

UFRRJ

INSTITUTO DE AGRONOMIA

INSTITUTO MULTIDISCIPLINAR

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

DISSERTAÇÃO

**Avaliação da suscetibilidade a eventos de
inundação: uma análise sobre a Região
Administrativa de Mambucaba (Angra dos
Reis/RJ)**

**Isabella Mont'Alvão Pedro
Irmão**

2020



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO

INSTITUTO DE AGRONOMIA

INSTITUTO MULTIDISCIPLINAR



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**AVALIAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE A EVENTOS DE
INUNDAÇÃO: UMA ANÁLISE SOBRE A REGIÃO
ADMINISTRATIVA DE MAMBUCABA (ANGRA DOS REIS/RJ)**

ISABELLA MONT'ALVÃO PEDRO IRMÃO

Sob orientação do Professor

Tiago Badre Marino

e Co-orientação da Professora

Helena Saraiva Koenow Pinheiro

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Geografia**, no Programa de Pós-Graduação em Geografia, Área de Concentração “Espaço, Questões Ambientais, e Formação em Geografia”.

Seropédica, RJ
Setembro, 2020

FICHA CATALOGRÁFICA

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

I65a Irmão, Isabella Mont'Alvão Pedro , 1996-
Avaliação da suscetibilidade a eventos de inundação:
uma análise sobre a Região Administrativa de
Mambucaba (Angra dos Reis/RJ) / Isabella Mont'Alvão
Pedro Irmão. - Seropédica, 2020.
76 f.: il.

Orientador: Tiago Badre Marino.
Coorientadora: Helena Saraiva Koenow Pinheiro.
Dissertação (Mestrado). -- Universidade Federal
Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós Graduação em
Geografia, 2020.

1. Risco. 2. SIG. 3. Chuvas. 4. Desastres
naturais. I. Marino, Tiago Badre , 1982-, orient. II.
Pinheiro, Helena Saraiva Koenow, 1985-, coorient. III
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.
Programa de Pós Graduação em Geografia. IV. Título.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA



HOMOLOGAÇÃO DE DISSERTAÇÃO DE Mestrado Nº 45 / 2020 - DeGEOIA (11.39.39)

Nº do Protocolo: 23083.044715/2020-59

Seropédica-RJ, 08 de setembro de 2020.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA/INSTITUTO MULTIDISCIPLINAR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
ISABELLA MONT'ALVÃO PEDRO IRMÃO

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestra em Geografia**, no Programa de Pós-Graduação em Geografia, área de concentração em Espaço, Questões Ambientais e Formação em Geografia.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 08/09/2020.

Conforme deliberação número 001/2020 da PROPPG-UFRRJ, de 30/06/2020, tendo em vista a implementação de trabalho remoto e durante a vigência do período de suspensão das atividades acadêmicas presenciais, em virtude das medidas adotadas para reduzir a propagação da pandemia de Covid-19, nas versões finais das teses e dissertações as assinaturas originais dos membros da banca examinadora poderão ser substituídas por documento(s) com assinaturas eletrônicas. Estas devem ser feitas na própria folha de assinaturas, através do SIPAC, ou do Sistema Eletrônico de Informações (SEI) e, neste caso, a folha com a assinatura deve constar como anexo ao final da tese/dissertação.

Tiago Badre Marino. Dr. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

(Orientador, presidente da banca)

Bruno Araújo Furtado de Mendonça. Dr. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

(membro da banca)

Francisco de Assis Dourado da Silva. Dr. Universidade do Estado do Rio de Janeiro

(membro da banca)

(Assinado digitalmente em 10/09/2020 17:51)
BRUNO ARAUJO FURTADO DE MENDONÇA
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DeptSii (12.28.01.00.00.00.31)
Matricula: 2145654

(Assinado digitalmente em 08/09/2020 22:08)
TIAGO BADRE MARINO
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DeGEOIA (11.39.39)
Matricula: 1739229

(Assinado digitalmente em 09/09/2020 08:44)
FRANCISCO DE ASSIS DOURADO DA SILVA
ASSINANTE EXTERNO
CPF: 475.719.422-68

Para verificar a autenticidade deste documento entre em
<https://sipac.ufrj.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: **45**, ano:
2020, tipo: **HOMOLOGAÇÃO DE DISSERTAÇÃO DE Mestrado**, data de emissão:
08/09/2020 e o código de verificação: **9c75a5dac0**

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, por todo apoio e incentivo, mostrando-me sempre o valor que a educação possui. Sem eles nada disso seria possível, com muita dedicação e suporte nos momentos mais difíceis dessa caminhada.

Aos meus orientadores Tiago e Helena sou grata por toda confiança depositada em mim, ajuda e ensinamentos que com certeza levarei para além da universidade. Obrigada por toda paciência e compreensão em um período com tantas incertezas e inseguranças.

Agradeço também aos professores e profissionais que de alguma forma estiveram envolvidos nesse trabalho, podendo colaborar e dando auxílio em diversos assuntos.

Fica aqui a minha gratidão por mais essa etapa cumprida, mesmo em meio a tantas dificuldades. Serei imensamente agradecida pelo privilégio de poder fazer parte da UFRRJ e por ter conhecido pessoas que agregassem tanto em minha vida!

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001.

RESUMO

IRMÃO, Isabella Mont'Alvão Pedro. **Avaliação da suscetibilidade a eventos de inundação: uma análise sobre a Região Administrativa de Mambucaba (Angra dos Reis/RJ)**. 2020. 77p. Dissertação (Mestrado em Geografia). Instituto de Agronomia/Instituto Multidisciplinar, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2020.

Os estudos acerca de desastres naturais tornam-se cada vez mais relevantes, tendo em vista o intenso processo de urbanização que tem se desenvolvido nas grandes cidades. A Região Administrativa de Mambucaba, localizada em Angra dos Reis, no Rio de Janeiro, conta com bairros que apresentam suscetibilidade a eventos de inundação mediante suas características físicas. O processo de ocupação que se sucedeu nessa região iniciou-se de forma desordenada, com transformações significantes na paisagem que contribuem ainda mais para a ampliação dos riscos a desastres naturais, apresentando formas de uso e ocupação do solo que demonstram a necessidade de um planejamento urbano da área. Esta área é marcada por grandes intervenções antrópicas, vinculadas a ocupações irregulares e fortes alterações nas dinâmicas dos processos naturais, como transporte de sedimentos fluviais e escoamento superficial. Levando-se em conta a vulnerabilidade socioambiental desta região em estudo, busca-se tratar dos eventos de inundação nessa região através do uso do Geoprocessamento, visando realizar uma análise a respeito da suscetibilidade por meio do uso de 3 modelos avaliativos de suscetibilidade a inundações elaborados para a bacia hidrográfica da área em estudo. A metodologia deste trabalho consiste em uma análise ambiental, no qual se utilizou dados de caráter físico e biótico, abordando fatores significantes para a ocorrência desses eventos. Para se atingir tal propósito, o trabalho foi desenvolvido com suporte de Sistemas de Informações Geográficas para realizar a associação destes fatores. Dessa maneira, o uso de geotecnologias possibilitou uma análