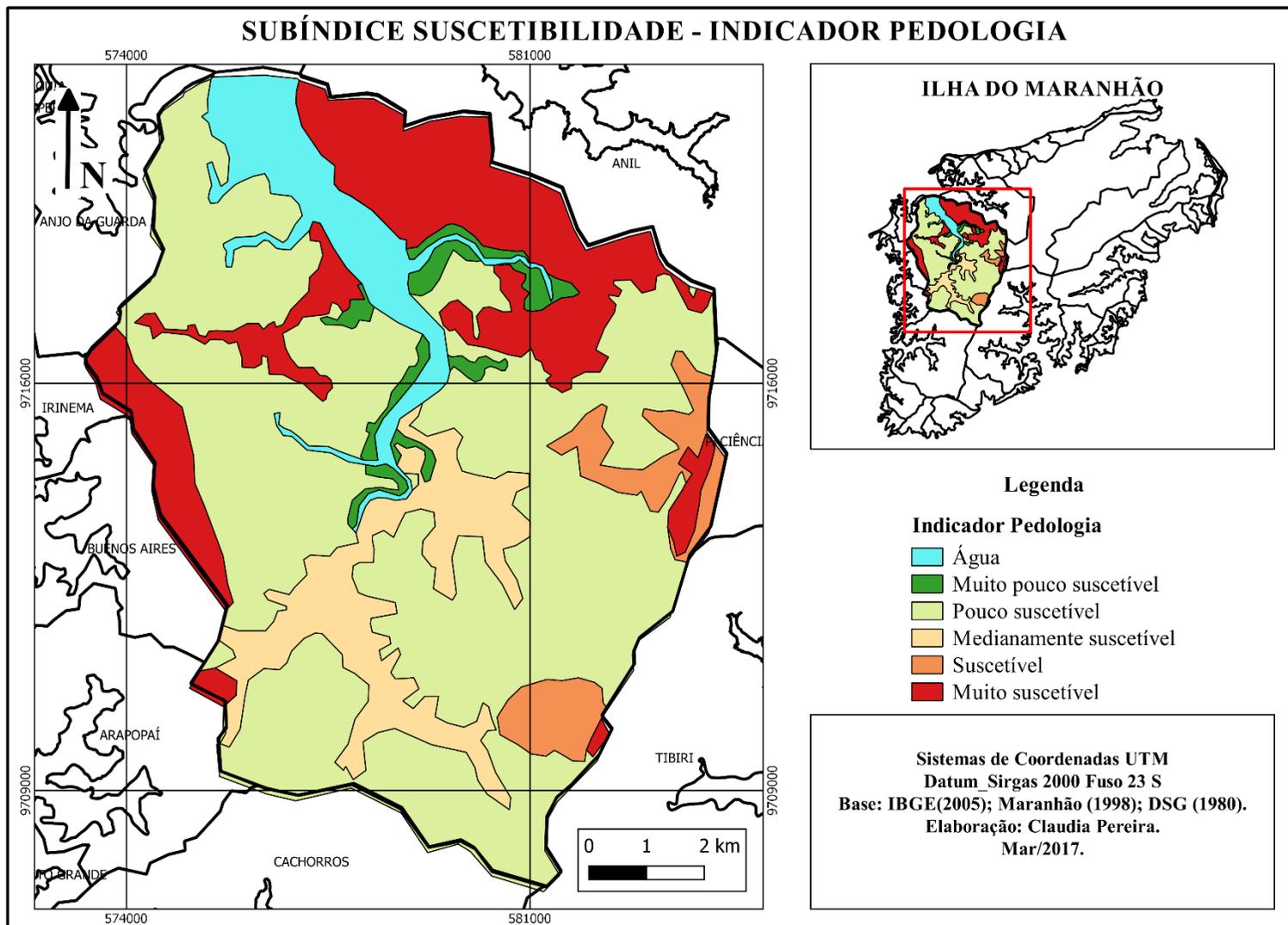


Figura 7.25. Subíndice Suscetibilidade – Indicador Pedologia.

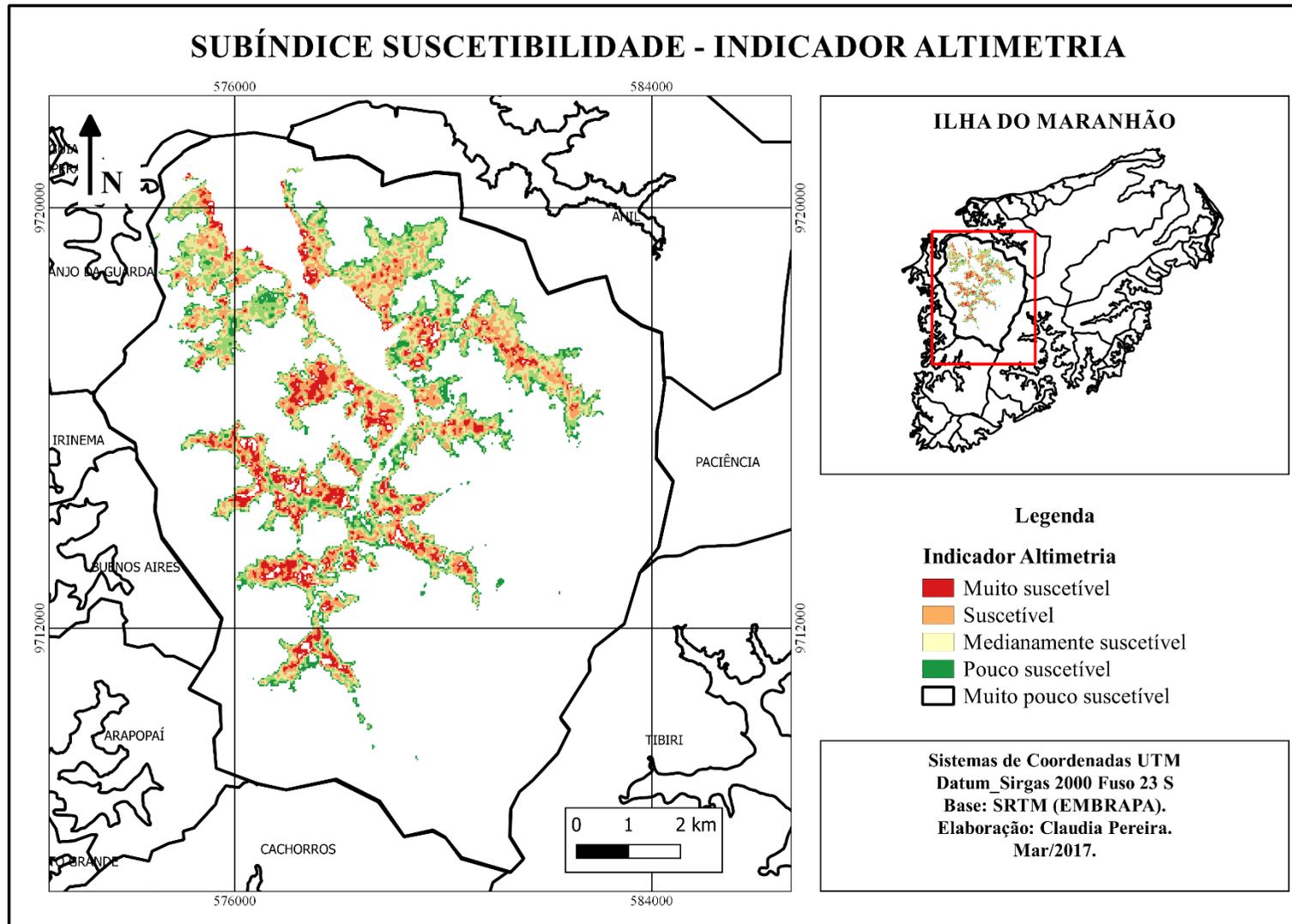


Figura 7.26. Subíndice Suscetibilidade – Indicador Altimetria.

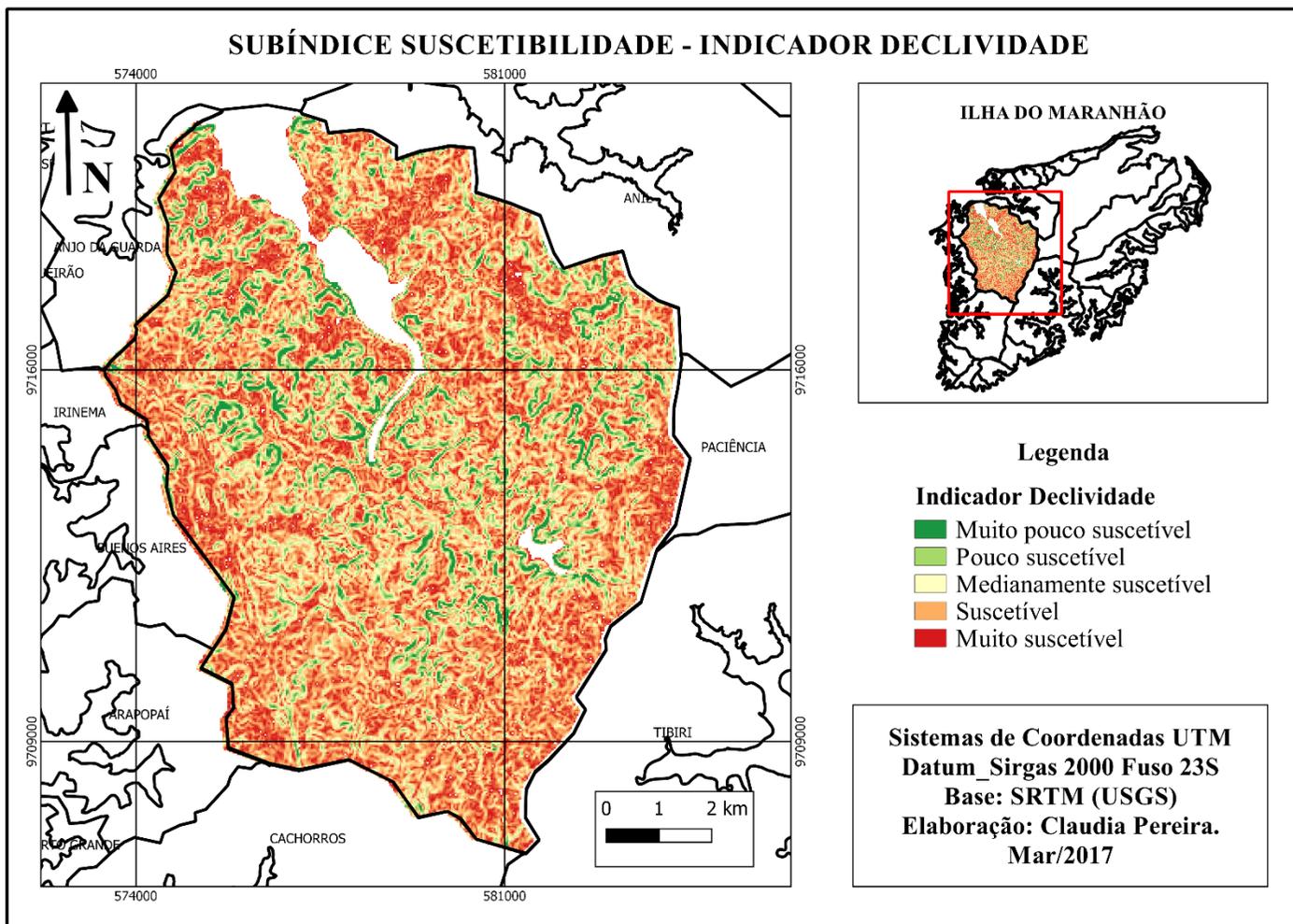


Figura 7.27. Subíndice Suscetibilidade – Indicador Declividade.

Este índice proposto para áreas suscetíveis a inundação tem a finalidade de pré-identificar os locais com maiores graus de suscetibilidade a inundação, com o objetivo principal de auxiliar o planejamento urbano e a gestão de riscos de desastres naturais. Não se trata de um mapeamento específico ou rigoroso de inundações, pois não se modela deterministicamente o processo. Portanto, não se tem aqui a pretensão de detalhar precisamente o fenômeno – não é esse o papel dos índices. O objetivo é disponibilizar uma ferramenta simples, capaz de indicar, de forma rápida e consistente, quais são as áreas que demandam mais atenção no planejamento urbano e que requerem estudos mais detalhados para receber um projeto.

A formulação apresentada por este índice é dada pelo cálculo da média ponderada de indicadores específicos e possuem relação direta e/ou indireta com as áreas suscetíveis a inundação, a partir da seguinte equação (7.1), que reproduz a primeira parcela da equação 6.1, já com os pesos atribuídos, conforme interpretação desta dissertação:

$$ASI = DEC * 0,50 + ALT * 0,30 + PED * 0,15 + VEG * 0,10 \quad \text{Eq. (7.1)}$$

Sendo:

ASI = Áreas Suscetíveis à inundação

DEC = Indicador de declividade

ALT = Indicador de altimetria

PED = Indicador de pedologia

VEG = Indicador de vegetação

Após, sistematização dos mapas de declividade, altimetria, vegetação e pedologia, realizou-se o cruzamento das informações a fim de analisar os locais MAIS suscetíveis à inundação. Para analisar os dados do cruzamento espacial, utilizou-se o setor censitário como referência. Além disso, subdividiu-se a escala de notas de 1 a 5 em cinco graus de suscetibilidade, conforme apresentado na **Tabela 7.7**. Foram definidas faixas de notas de iguais valores para cada grau de suscetibilidade, guardando relação com as notas originais, de modo que quanto maior a nota, maior a suscetibilidade. A Figura 7.28 ilustra esse resultado.

Tabela 7.7. Notas das classes de suscetibilidade.

Nota	Descrição
1 - 1,8	Muito pouco suscetível
1,8 - 2,6	Pouco suscetível
2,6 - 3,4	Medianamente suscetível
3,4 - 4,2	Suscetível
4,2 - 5	Muito suscetível

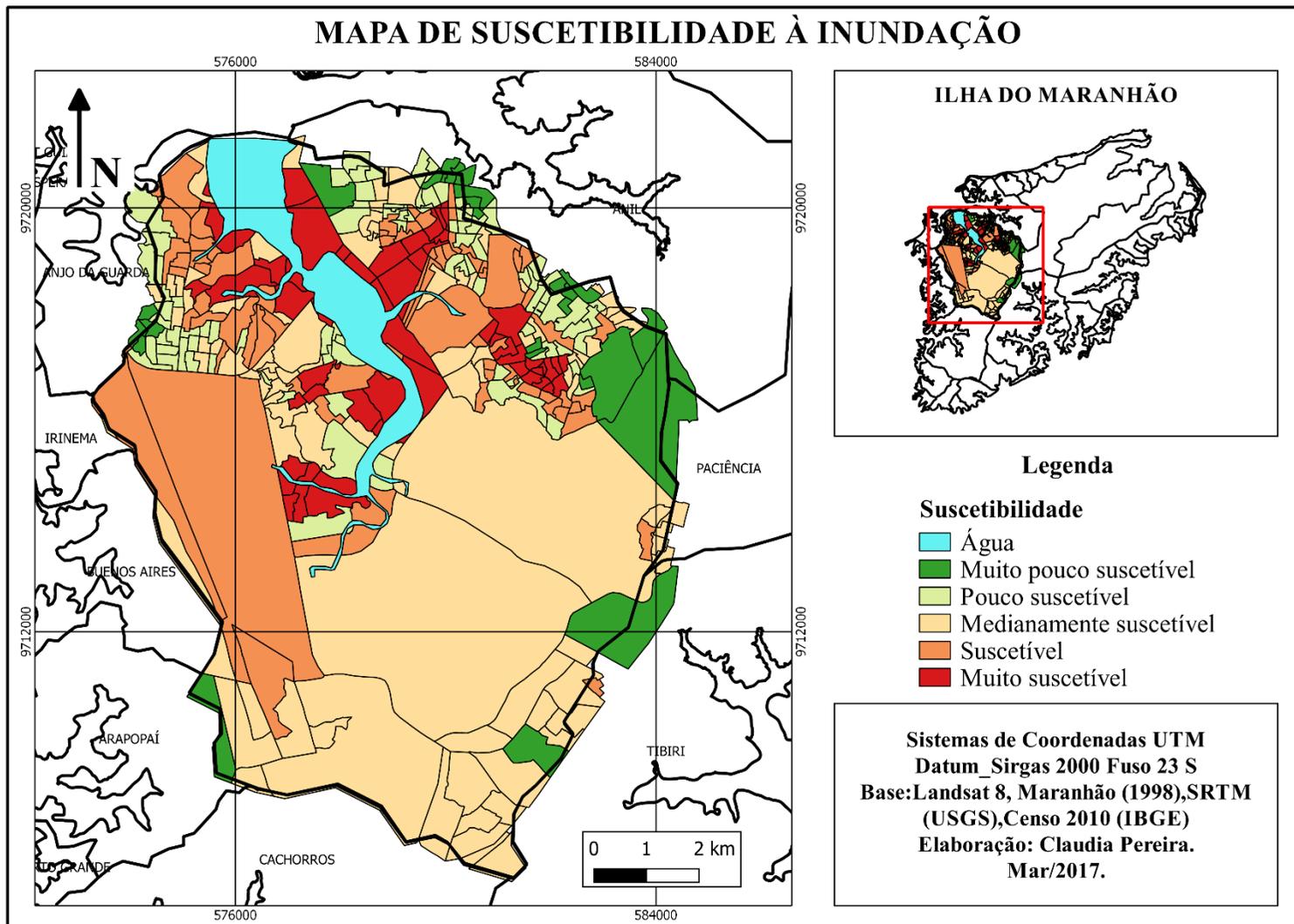


Figura 7.28. Mapa de áreas suscetíveis à inundação da bacia hidrográfica do Bacanga.

- **Vulnerabilidade social à inundação**

De acordo com Monteiro (2011), a vulnerabilidade social pressupõe um conjunto de características, de recursos materiais ou simbólicos e de habilidades inerentes a indivíduos ou grupos, que podem ser insuficientes ou inadequados para o aproveitamento das oportunidades disponíveis na sociedade. Dessa forma, essa relação irá determinar maior ou menor grau de deterioração de qualidade de vida dos sujeitos.

Cerca de 80% de toda a população brasileira reside em ambientes urbanos. Os problemas advindos desse tipo de ocupação aumentam a cada dia. O crescimento urbano desordenado, o descumprimento do zoneamento efetuado pelo plano diretor, a falta de fiscalização dos órgãos competentes que se omitem diante da ocupação de áreas irregulares, pode colocar em risco as populações mais vulneráveis socialmente.

Uma das principais características que marcam o estado de vulnerabilidade social são as condições precárias de moradia e saneamento, além dos meios de subsistências inexistentes e a ausência de um ambiente familiar. De acordo com o Censo Demográfico de 2010, houve um crescimento expressivo das áreas classificadas como aglomerados subnormais na cidade de São Luís. Em dez anos o número de aglomerados subnormais quase triplicou. Em 2000, apenas oito áreas eram consideradas como aglomerados subnormais, hoje são 23.

No indicador do IBGE sobre analfabetismo, o Maranhão obteve o 4º pior resultado do país, com 19,1% de pessoas acima de 15 anos, que não sabem ler nem escrever, fica atrás somente do estado de Alagoas com 24,6 % de analfabetos, seguido pelo Piauí, com 23,4% e Paraíba, com 21,6%. Os dados foram obtidos através do Censo Demográfico de 2010, sobre educação. Dos 312.063 habitantes da bacia hidrográfica do rio Bacanga, 5% são analfabetos, como mostra a **figura 7.29**.

As faixas etárias consideradas mais vulneráveis são menores de 15 anos e maiores de 60 anos, as informações foram obtidas através dos dados do IBGE. A **figura 7.30** mostra a distribuição da população da bacia do Bacanga por faixa etária, nota-se que 47,56 % da população está entre 20 a 50 anos de idade, 31,68 % da população está entre < 15 e > 65 anos de idade e 20,75 % da população encontra-se entre 15 -20 / 50 -65 anos

Para o cálculo do indicador Renda per capita foram utilizadas informações do rendimento nominal mensal (em R\$) de todos os responsáveis de domicílio (soma total), para cada setor censitário contido na base de dados do IBGE, referentes a bacia do Bacanga, conforme apresentado na **figura 7.31**. Dos 78.154 domicílios pesquisados, 5 % estão sem rendimento, 87,94 % apresentam renda de até 2 salários mínimos, 5,67 %

apresentam renda de 2 a 5 salários mínimos, 1,09 % possuem renda de 5 a 10 salários mínimos e apenas 0,30 % possuem renda de mais de 10 salários mínimos.

De acordo com os dados do Censo Demográfico 2010, realizado pelo IBGE, 232 setores censitários são considerados aglomerados subnormais em São Luís, destes, 52,58% localizam-se na bacia do Bacanga. Os bairros classificados como aglomerados subnormais na área de estudo são: Coroado, Coroadinho, Sá Viana, Vila Embratel, Gapara, Gancharia, Vila São Luís, Mauro Fecury I e II, Vila Nova, Alto da Esperança, Tamancão, Jambeiro, Paraíso e Vila Conceição.

As **tabelas 7.8.1 e 7.8.2** apresentam o número de setores censitários de aglomerados subnormais do município de São Luís por características topográficas e localização predominante do sítio urbano.

Tabela 7.8.1. Número de setores censitários de aglomerados subnormais por características topográficas

Características Topográficas	Números de Setores Censitários de aglomerados subnormais
Plano	136
Aclive/ Declive Moderado	90
Aclive/ Declive Acentuado	6

Tabela 7.8.2. Número de setores censitários de aglomerados subnormais por localização predominante do sítio urbano

Características predominantes do sítio urbano	Números de Setores Censitários de aglomerados subnormais
Margem de córregos, rios, lagos /lagoas	1
Sobre os rios, córregos, lagos ou mar (palafitas)	1
Praia/dunas	3
Manguezal	5
Aterros sanitários, lixões e outras áreas contaminadas	1

Nota-se que, 58,62% dos setores censitários considerados como aglomerados subnormais estão em áreas planas que associadas as baixas altimetrias e problemas de infraestrutura urbana tornam-se mais vulneráveis à inundação, ou seja, encontram-se em área de risco. As informações desse indicador foram obtidas através do Censo Demográfico de 2010 (IBGE), que informa quais são os setores com aglomerados subnormais, como mostra a **figura 7.32**.

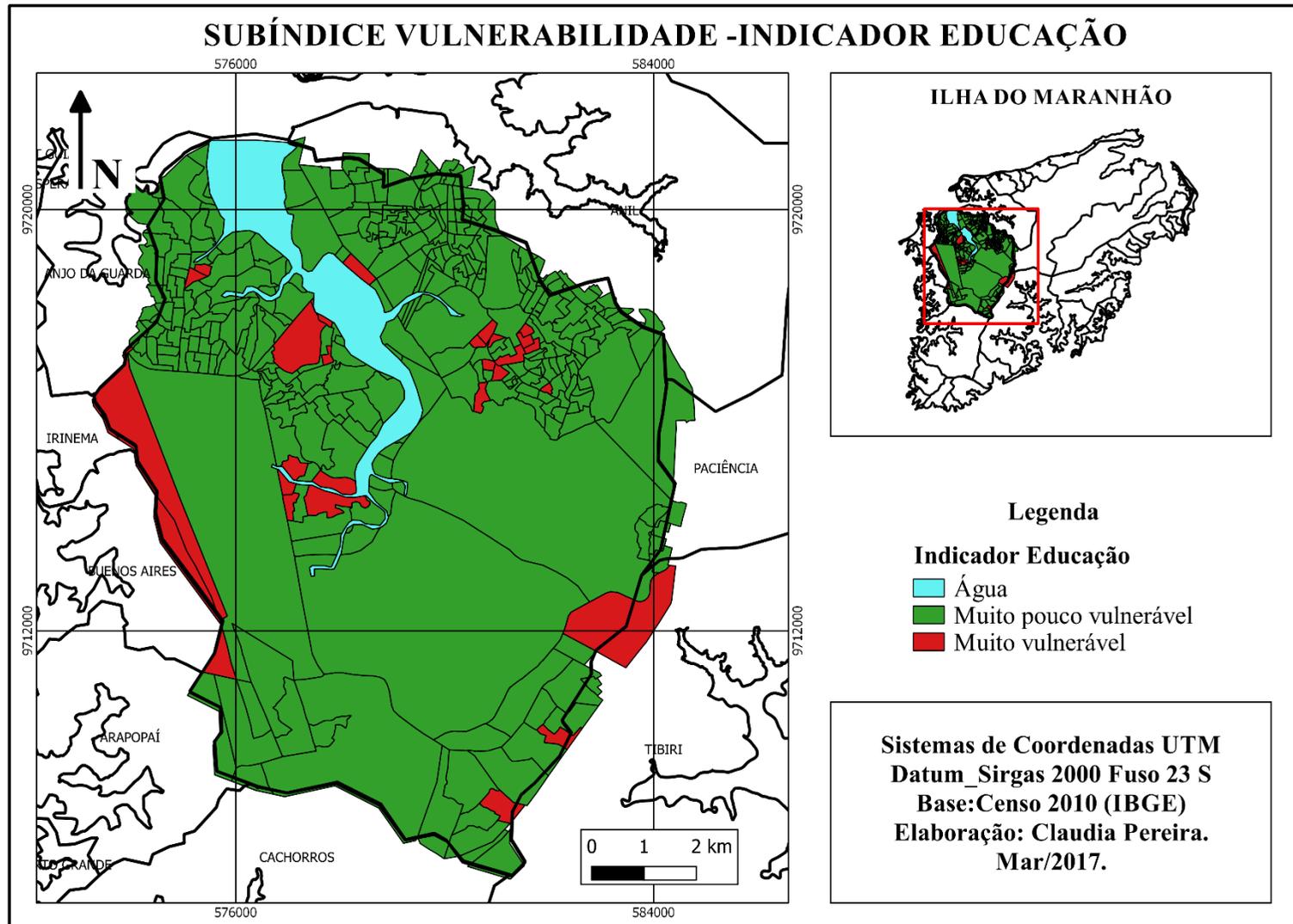


Figura 7.29. Subíndice Vulnerabilidade - Indicador Educação.

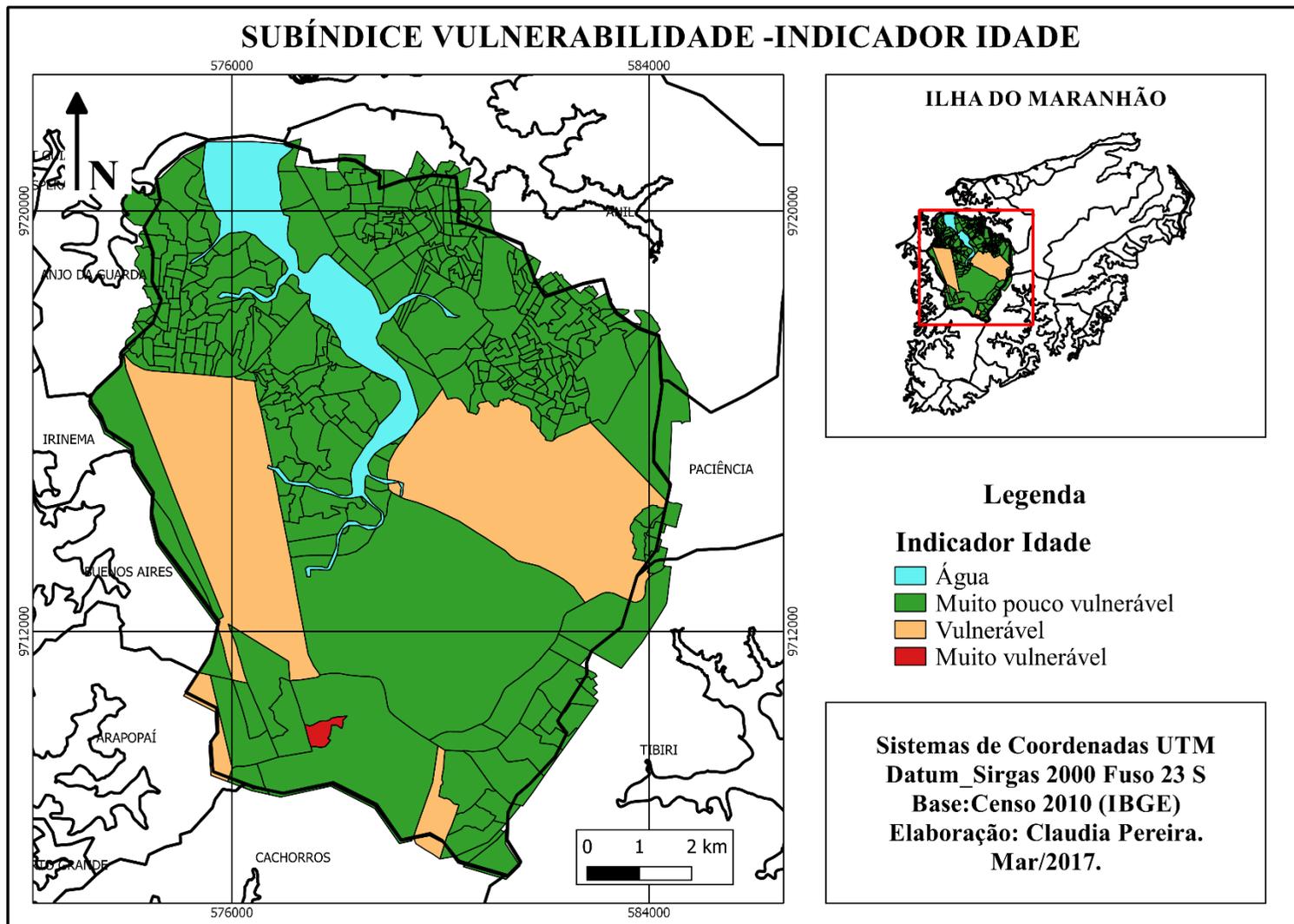


Figura 7.30. Subíndice Vulnerabilidade – Indicador Idade.

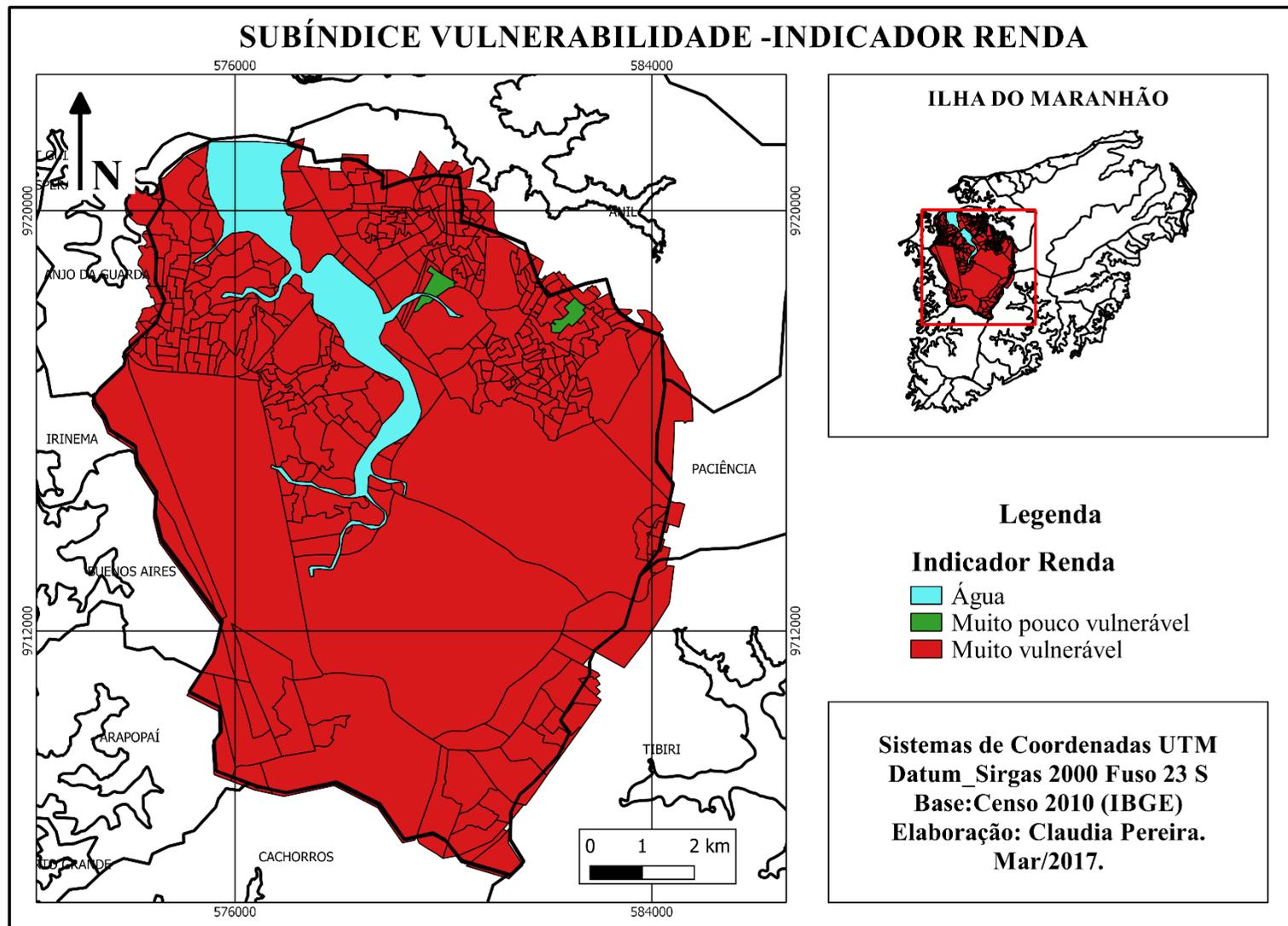


Figura 7.31. Subíndice Vulnerabilidade – Indicador Renda.

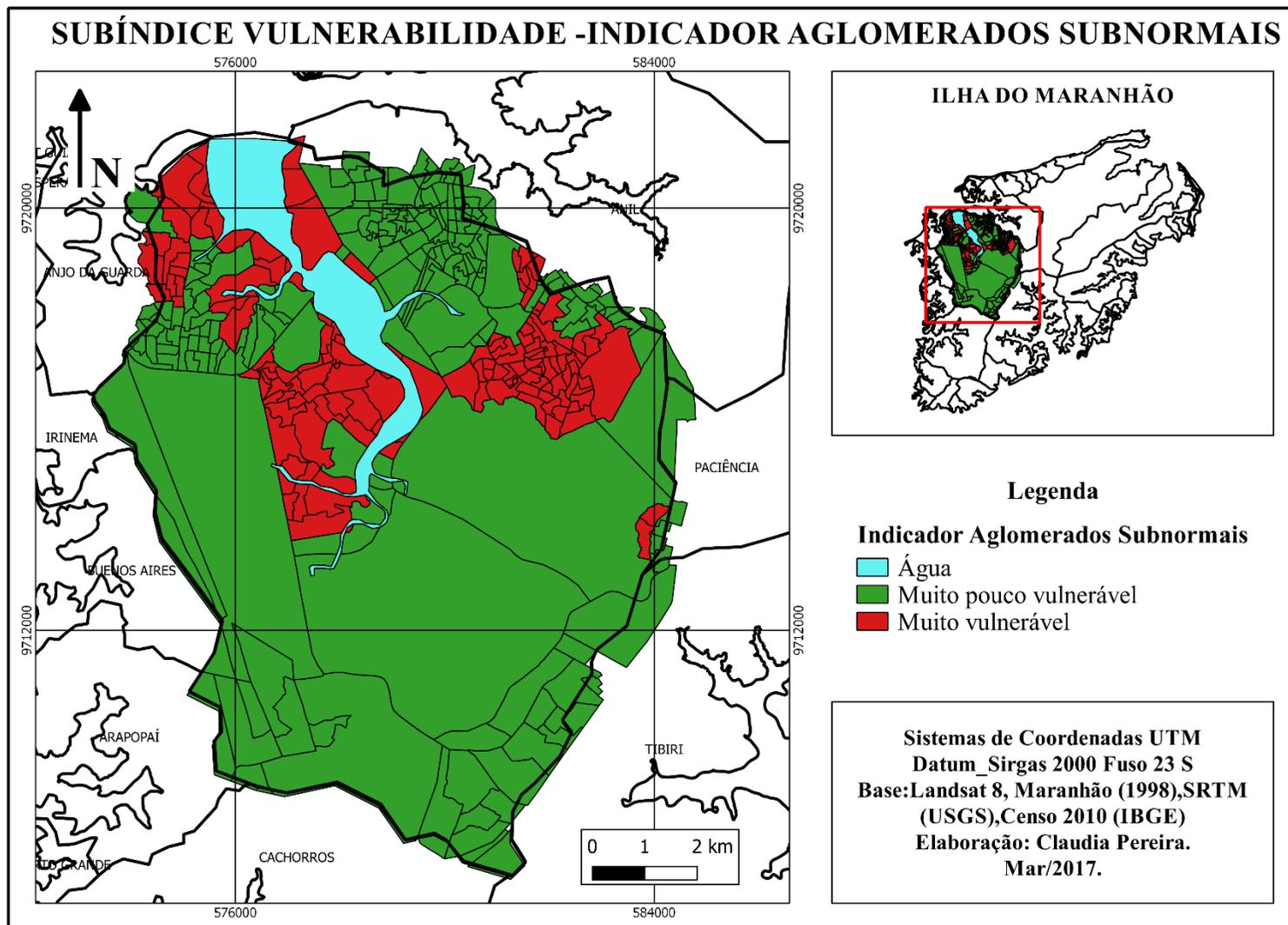


Figura 7.32. Subíndice Vulnerabilidade – Indicador Aglomerados Subnormais.

Para o indicador densidade demográfica foram utilizados dados relativos ao número da população por setor censitário e a área dos setores (em km²) da bacia hidrográfica do Bacanga, contidos na base de dados do IBGE. A densidade demográfica corresponde à razão entre duas variáveis, conforme mostra a Equação (7.2).

$$DD = \frac{\text{População}}{\text{Área}}$$

Eq. (7.2)

De acordo com o Censo Demográfico de 2000, a população do município de São Luís era de 868.047 de habitantes. Esta apresentou um aumento 85,53 % em sua população geral, de 2000 para 2010. Nas áreas urbanas, o acréscimo foi 87,65 % o que favoreceu o aumento de aglomerados subnormais, muitas vezes localizados em áreas de riscos. De acordo com o último Censo realizado em 2010, a densidade demográfica de São Luís era de 1,215.69 hab./km², experimentando um crescimento de 16,6% na densidade na última década; e na bacia hidrográfica do rio Bacanga a densidade demográfica era de 1,003.41 hab./km². O setor censitário mais populoso da bacia apresentava densidade de 9,585.9 hab./km².

A **figura 7.33** apresenta a distribuição espacial da população da bacia do Bacanga nos setores censitários.

Após, a sistematização dos dados aglomerados subnormais, renda, idade, densidade demográfica e educação, aplicou-se um índice para populações com vulnerabilidade social, com objetivo de auxiliar o planejamento urbano e a gestão de riscos de desastres naturais. A formulação apresentada por este índice é dada pelo cálculo da média ponderada de indicadores específicos e possuem relação direta e/ou indireta com as populações vulneráveis a inundações, a partir da seguinte equação (7.3), que reproduz a segunda parcela da Equação 6.1, com pesos definidos nesta dissertação:

$$AVI = DD * 0,50 + AGL * 0,25 + REN * 0,15 + IDA * 0,05 + EDU * 0,05$$

Eq. (7.3)

Na determinação dos pesos dos indicadores, fixou-se como sendo o de maior importância a densidade demográfica, pois esta representa o número de pessoas possíveis de serem atingidos pela inundações (dando uma medida da exposição). Para os demais indicadores, considerou-se as características que contribuem com os maiores danos e prejuízos sociais em uma área afetada por inundações, com destaque para as áreas de ocupação subnormal. Para analisar os dados do cruzamento espacial, subdividiu-se em cinco graus de vulnerabilidade, apresentado na **Figura 7.34**. Foram definidas faixas de notas para cada grau de vulnerabilidade, guardando relação com as notas originais, de modo que quanto maior a nota, maior a vulnerabilidade, conforme a **tabela 7.9** mostrada a seguir:

Tabela 7.9. Notas das classes de vulnerabilidade.

Nota	Descrição
1 - 1,8	Muito pouco vulnerável
1,8 - 2,6	Pouco vulnerável
2,6 - 3,4	Medianamente vulnerável
3,4 - 4,2	Vulnerável
4,2 - 5	Muito vulnerável

Do total da população da bacia do Bacanga, 26.56% estão classificadas como muito pouco vulnerável, apesar da pressão exercida pela ocupação urbana informal, está ainda possui grande cobertura vegetal, devido ao Parque Estadual do Bacanga e a APA do Maracanã e a região industrial; 17.38% está classificada como pouco vulnerável, onde a bacia apresenta alguns vazios urbanos próximos aos afluentes do rio principal; 20% está classificada medianamente vulnerável, em área que abriga o centro histórico de São Luís; 20.98% estão classificados como vulnerável e 15.08% muito vulnerável. Essas últimas duas áreas apresentam um alto percentual da população de baixa renda do município.

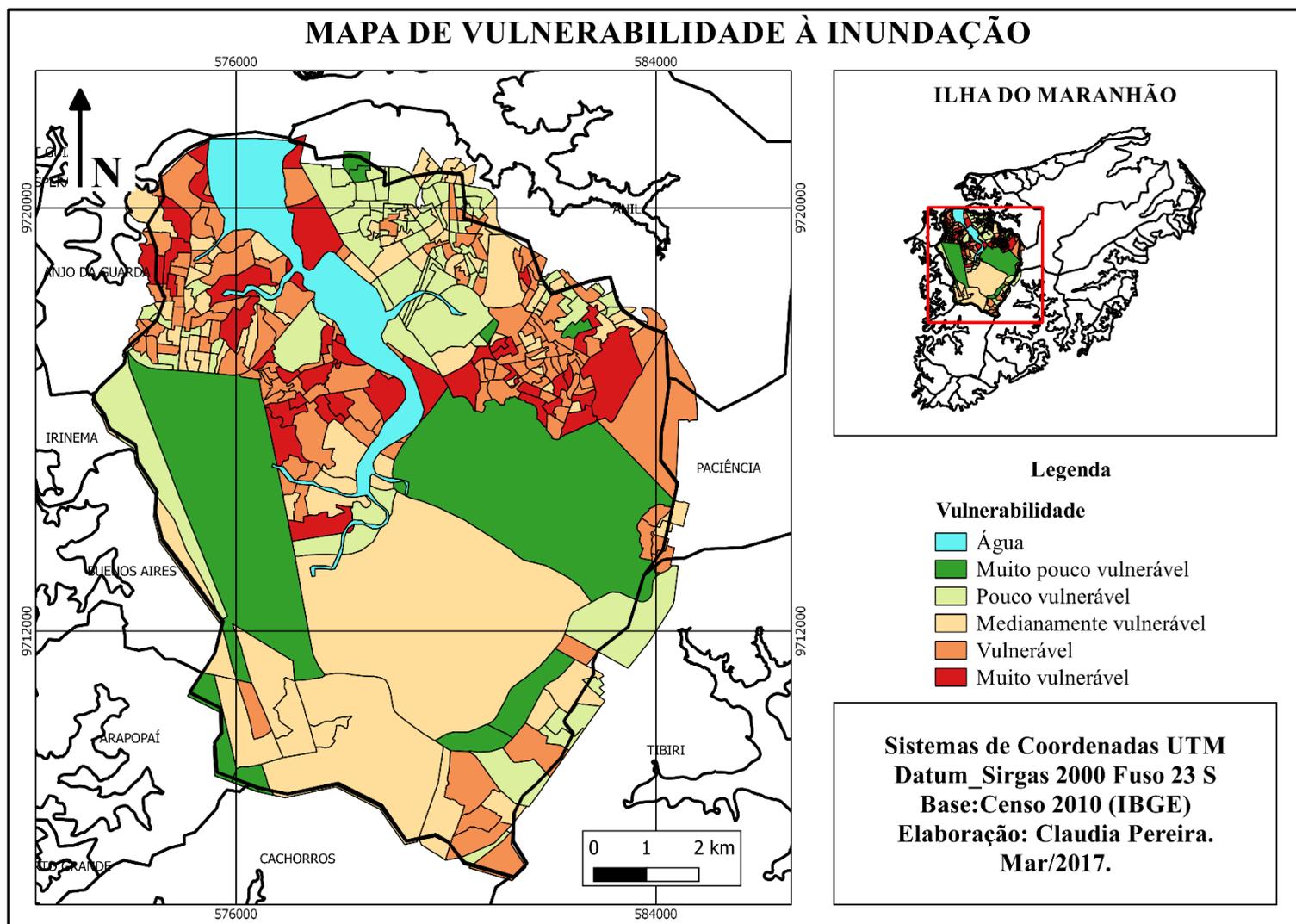


Figura 7.34. Mapa de vulnerabilidade à inundação da bacia hidrográfica do Bacanga.

- **Risco de Inundação**

A partir da associação dos aspectos físicos (áreas suscetíveis à inundação) e sociais (áreas vulneráveis) da bacia hidrográfica do rio Bacanga, que interferem na dinâmica das inundações, elaborou-se um mapa de risco à inundação, pela aplicação do IRI. Com o cálculo dos subíndices suscetibilidade e vulnerabilidade é possível calcular o valor do Índice de Risco de Inundação, conforme a Equação (6.1).

Os pesos foram tomados como iguais para ambos indicadores, uma vez que ambos têm importância decisiva no risco: não há risco sem que a suscetibilidade à inundação seja capaz de atingir uma área vulnerável. Dessa forma, sem priorizar nenhum dos dois componentes, a priori, esta dissertação propõe uma divisão equânime para os pesos.

A partir dos cálculos dos subíndices de suscetibilidade e vulnerabilidade foi possível calcular o valor do IRI através do produtório ponderado de somatórios ponderados, entre eles. Como ambos os índices estão associados às mesmas subdivisões do domínio, ou seja, setores censitários, é possível obter o valor do IRI, uma vez determinados pesos relativos a cada um deles. A **figura 7.35** apresenta o mapeamento das áreas de risco de inundação da bacia hidrográfica do Bacanga, com foco na vulnerabilidade social.

Para fins de avaliação de consistência, propôs-se uma revisão de pesos para o IRI, com pesos de 0.7 para suscetibilidade física e 0.3 para vulnerabilidade. Nessa segunda representação (equação 7.4), a suscetibilidade tem o peso dobrado, para representar tanto a própria vulnerabilidade quanto a exposição, somando dois componentes do risco, deixando o perigo com cerca de um terço do peso.. Essa escolha de pesos visa mostrar a importância do estudo de vulnerabilidade social em relação às inundações. A definição de pesos sempre é um ponto discutível e não há escolha única e definitiva.

$$IRI = (I_{SUP})^{0.7} \times (I_{VUL})^{0.3}$$

Eq. (7.4)

Nota-se que na **figura 7.35**, representando a divisão equânime de pesos, a bacia apresenta o risco entre médio à alto risco de inundação, enquanto na **figura 7.36**, que representa a Eq. (7.4), o risco é representando entre pouco risco a risco mediano de inundação. Portanto, conclui-se que a vulnerabilidade social da população (renda,

densidade demográfica, aglomerados subnormais, idade e educação) é grande e este fator aumenta de forma significativa os riscos decorrentes da inundação.

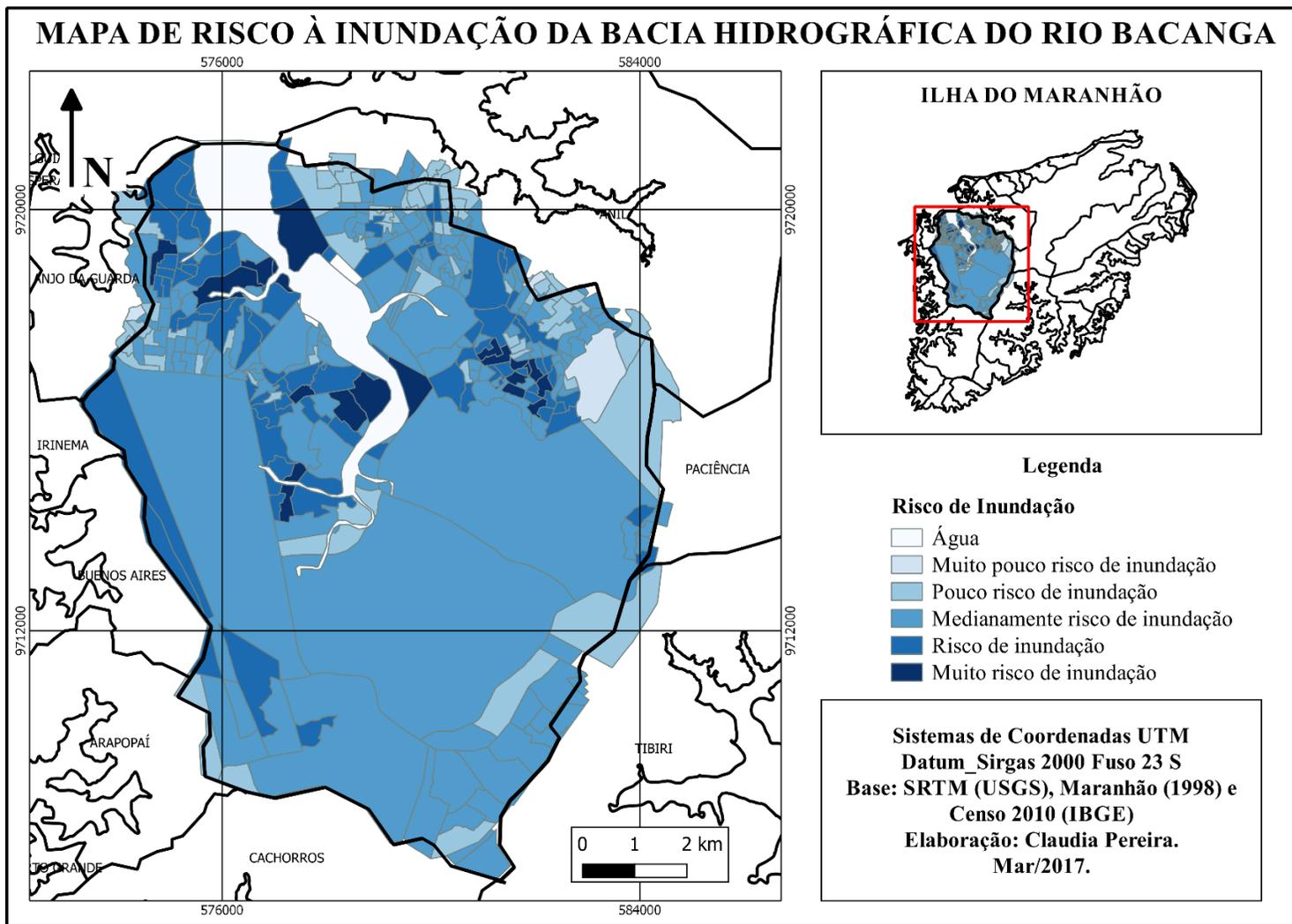


Figura 7.35. Mapa de Risco de Inundação na bacia do Bacanga.

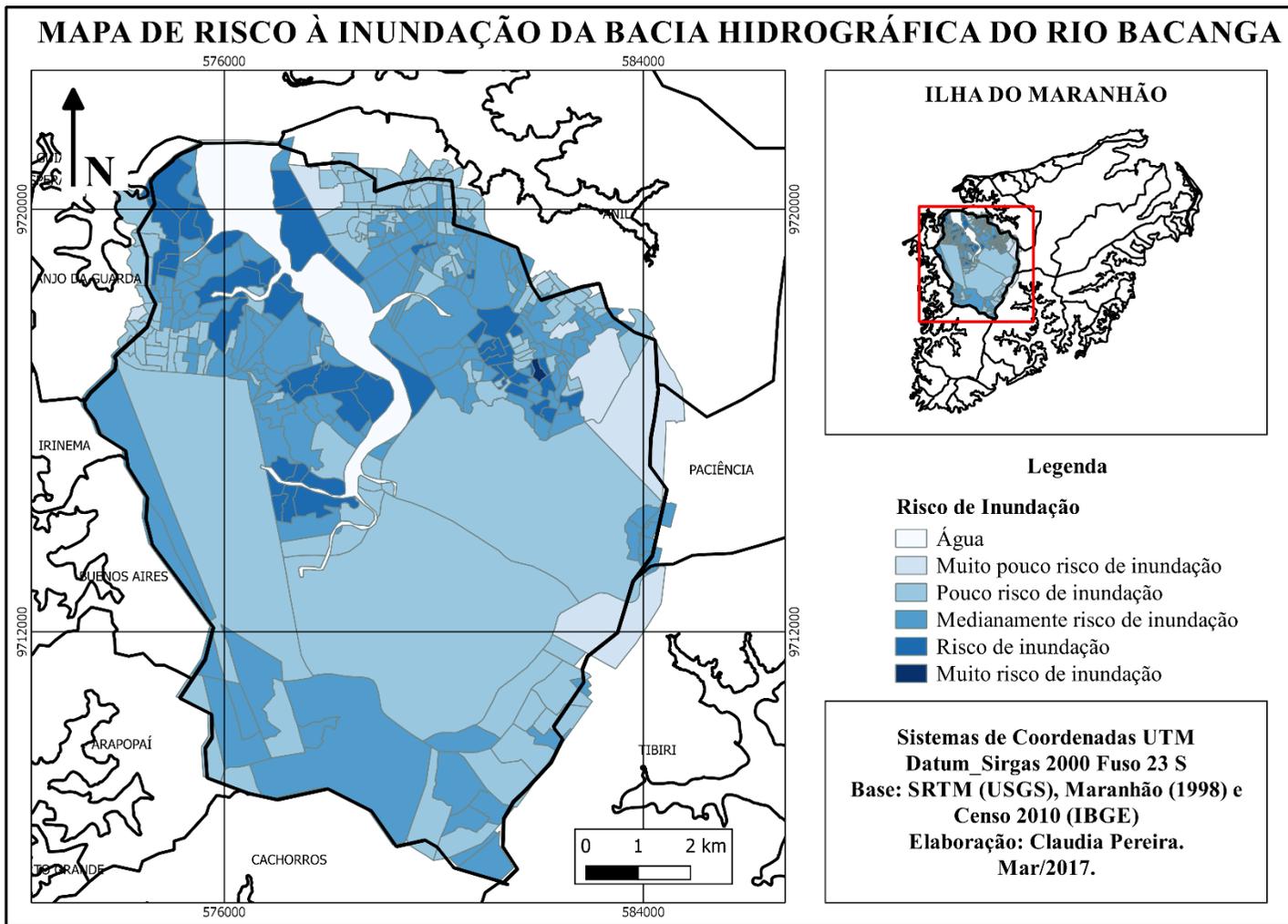


Figura 7.36. Mapa de Risco de Inundação na bacia do Bacanga (Para Equação 7.4).

É possível observar que as áreas de maior risco de inundação estão localizadas na planície de inundação do rio Bacanga, sendo assim, são áreas relativamente planas e baixas que de tempos em tempos recebem excessos de água que extravasam do canal de drenagem. Portanto, é um resultado que faz sentido e confirma as observações da realidade local. Os bairros que apresentam “muito risco de inundação” são: Salinas do Sacavém, Coroadinho e Coroado (margem direita) e Anjo da Guarda (margem esquerda). Os resultados mostram que as áreas mais críticas são áreas com declividades baixas e com grande vulnerabilidade social, como esperado, de forma qualitativa.

Os pontos mais críticos, representados como “risco à inundação”, localizam-se em uma área urbana bem consolidada, onde os cursos d’ água recebem forte pressão populacional. São zonas densas, com uma grande quantidade populacional, como por exemplo os bairros Mauro Fecury II, na margem esquerda, e Coroado, Coroadinho e Salinas do Sacavém, onde a ocorrência de cheias é frequente nos períodos de chuva. As regiões que apresentam “muito pouco ou pouco” risco à inundação correspondem as áreas do Parque do Bacanga, APA do Maracanã e a estrada por onde passa o Trem da Vale (que liga São Luís a Parauapebas -PA), onde a densidade populacional é baixa.

As áreas de risco de inundação da bacia hidrográfica do rio Bacanga são áreas socialmente vulneráveis. Na verdade, quase toda é socialmente muito vulnerável, aproximadamente 90% das famílias ganham menos de dois salários mínimos. Os bairros que apresentaram maiores rendimentos foram: Parque Amazonas, Bairro de Fátima e João Paulo, com renda entre 2 a 5 salários mínimos. Essas áreas, porém, são classificadas como aglomerados subnormais. Na bacia do Bacanga, os bairros Coroado ,Coroadinho, Sá Viana, Vila Embratel, Gapara, Ganharia, Vila São Luís, Mauro Fecury I e II, Vila Nova, Alto da Esperança, Tamancão, Jambreiro, Paraíso e Vila Conceição são considerados como aglomerados subnormais e a maioria deles apresenta inundações frequentes

O problema de inundação na bacia do Bacanga é de difícil reversão, devido à ocupação consolidada em áreas muito baixas, ao longo das margens dos cursos d’água. Na **figura 7.37**, observa-se uma grande ocupação das áreas *non aedificandi*, em total desacordo com a legislação federal (Lei 6.766/79), tornando ainda mais complexo e custoso o controle das inundações.

Verifica-se que os resultados obtidos pelo IRI expressam a ordem de grandeza dos problemas associados à alagamentos, na área de estudo. A ponderação adotada para os indicadores selecionados indica coerência na simulação elaborada, embora a discussão sobre quais pesos utilizar seja sempre aberta. Os efeitos individuais foram expressos nos

resultados finais, mostrando que as regiões críticas de inundação são as mais urbanizadas e concentram-se em áreas onde o controle do uso do solo é ineficiente.

Ressalta-se, porém, que a formulação proposta pode ser revista ou complementada, pois outras situações poderiam ser levantadas e simuladas a partir da utilização de novos indicadores, como também, eventualmente, a exclusão de algum indicador utilizado nesse estudo. Na prática, o índice proposto pode ser ajustado a particularidades de outros locais, mantendo-se a sua estrutura. Porém, como lógica geral, mostra-se uma ferramenta útil para interpretação do território, no que diz respeito à sua propensão à inundação e a uma valoração (ainda que qualitativa) dos efeitos dessas possíveis inundações sobre a sociedade.

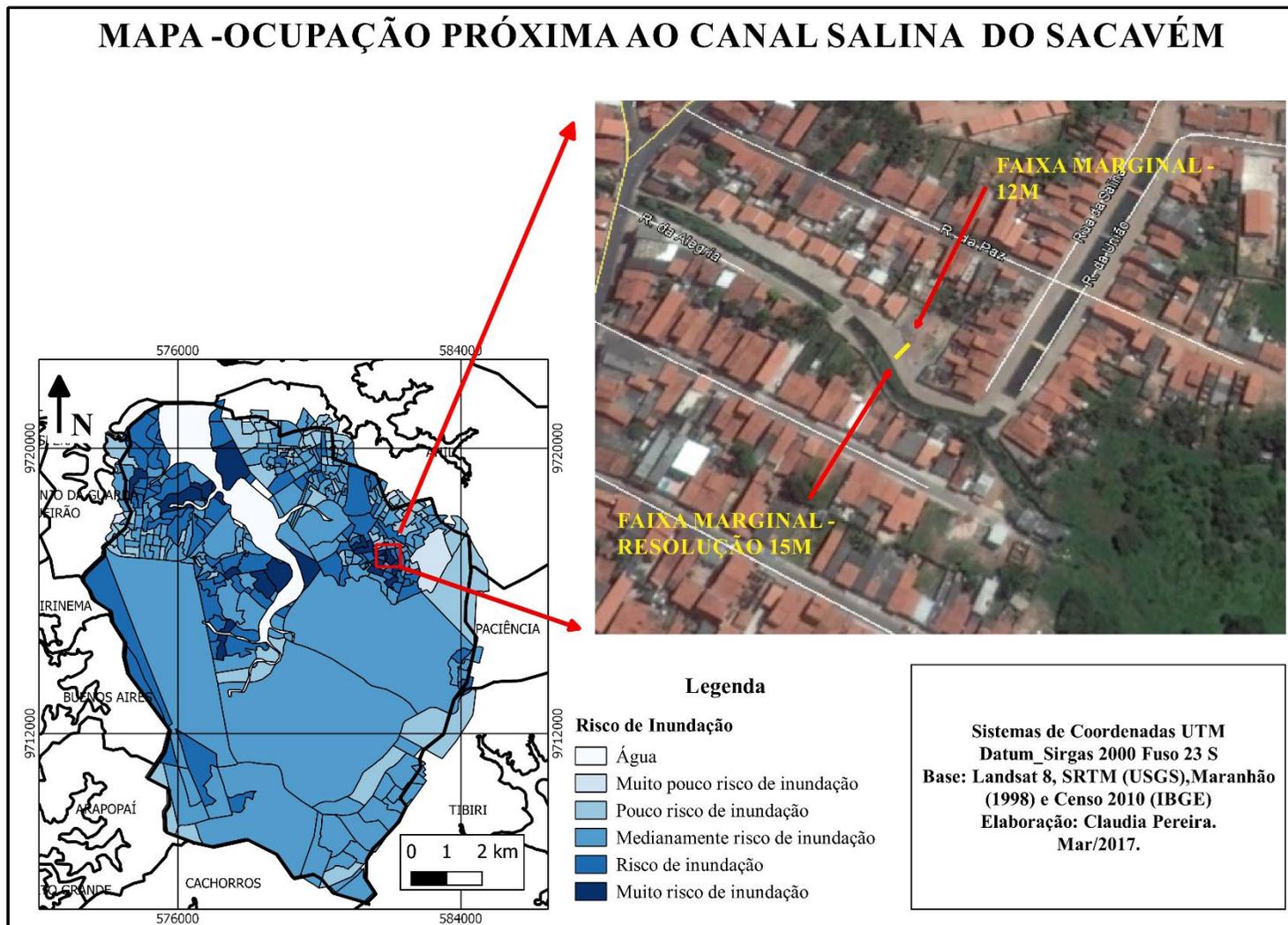


Figura 7.37. Ocupação próxima ao canal da Salina do Sacavém (Margem direita do rio), destacando a faixa marginal de menos de 15 metros na maioria dos trechos.

Com o objetivo de validar a aplicabilidade da formulação proposta fez-se um estudo do problema de inundação através da Modelagem Hidrodinâmica, para comparação da suscetibilidade à inundação mapeada pelo IRI, com a inundação real modelada. Cabe ressaltar que, nesse modelo, é possível medir o alagamento puro e simples, sem a quantificação de efeitos sobre o sistema socioeconômico, o que, neste estudo, é obtido através do subíndice SUS. Portanto, o subíndice VUL, que envolve renda, educação, idade, aglomerados subnormais e densidade demográfica não pode ser medido pelo modelo. A **figura 7.38** apresenta a mancha de inundação obtida para as condições atuais de urbanização da bacia hidrográfica do rio Bacanga, para chuva real do dia 11 de abril de 2009, de 155,6 mm. O tempo de concentração da bacia do Bacanga é de 3,5 horas. Para distribuição temporal da chuva foi utilizado o Método dos Blocos Alternados, também chamado de Método *Bureau of Reclamation* (ZAHED e MARCELLINI, 1995).

De acordo com os resultados obtidos no modelo de células, em que foi considerada a condição atual de urbanização, para simulação de manchas de inundação, observa-se que as áreas mais críticas, sob o ponto de vista de alagamentos, se encontram nas regiões mais planas e com baixa altimetria, próximas aos canais naturais. Há uma intensa urbanização em toda a mancha o que agrava as consequências de cheias nessa área. Ressalta-se que o resultado foi considerado satisfatório, uma vez que está compatível com a realidade observada e com o mapa de do subíndice suscetibilidade.

Foram, posteriormente, calculadas chuvas de projeto para diferentes tempos de recorrência, para permitir distintos usos na área interna da bacia e identificar prováveis áreas de inundação. O valor de referência considerado como representativo para planejamento foi aquele de uma vazão com tempo de recorrência de 25 anos, sendo usada uma enchente de 50 anos, para fins de verificação, com uma situação mais crítica.

O cenário com um tempo de recorrência de 50 anos para bacia hidrográfica do rio Bacanga, apresenta uma área maior de inundação, não somente em áreas próximas ao canal, ou seja, planas e com baixa altimetria, mas também, em áreas densas demograficamente e muito urbanizadas. Esse cenário está mais próximo ao apresentado pelo IRI. Como mostram a **figura 7.39** e a **figura 7.40**.

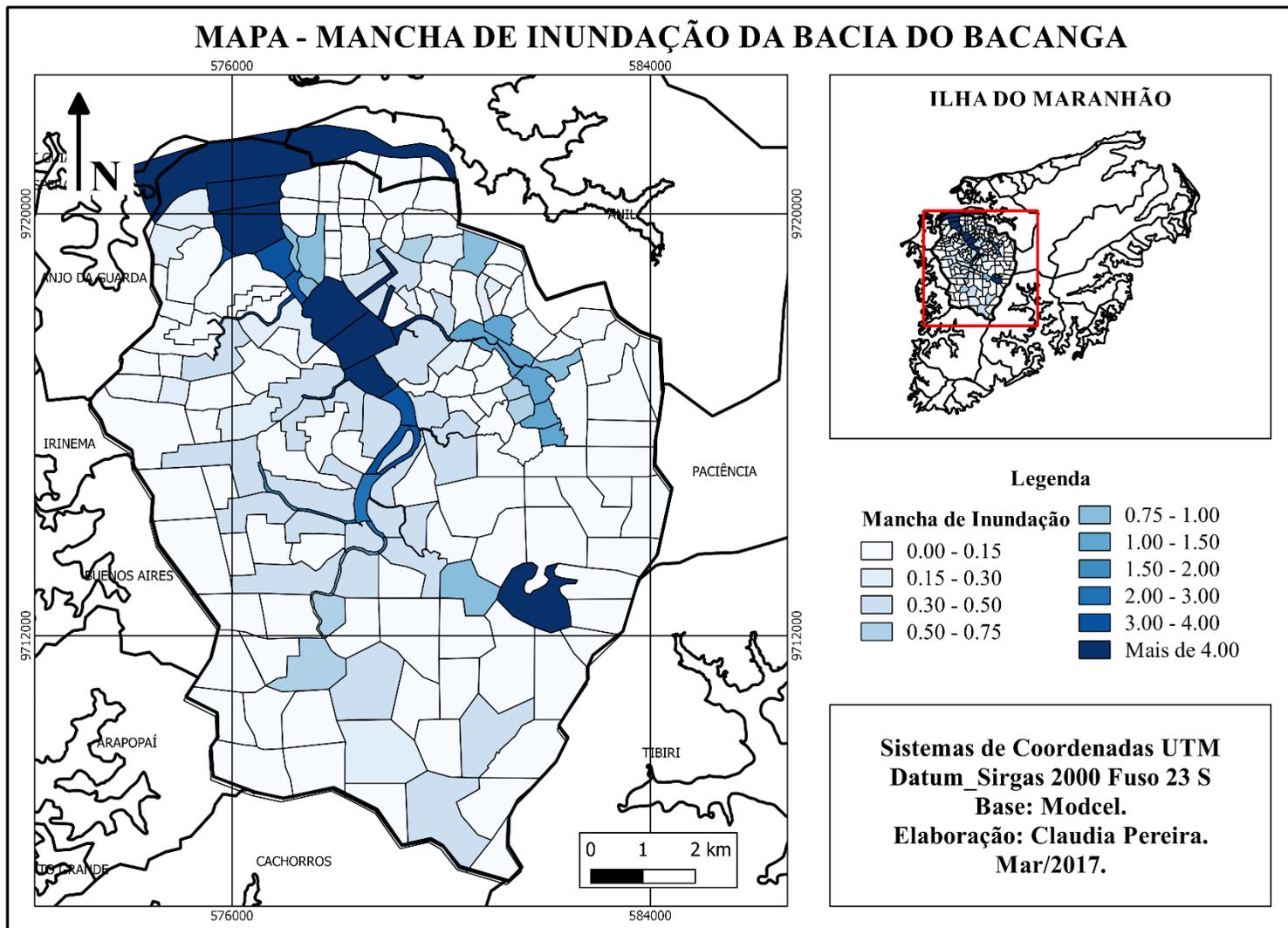


Figura 7.38. Mancha de inundação do rio Bacanga/ Chuva Real (11/04/2009).

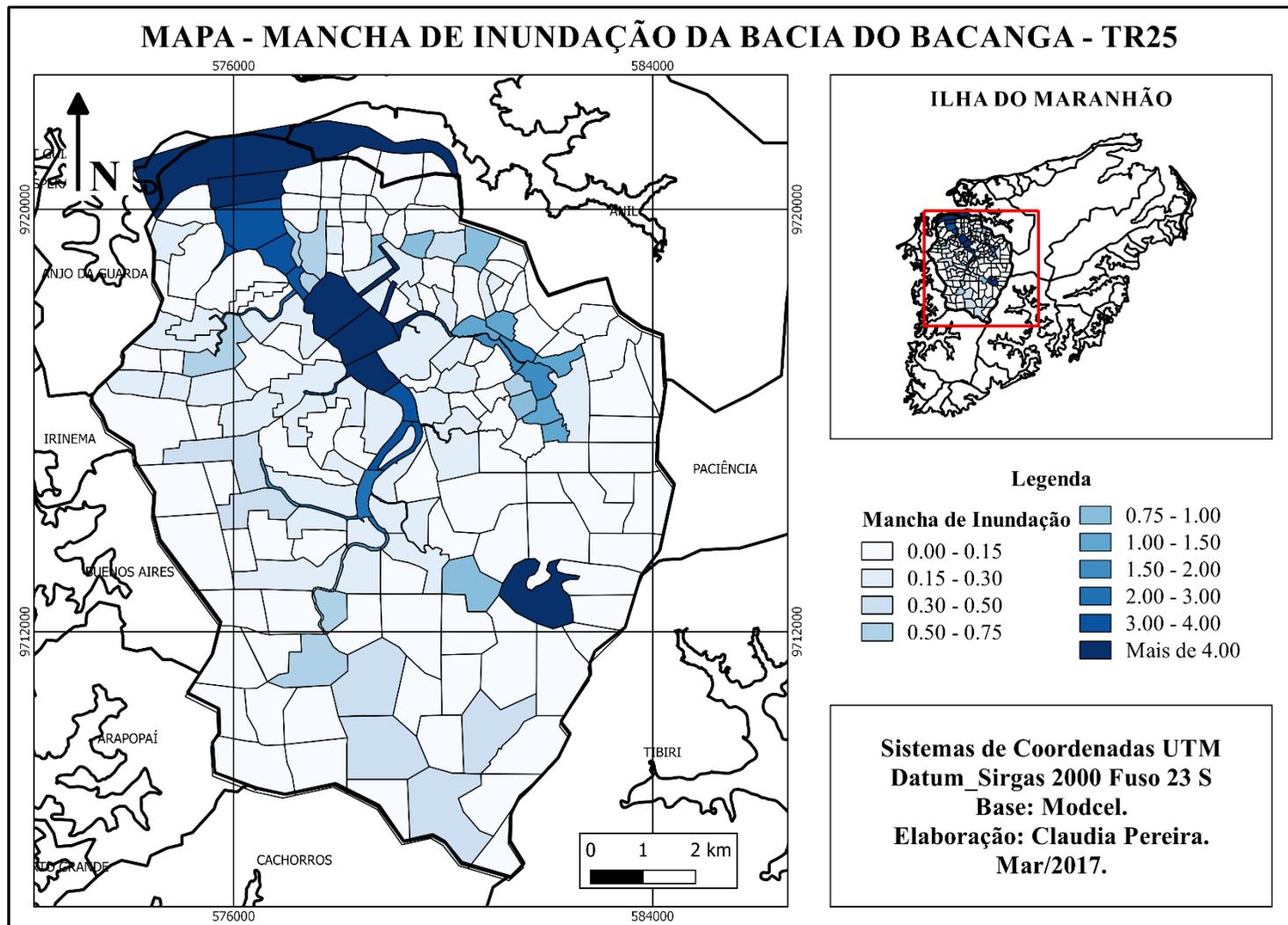


Figura 7.39. Mancha de inundação do rio Bacanga – TR25.

Na aplicação do IRI, a parcela de suscetibilidade do meio físico, representada pelo subíndice SUS (que mede o perigo e, portanto, guarda relação conceitual de analogia com o mapa de alagamento de um modelo hidrodinâmico) pode ser comparada com o resultado da figura 7.38, para fins de validação da representação indireta que foi proposta no seu equacionamento. Os resultados do SUS mostram boa aderência aos resultados do modelo hidrodinâmico MODCEL (**Figura 7.41**). Por sua vez, os resultados do IRI mostram que as áreas que apresentam mais criticidade de alagamento são as mais urbanizadas, com aglomerados subnormais e com alta densidade demográfica, além de localizadas próximas aos cursos d'água, embora correspondam a uma região bem mais extensa quando comparada com a apresentada no modelo de células. O resultado mostra que o indicador de densidade demográfica acaba incorporando efeitos de criticidade, até mesmo em áreas com maior altimetria, onde o perigo de inundação é menos provável. No entanto, comparando-se o mapa do subíndice de suscetibilidade à inundação com o do modelo apresentado pelo Modcel, estes são bem semelhantes, na representação do perigo (**Figura 7.41**).

Os pontos de inundação (**Figura 7.41**), mapeados pela Defesa Civil de São Luís, estão localizados nas áreas suscetíveis e muito suscetíveis à inundação e coincidem com as machas apresentadas no modelo, o que fortalece e ratifica os resultados obtidos na modelagem de células e no cálculo do IRI. São áreas que apresentam históricos de inundação, por estarem localizadas em baixas declividades, além do inadequado processo de ocupação e uso do solo. Outros fatores agravantes podem ainda ser associados, por exemplo: inexistência de um sistema de drenagem eficaz e deficiência ou total inexistência de serviços de esgotamento sanitário.

Na comparação entre os mapas de suscetibilidade à inundação, aplicação do IRI e as manchas de inundação com os tempos de recorrência de 25 e 50 anos, utilizaram-se cinco classes para as chuvas de projeto (TR 25 e TR50), assim como nos demais mapas, como mostra a **tabela 7.10**. Estabeleceu-se os níveis de água da tabela 7.20 entre 0.00 à 0.50 mm, por ser uma área de baixa declividade e altimetria, onde eventos chuvosos com nível de água de 0.50 mm pode causar grandes transtornos à população, inundando ruas e casas. As manchas de inundação mostram células do MODCEL, enquanto os domínios do SUS e do IRI são definidos pela malha de interseção entre os setores censitários.

Os pontos mais críticos de inundação (o tom mais forte de azul - **Figura 7.41**), equivale uma lâmina d'água de mais de 0.50 milímetros, coincidem em todos os mapas, são áreas com baixas declividades e muito urbanizadas. Assim, a mancha apresentada no

Model, que especializa e quantifica o quanto chuva em uma determinada região valida a proposta do Índice de Risco de Inundação, pela qual especializa áreas mais propensas à inundação através da suscetibilidade física e vulnerabilidade social.

Tabela 7.10. Classes e níveis d'água para as TR's 25 e 50.

Classes	Níveis d' água
Muito baixo risco de inundação	0.0 - 0.10
Baixo risco de inundação	0.10 - 0.20
Médio risco de inundação	0.20 - 0.35
Alto risco de inundação	0.35 -0.50
Muito alto risco de inundação	Mais de 0.50

Dessa forma, o resultado do índice proposto pode ser considerado satisfatório, uma vez que está compatível com a realidade observada.

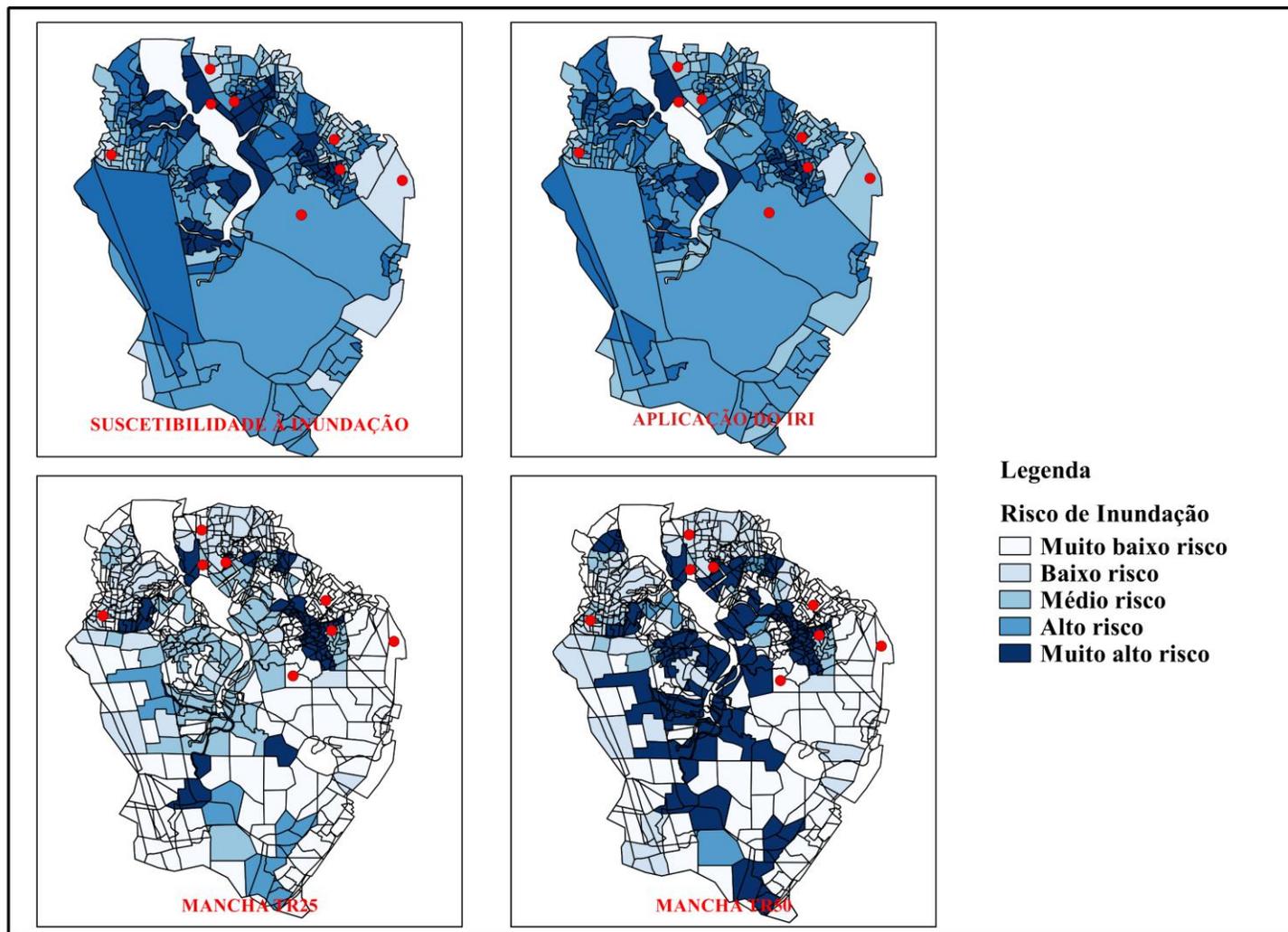


Figura 7.41. Comparação entre aplicação do IRI, Subíndice de Suscetibilidade e as manchas de inundação obtidas através do Model.

8 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Considerando o objetivo fundamental proposto neste trabalho, relativo ao desenvolvimento de uma metodologia relativamente simples, capaz de quantificar o risco de inundação ao qual está submetida determinada região, foi proposto o Índice de Risco à Inundação – IRI. Trata-se de uma ferramenta de auxílio na tomada de decisão, permitindo também subsidiar o planejamento urbano no que concerne a evitar perdas com inundações.

O IRI estabelece uma metodologia de análise multicritério para determinação do risco de inundação, na qual utiliza dados facilmente disponíveis, o que permite seu uso pelo público não especializado, dispensando ferramentas mais sofisticadas de modelagem matemática na etapa de planejamento. O índice considera, em sua avaliação, diversos aspectos, incluindo aspectos naturais da bacia, como a declividade, cota absoluta, vegetação e tipo de solo, bem como características socioeconômicas da população e região de estudo, considerando renda, aglomerados subnormais, densidade demográfica, idade e educação.

Por vezes, a determinação das ponderações é feita de forma subjetiva e deve ser atribuída ao gestor. Dessa forma, pode-se utilizar a metodologia de análise multicritério que permite determinar pesos através de um julgamento consistente, contudo, subjetivo, sendo essa metodologia muito utilizada neste tipo de trabalho.

O estudo realizado na bacia do rio Bacanga, localizada na cidade de São Luís do Maranhão, mostra a efetividade do índice proposto e desenvolvido. Os diversos aspectos, expressos nos indicadores utilizados, puderam ser operados de forma simples e adequada, uma vez normalizados e convertidos a uma escala comum. Destaca-se que os resultados obtidos com os subíndices e com o Índice de Risco à Inundação, propriamente dito, correspondem à realidade esperada, conforme observação e pesquisa histórica na bacia. Os resultados estão compatíveis com o mapeamento de áreas de risco feito pela Defesa Civil de São Luís. Além disso, o subíndice relativo às características naturais da bacia, cuja rerepresentação visa simular a propensão à inundação, é corroborado pelo modelo hidrodinâmico MODCEL, utilizado para produzir mapas de alagamento para a área estudada.

No que se refere aos indicadores escolhidos para a composição do índice, esses mostraram-se, conseqüentemente, satisfatórios e representativos. Suas características permitem espacializar áreas propensas à inundação, de forma que, quanto

maior for a suscetibilidade da região associada a vulnerabilidade social da população, maior será o risco.

Além dos indicadores utilizados, outros podem contribuir para o aprimoramento da análise do índice proposto. Porém, deve-se levar em conta se tais elementos não irão adicionar complexidade excessiva à aquisição de dados e à operacionalização dos cálculos, como também à necessidade de dispor de especialistas para interpretar, de forma coerente, as informações obtidas.

Outra característica metodológica proposta se refere às escalas de normalização adotadas na composição do índice. Por não se dispor de informações originárias de estudos anteriores, as escalas de normalização foram elaboradas de maneira intuitiva, usando referências indiretas, constituindo uma fragilidade deste estudo. Assim, acredita-se que a maior contribuição que pode ser feita ao IRI é a busca por mais informações para uma determinação mais objetiva e coerente das escalas de normalização dos indicadores. Além disso, uma análise de sensibilidade, variando as escalas propostas pode ser interessante para aumentar a compreensão sobre o funcionamento do índice.

Pode afirmar ainda, que tanto a formulação quanto a composição do índice são pontos muito importantes desta metodologia, pois apresentam a vantagem de serem aplicáveis de forma irrestrita a qualquer região, desde que haja dados em quantidade e precisão suficientes, representativos da situação em estudo. Espera-se, que a metodologia possa ser enriquecida através da experiência de sua aplicação prática em diferentes locais e que possa contribuir efetivamente para o planejamento urbano.

A escala estabelecida para o IRI, variável de 0 a 100, também se demonstrou apropriada, tornando tanto os indicadores quanto os resultados suficientemente intuitivos.

Deve-se enfatizar que a utilização de Sistemas de Informações Geográficas, para armazenamento, análise e processamento de dados, mostrou-se muito conveniente e eficaz, pois possibilitou combinar, analisar e visualizar vários tipos de informações sobre a mesma área, permitindo que os resultados fossem apresentados de forma clara, adequados inclusive a um público não especializado.

A presente dissertação se apoia sobre o conceito de risco de inundação concentrando-se numa abordagem de apoio ao planejamento urbano. Análises envolvendo questões físicas e sociais de uma região sugerem a propensão à inundação urbana, fato que deve ser matéria básica e preliminar para o planejamento e gestão de cidades. Reforça-se a importância do planejamento urbano para melhorar ou revitalizar uma área urbana, proporcionando qualidade de vida para população. Assim, uma

continuidade deste trabalho passa, necessariamente pela conjugação deste índice em esforços práticos para a composição de uma metodologia de planejamento suficientemente informada quanto à propensão a inundações. O zoneamento das áreas de inundação é um importante instrumento para mitigar os efeitos danosos de uma inundação, eliminando riscos previamente, por evitar a exposição desnecessária de elementos socioeconômicos de importância.

O IRI, ao identificar áreas de risco de inundação, pode auxiliar em formulação de diretrizes, regulamentos e normas legais de planejamento e uso do solo para cada faixa de inundação, de acordo com o risco a que cada área está sujeita, além de indicar áreas já ocupadas e frágeis, que demandam atenção e atuação do poder público.

O município de São Luís apresenta lacunas nas políticas públicas em relação aos problemas de inundação. Assim, evidencia-se a necessidade de se implementar políticas voltadas para o controle de inundações com diretrizes mais amplas do controle da expansão urbana. Para isso, é importante rever toda a legislação urbanística do município, atualizando-a de forma a permitir a aplicabilidade de um Plano Diretor de Drenagem Urbana integrado com ao desenvolvimento territorial.

REFERÊNCIAS

ACSELRAD, H. **Justiça ambiental e construção social do risco**. Desenvolvimento e Meio ambiente, v. 5, p. 49-60, 2002.

AHMAD, S.; SIMONOVIC, S. P. **An Intelligent Decision Support System for Management of Floods**. Water Resources Management, Dordrecht- Netherlands, v. 20 n. 3, p. 391-410, jun., 2006.

ALLEN, F.R.; GARLICK, A.R.; HAYNS, M.R.; TAIG, A.R. **The management os Risk to Society from Potencial Acidentes**. Elsevier. London, 1992.

ANAUT, Marie. **A Resiliência**. Ultrapassar os traumatismos. Climepsi Editores. Lisboa, 2005.157p.

ARAÚJO, Ronaldo Rodrigues. **O processo de urbanização na produção do clima urbano de São Luís – MA**. Presidente Prudente: UNESP, 2001. (Dissertação de Mestrado)

ARAÚJO, Elienê Pontes de; TELES, Mércia Gabriel Linhares; et al. **Delimitação das bacias hidrográficas da Ilha do Maranhão a partir de dados SRTM**. São Luís – Ma., 2009.

BAPTISTA, M., NASCIMENTO, N., BARRAUD, S., 2005, **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. ABRH, Porto Alegre, p. 266 ,2005.

BARROS, Sergio Silveira. **Análises de Riscos**. Instituto Federal do Paraná. Ministério da Educação. Paraná, 2011.

BASSANEZI, R. C. **Ensino-aprendizagem com modelagem matemática**, São Paulo: Editora Contexto, 2002.

BELLEN, Hans Michael van. **Indicadores de sustentabilidade**: uma análise comparativa. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2005.

BEZERRA, José Fernando Rodrigues. **Geomorfologia e reabilitação de áreas degradadas por erosão com técnicas de bioengenharia de solos na bacia do rio Bacanga, São Luís – Ma**. Rio de Janeiro: UFRJ/PPGG, 2011. (Tese/Doutorado).

BOTELHO, R. G. M. **Bacias hidrográficas urbanas**. In: GUERRA, A. J. T. (Org.). Geomorfologia urbana. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 71-115, 2011.

BRASIL. **Lei Federal 10.257 de 10 de julho de 2001**, Estatuto da Cidade, Senado Federal, 2001.

BRASIL. **Estatuto da Cidade**: guia para implementação pelos municípios e cidadãos. 2 ed. Brasília: Câmara dos Deputados, Coordenação de Publicações, 2002.

BRASIL. **Ministério das Cidades**. Secretaria Nacional de Habitação. (2010). Guia para o mapeamento e caracterização de assentamentos precários. Brasília: Ministério das Cidades.

BRASIL. **Assentamentos precários no Brasil urbano**. Secretaria Nacional de Habitação/Ministério das Cidades e Centro de Estudos da Metrópole / Cebrap, no âmbito do Projeto PNUD BRA/00/019 -2007a. Disponível: <http://www.centrodametropole.org/br/mc/assets/pdfs/assentamentosweb.pdf>. Acesso: 10 abr. 2016.

BRITTO, A.N.L.; BESSA, E.S. **Sustentabilidade na gestão da água em áreas metropolitanas: perspectivas de avaliação**. Seminário Nacional APPURBANA (Disponível em CD – ROM), São Paulo, 2007.

BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R.A. **Principles of geographical information systems**. Oxford, Oxford University Press, 1998.

CAMARA, Gilberto; MEDEIROS, José Simeão de. **Geoprocessamento para projetos ambientais. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos, 1998.

CANHOLI, Aluísio Pardo. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

CARDONA, O.D. **El manejo de riesgos y los preparativos para desastres: compromiso institucional para mejorar la calidad de vida**. In: MASKREY, A. (Ed.) desastres: modelo para armar. Colección de piezas de un rompecabezas social, cap.9, 1996. Disponível em: <http://www.lared.org.pe/Publicaciones>. Acesso: 20 abr. 2016.

CARDONA, O.D. **The need for rethinking the concepts of vulnerability and risk from a holistic perspective: a necessary review and criticism for effective risk management**. In: Bankoff, G.; Frerks, G.; Hilhorst, D. (Eds.). Mapping vulnerability: disasters, development, and people. London: Earthscan Publications, 2004. p. 37-51.

CARDOSO, R. L.S. **Elaboração de indicadores de desempenho institucional e organizacional no setor público**. São Paulo, CEPAM, 1999.

CARVALHO, Pompeu F. de; BRAGA, Roberto (orgs.) **Perspectivas de Gestão Ambiental em Cidades Médias**. Rio Claro: LPM-UNESP, p. 95-109, 2001.

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES. **Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991 a 2012**. 2. ed. rev. ampl. Florianópolis: CEPED UFSC, 2013.

CETESB. **Análise, Avaliação e Gerenciamento de Riscos**, v.01, São Paulo, 2003.

CIRIA. **Flood resilience and resistance for critical infrastructure**, C688, Project RP913, Londres, p.130, 2010.

COELHO, Maria Teresinha de Medeiros. **Risco de Inundação à fragilidade do sistema de drenagem na região metropolitana de São Luís -MA**. Tese (Doutorado), Programa de Pós-Graduação em Urbanismo – PROURB, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011.

COORDENADORIA ESTADUAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL DO MARANHÃO. **Relatório de Ações da CEDECMA -ANO 2009**. São Luís: CEDECMA, 2014.

CRUZ, Tadeu. **Sistemas de informações gerenciais: tecnologia da informação e a empresa do século XXI**. 2. ed. São Paulo: Atlas, p. 249, 2000.

CSIRO. **A Research Prospectus for Urban Resilience**. A Resilience Alliance Initiative for Transitioning Urban Systems towards Sustainable Futures, 2007.

CUTTER, Susan; BARNES, Lindsey; BERRY, Melissa; BURTON, Christopher; EVANS, Elijah; TATE, Eric; WEBB, Jennifer. **A place - based model for understanding Community resilience to natural disaster**. *Global Environmental Change*, 18: 598 – 606, 2008.

CUTTER, S.L.; BURTON, C.G.; EMIRICH, C.T. **Disaster Resilience Indicators for Benchmarking Baseline Conditions**. *Journal of Homeland Security and Emergency Management*: Vol. 7: Iss. 1, Article 51, 2010.

DAGNINO, R., CARPI JÚNIOR, S. **“Risco Ambiental – Conceitos e Aplicações”**. *Climatologia e Estudos de Paisagem*, v. 2, n. 2, pp. 50-87, 2007.

DE BONIS, A. **IDU – Índice de Drenagem Urbana**. Curso de Pós-Graduação Lato Sensu de Gerenciamento de Recursos Hídricos Integrado ao Planejamento Municipal, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006 (Monografia).

DE PESSÔA, J.A. **A Estrutura Janus**. *Integrando preferências, Modelos e Dados na Gestão de Bacias Hidrográficas*. D.Sc., Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2005.

DIAS, J. E. et al. **Geoprocessamento aplicado à análise ambiental: o caso do município de Volta Redonda/RJ**. In: SILVA, J. X. da.; ZAIDAN, R. T. *Geoprocessamento e análise ambiental: aplicações*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. p. 143-177.

DINIZ, Juarez Soares. **A DINÂMICA DO PROCESSO DE SEGREGAÇÃO SÓCIO ESPACIAL EM SÃO LUÍS- MA: O caso da Vila Cascavel**. São Luís: UFMA, 1999. (Dissertação de Mestrado).

EASTMAN, J. Ronald. ***Idrisi for Windows User's Guide***. Clark University, Worcester, M.A., U.S.A., 1977.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

ESPÍRITO SANTO, J.M. (Org.). **São Luís: uma leitura da cidade**. Prefeitura de São Luís – Instituto de Pesquisa e Planificação da Cidade, IPLAN. São Luís: Instituto da Cidade, 2006.

FAINSTEN, Susan S. (2016). **Urban planning**. Encyclopaedia Britannica. Britannica Academic. Disponível:<http://academic-eb-britannica.ez29.periodicos.capes.gov.br/EBchecked/topic/619445/urbanplanning>. Acesso: 07 jul. 2016.

FEITOSA, A.C. **Evolução Morfogenética do Litoral norte da Ilha do Maranhão**. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP. Rio Claro, 196 p. ,1989. (Dissertação de Mestrado)

FEITOSA, A. C. **Relevo do Estado do Maranhão: uma nova proposta de classificação topomorfológica**. In: VI Simpósio Nacional de Geomorfologia/Regional Conference on Geomorphology. Goiânia, 2006.

FERRARI, Célson. Curso de Planejamento Municipal Integrado: urbanismo. 7 a edição. São Paulo: Pioneira, 1991.

FERREIRA, A.J. de A. **A urbanização e a problemática ambiental em São Luís - MA**. São Luís, 1993. (Monografia de Especialização).

FERREIRA, Rafael Malheiro da Silva do Amaral. **Aproveitamento da energia das marés usina maremotriz do Bacanga, MA**. Programa de Engenharia Oceânica. COPPE/UFRJ, 2007 (Dissertação de Mestrado).

FIGUEIRÊDO, Maria Clea Brito. et al. **Avaliação da Vulnerabilidade Ambiental de Reservatórios à Eutrofização**. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 12, n. 4, p. 399-409, out. 2007.

FUNASA. **Manual de Saneamento**, Brasília, 2004.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Déficit habitacional municipal no Brasil 2010**. Centro de Estatísticas e Informações - Belo Horizonte, 2013.

GARCIA, M. **Política urbana e a questão habitacional**. Caderno de Direito Constitucional e Ciência Política, v.6, n.22, p. 72-96, jan/mar, 1998.

GARCIA, F. e REBELO, A.M. **Déficit Habitacional e Desigualdade da Renda Familiar no Brasil**. Revista de Economia aplicada, vol. 6, n.3. São Paulo, 2002.

GOULDBY, B., SAMUELS, P. **Language of Risk - Project definitions**. In: Floodsite Report T32-04-01,2005.

HERZER, H.M. **Los desastres no son tan naturales como parecen: Desastres Urbanos, fenomenos no-naturales**. Médio ambiente y urbanizacion, v.8.n.30, 1990.

INTISTUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA- IBGE. **Perfil dos Municípios brasileiros 2013**. Rio de Janeiro: IBGE, 2014.

INTISTUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA- IBGE. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua - PNAD Contínua**. Rio de Janeiro: IBGE, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA- IBGE. **Censo Demográfico 2010**. Características da população e dos domicílios: resultados do universo. Rio de Janeiro: IBGE, 2011.

INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION - ISDR. Hyogo Framework for Action 2005-2015: **Building the resilience of nations and communities to disasters**. 2007.

JHA, A.K., MINER, T.W., STANTON-GEDDES, Z. **Building Urban Resilience Principles, Tools and Practice**. Washington DC, 2013. Disponível em: http://www.gfdr.org/sites/gfdr/files/publication/Building_Urban_Resilience.pdf. Acesso: 27 abr. 2016.

JORGE, Maria do Carmo Oliveira. Geomorfologia urbana: conceitos, metodologias e teorias. In: GUERRA, José Teixeira (org.) **Geomorfologia urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 280p., 2011.

KAZTMAN, R. **Seducidos y abandonados**: el aislamiento social de los pobres urbanos. Revista de la CEPAL, Santiago do Chile, n.75, p.171-189. dec. 2001.

KRON, W. **Keynote lecture**: Flood risk = hazard x exposure x vulnerability. Proceedings of Second International Symposium of Flood Defense, Beijing, pp 82-97, 2002.

KÖPPEN, W. **Climatologia**: com um estudo de los climas de la tierra. Publications. In: Climatology. Laboratory of Climatology, New Jersey. 104p., 1948.

LOPES, J.A.V. **São Luís**: história urbana. In: LOPES, J.A.V. (Coord.). São Luís, Ilha do Maranhão e Alcântara: Guia de Arquitetura e Paisagem. ED. Bilíngue. Sevilla, Espanha: Consejería de Obras Públicas y Transportes, Dirección General de Arquitectura y Vivienda, Junta de Andalucía, 2008.

LORENZETTI, M.S.B. **A moradia como objeto de política federal**. Caderno Aslegis, v.3, n.8, p.26-31, mai/ago, 1999. Disponível: <http://apache.camara.gov.br/portal/arquivos/camara/internet/publicações/estnottec/pdf/1070775.pdf> Acesso:03 mai. 2016.

MAANTAY, J.; ZIEGLER, J. GIS for the urban environment. Redlands, ESRI Press., 2006.

MACEDO, Lúcio Antônio Alves de. **A urbanização da ilha de São Luís e seus impactos ambientais nos recursos hídricos**. São Luís: EDUEMA, 2011.

MACHADO, M.L.; NASCIMENTO, N.; BAPTISTA, M.B., et al. **Curvas de danos de inundação versus profundidade de submersão**: desenvolvimento de metodologia. In: Revista de Gestão de Água da América Latina - Rega, Porto Alegre, v.2,n.1,p.35-52, 2005.

MALTA, V.F. **A busca de uma solução de compromisso em problemas de conflitos em recursos hídricos utilizando um Modelo de Análise de Conflito - MACPROL**.

D.Sc. Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2006.

MARANDOLA JR., E.; MARQUES, C.; DE PAULA, L.T.; CASSANELI, L. B. **Crescimento urbano e áreas de risco no litoral norte de São Paulo**. R. bras. Est. Pop., Rio de Janeiro, v. 30, n. 1, p. 35-56, jan. /jun. 2013.

MARANDOLA JR., E. **Quatro razões para não falar sobre desastres ambientais urbanos**. In: MARTINE, G. et al. (Orgs.). População e sustentabilidade na era das mudanças ambientais globais: contribuições para uma agenda brasileira. Belo Horizonte: Abep, p. 151-161, 2012.

MATHER, P.M. **Computer processing of remotely-sensed images**. Chichester: John Wiley, 352 p., 1987.

MARANHÃO. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Diagnóstico ambiental da microrregião da aglomeração urbana de São Luís e dos Municípios de Alcântara, Bacabeira e Rosário**. São Luís, 1998.

MARCELINO, E. V. **Desastres Naturais e Geotecnologias: Conceitos Básicos**. Caderno Didático nº 1. INPE/CRS, Santa Maria, 2008.

MAZZEI, K. **Manejo de unidades de conservação em áreas urbanas: desapropriação e incorporação de novas áreas**. In: Anais do III Simpósio Brasileiro de Unidades de Conservação. Vol. I. p. 177-186. Ceará, 2002.

MCNALLY, Richard; BRYANT, Richard; EHLERS, Anke. **“Does early psychological intervention promote recovery from post traumatic stress?”** Psychological Science in the Public Interest Sage Journals on line, 4,p. 45-79, 2003.

MENDOZA, G.A; MACOUN, P. **“The Criteria and Indicators Toolbox Series”**. In: Guidelines for Applying Multi-Criteria Analysis to the Assessment of Criteria and Indicators, v.9. Center for Internacional Forestry Research, 1999.

MESSNER, F.; MEYER, V. **“Flood Damage, vulnerability and risk perception-challenges for flood damage Research”**. In: Floodsite discussion paper, Leipzig, Alemanha, 2005.

MICHELS, C. et al. **Avaliação de risco à saúde humana em terminais de armazenamento de petróleo e derivados: estudos de casos**. XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Cuiabá, 2004.

MIGUEZ, M.G. **Modelo Matemático de Células de Escoamento para Bacias Urbanas**. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2001.

MIGUEZ, M.G.; MASCARENHAS, F.C.B.; MAGALHÃES, L.P.C. **Multifunctional landscapes for urban flood control in developing countries**. In: Second International Conference on Sustainable Planning & Development, Bologna/Italy. Proceedings of the Sustainable Planning/ Southampton and Boston: WITpress - Wessex Institute of Technology, 2005.

MIGUEZ, M.G., MAGALHÃES, L.P.C. **Urban Flood Control, Simulation and Management: an Integrated Approach**, 2010.

MIGUEZ, Marcelo Gomes; VERÓL, Aline Pires; REZENDE, Osvaldo Moura. **Drenagem Urbana: do projeto original à sustentabilidade**. 1 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

MILLETI, Dennis. **Disaster by Design**. Washington, DC: Joseph Henry Press, 1999.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **Anuário brasileiro de desastres naturais: 2013**. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres. Brasília: CENAD, 2014.

MONTEIRO, Simone Rocha da Rocha Pires. **O marco conceitual da vulnerabilidade social**. Sociedade em Debate, 17 (2): 29- 40. Pelotas,2011.

MORAIS, M. da. **Políticas sociais: breve diagnóstico sobre o quadro atual da habitação no Brasil**. IEPA: Brasília, DF, 2002.

MOREIRA, M.A. Tratamento de Dados Digitais. In: MOREIRA, A.P. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. Cap. 16 p. 263-288 .Viçosa: Editora UFV, 2003.

MONTE-MÓR, R.L.M. **Planejamento urbano no Brasil: emergência e consolidação**. Revista Eletrônica de Ciências Humanas e Sociais, vol. 1, nº 1 (4), p71-96, 2007

MOTTA, D. M. **Gestão do Uso do Solo Disfunções do Crescimento Urbano**, Volume 1: Instrumento de Planejamento e Gestão Urbana em Aglomerações Urbanas: Uma análise Comparativa, Brasília, 2002.

NAÇÕES UNIDAS (UNISDR). **Estratégia Internacional para Redução de Desastres: o desastre sob o enfoque de novas lentes: para cada efeito, uma causa / Brigitte Leoni, Tim Radford, Mark Schulman; tradução Sarah Marcela Chinchilla Cartagena**. São Paulo: CARE Brasil, 2012.

NASCIMENTO, N.O.; BATISTA, M.B. e DE SOUZA, V.C.B. **Sistema Hidrourb para o pré-dimensionamento de soluções compensatórias em drenagem urbana**. Anais do XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, CD-Rom, art. 330, Vitória, ES.,1997.

NORRIS, G. A. The requirement of congruence in normalization. International Journal of Life Cycle Assessment, v. 6, n. 2, p. 85-88, 2001.

NORRIS, Fran; STEVENS, Susan; PFEFFERBAUM, Betty; WYCHE, Karen; PFEFFERBAUM. Rose Community Resilience as a Metaphor. Theory set of capacities and Strategy for disaster readiness. “ American Journal of Community Psychology 41: 127-150, 2008.

NATIONAL DISASTER EDUCATION COALITION. (2004). Talking about disaster: Guide for standard messages. Washington, D.C. Disponível: www.disastereducation.org/guide.html. Acesso: 01 ago. 2016.

NWS/NOAA - NATIONAL WEATHER SERVICE/NATIONAL OCEANIC ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. Glossary, 2004. Disponível: <http://www.nws.noaa.gov/glossary/>. Acesso: 10 dez. 2015.

OECD. **Core Set of Indicators for Environmental Performance Reviews – a synthesis report by the Group on the State of the Environment**. Environmental Monographs. n.83. Paris, OECD,1993.

OLAVE, D. C. S. “**Sumário de indicadores e índices relacionados com la evaluación de la vulnerabilidad, la amenaza y el riesgo por eventos naturales**”. In: Programa de Información e Indicadores de Gestión de Riesgos de Desastres Naturales, BID – CEPAL – IDEA, Operación ATN/JF-7907-RG, Manizales, Colombia, 2003.

OLIVEIRA, Fernanda A.; MELLO, Eloy L.; CALIJURI, Maria L.; GUIMARÃES, André O. **Identificação e discriminação de áreas urbanas no entorno urbano de Ipantiga, Brasil**. Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestrutura Civil. vol.7 (1) 59,2006.

ONU HABITAT. **Estado de las ciudades de América Latina y el Caribe, 2012**. Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos, ONU HABITAT, 2012.

PRASAD, N.; RAHGHERI, F.; SHAH, F.; TROHANIS, Z.; KESSLER, E.; SINHA, R. **Climate resilient cities: a primer on reducing vulnerabilities to disasters**. Washington: The World Bank, 2009.

PARDALOS, P. M.; SISKOS, Y.; ZOPOUNIDIS, C. **Advances in multicriteria analysis. Nonconvex Optimization and its Applications**, v. 5. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 249p, 1995.

PARDO, Johana Andrea Rodriguez. **Metodologia para análise e gestão de riscos em pavimentos ferroviários**. Dissertação (Mestrado) - Escola de Minas, NUGEO, Universidade Federal de Ouro Preto, MG, 2009.

PEREIRA, AMS. **Resiliência, personalidade, stress e estratégias de coping**. In: Tavares J, (org.). Resiliência e educação. 2ª ed. p. 77-94. São Paulo: Cortez; 2001.

PEREIRA, E. D. **Avaliação da vulnerabilidade natural à contaminação do solo e do aquífero do reservatório Batatã – São Luís (MA)**. Rio Claro: UNESP. 2006. (Tese de Doutorado).

PEREIRA, E.D.; ZAINÉ, J.E. **Mapa Geológico - Geotécnico da bacia do rio Bacanga, São Luís (MA)**. São Paulo: UNESP, Geociências, v.26, n.1, p.45-54, 2007.

POMPERMAYER, Raquel de Souza. **Aplicação da análise multicritério em gestão de recursos hídricos: simulação para as bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá**.

Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, SP: [s.n.], 2003.

POMPÊO, C.A. **Drenagem Urbana Sustentável**. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.5, n.1, p.15-23, 2000.

PORATH, S. L. **A paisagem de rios urbanos**: a presença do Rio Itajaí-Açu na cidade de Blumenau. 150f. Mestrado em Arquitetura e Urbanismo – UFSC. Santa Catarina, 2004. (Dissertação de Mestrado).

PREFEITURA DE SÃO LUÍS. Plano Diretor do Município de São Luís: **Lei 4669 de 11 de outubro de 2006**. São Luís: Secretaria Municipal de Governo, 2006.

PREFEITURA DE SÃO LUÍS. Zoneamento, Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo Urbano: **Lei 3.253 de 29 de dezembro 1992**. São Luís: Secretaria Municipal de Governo, 1992.

RANGEL, M.E.S. **Contribuição dos dados integrados dos sistemas sensores TM/Landsat-5 e ERS-1/SAR para o estudo de uso e cobertura da terra no nordeste da ilha do Maranhão**. São José dos Campos: INPE, 112p., 2000.

REINALDO JUNIOR, B. **Formação do espaço urbano de São Luís: 1612 – 1991**. 2ª Ed.: Editora do Autor, FUNC., São Luís, 2001.

RICHARDS, J.A. **Remote sensing digital image analysis: an introduction**. 3.ed. Berlin: Springer-Verlag, 340 p., 1995.

ROBAINA, L.E.S Espaço urbano: relação com acidentes e desastres naturais no Brasil. Ciências e Natureza, UFSM, 30 (2): 93-105, 2008.

ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento: Tecnologia Transdisciplinar**. Juíz de Fora, MG: Ed. Do Autor, 220p., 2000.

SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process**. McGraw-Hill, New York, 1980.

SANTOS, Orlando Alves dos; MONTANDON, Daniel Todtmann (orgs.). **Os planos diretores municipais pós -estatuto da cidade**: balanço crítico e perspectivas. Rio de Janeiro: Letra Capital: Observatório das Cidades: IPPUR/UFRJ, 2011.

SANTOS, R.N.C. **Enquadramento das Análises de Risco em Geotecnia**. Laboratório Nacional de Engenharia Civil – LNEC: Dissertação (Mestrado). Lisboa, 2007.

SANTOS, M. **Espaço e Método**. São Paulo, Nobel, 1985.

SÃO LUÍS, Prefeitura Municipal. **Plano da paisagem urbana do município de São Luís. Instituto Municipal da Paisagem Urbana, IMPUR**. São Luís: Rosa Grena Kliass Arquitetura Paisagística e Projetos Ltda./Oicos Arquitetos Associados Ltda., 2007.

SEVÁ FILHO, A. O. **No limite dos riscos e da dominação**: a politização dos investimentos industriais de grande porte. 1988. Tese (Livre-Docência) - Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 1988.

SHUTZER, J. **Cidade e Meio ambiente: a apropriação do relevo no desenho ambiental urbano**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2012.

SINGER, Paul. **Economia Política da Urbanização**. São Paulo: Brasiliense, 1985.

SILVA, Q.D. da. **Dinâmica do processo de periferização em São Luís - MA**. São Luís, 1995. (Monografia de Graduação).

STARR, C. "Social benefit versus technological risk: what is our society willing to pay for safety?" *Science*, 165:1232-38,1969.

SWISS RE (2010) **The essential guide to reinsurance**. Zurich. Zwitterland.

TECLE, A.; DUCKSTEIN, L. **Concepts of Multicriterion Decision Making**. In: Bogardi, J. J.; Nachtnabel, H.-P. (eds) *Multicriteria Decision Analysis in Water Management*, 1st ed, Chap.3, Paris, Unesco, 1994.

TOBIN, G. A; MONTZ, B. E. **Natural hazards: explanation and integration**. New York: The Guilford Press. 388 p, 1997.

TORONTO AND REGION CONSERVATION. **Water Budget Discussion Paper, Gartner Lee Ltd, Toronto**. 37p., 2006. Disponível em: <http://www.sustainabletechnologies.ca>. Acesso em: 02 mai. 2016.

TROVÃO, J.R. **Transformações sociais e econômicas no espaço rural da Ilha do Maranhão**. Doutorado em Organização do Espaço - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP. Rio Claro, 235 p.,1994.

TUCCI, C.E.M. Aspectos Institucionais no Controle de Inundações. I Seminário de Recursos Hídricos do Centro Oeste. Brasília, 1999.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre, RG: UFRGS, 2001.

TUCCI, C.E.M. **Inundações Urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.

TUCCI, C.E.M. **Gestão das inundações urbanas**. Porto Alegre, 2005.

TUCCI, C. E. M. **Urban Flood Management. Global Water Partnership, WMO – World Meteorologic Organisation, Cap-Net**. Maio, 2007

UFMA/LABOHIDRO. **Zoneamento costeiro do Estado do Maranhão**. (Relatório Técnico). São Luís, 286 p, 2003.

UNITED NATIONS. **World Urbanization Propects: The 2009 Revision**. New York, NY: UN Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2009.

UN-ISDR. **International Strategy for Disaster Reduction**. Terminology on Disaster Risk Reduction, 2009. Disponível em <http://www.unisdr.org>. Acesso: 27mar 2016.

UNISDR (United Nations International Strategy for Redution). Global Assessment Reporton Disaster Risk Redution: Revealing Risk. Redefininng Development Geneia, 2011. Disponível: <http://www.unisdr.org/we/inform/Publications/19846>. Acesso: 15 mar 2016.

UNISDR (2012) Como Construir Cidades Mais Resilientes - Um Guia para Gestores Públicos Locais, United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva.

UPTION, S.; IBRAHIN, M. “**Resiliencein Practice**”. Programme Briefing Paper, Practical Action, Rugby, UK., 2012. Disponível: <http://praticalation.org/resilience-in-practice>. Acesso: 27 set.2016.

VIEILLARD-BARON, H. **Os riscos sociais**. In: VEYRET, Y. (Org.) Os Riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente. São Paulo: Contexto, p. 275-316, 2007.

VULNERÁVEL. In: SÉGUIER, Jaime de. **Dicionário prático ilustrado**. Porto: Chardron, 1935. p., 1779.

XAVIER DA SILVA. Jorge. **Geomorfologia, Análise Ambiental e Geoprocessamento**. Revista Brasileira de Geomorfologia.vol.1, nº1, p.48-58, 2000.

ZAHED, F.K.; MARCELLINI, S.S. (1995). **Precipitações Máximas**. In: Tucci, C.E.M.; Porto, R.L.; Barros, M.T. (organizadores) Drenagem Urbana, Coleção ABRH de Recursos Hídricos, vol.5, Editora da Universidade, Porto Alegre.

ZANIRATO, S. H. et al. **Sentidos do risco**: interpretações teóricas. *Biblio 3W*, Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales, v.XIII, n.785, 2008. Disponível em: <<http://www.ub.es/geocrit/b3w-785.htm>> Acesso em: nov. de 2016.

ZONENSEIN, J. **Índice de risco de cheia como ferramenta de gestão de enchentes**. Dissertação de Mestrado em Ciências em Engenharia Civil. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2007.

ZUFFO, A. C. **Seleção e aplicação de métodos multicriteriais ao planejamento ambiental de recursos hídricos**. 301p. Tese de Doutorado – Escola de Engenharia de São Carlos, Faculdade de Engenharia Civil, São Carlos. 1998.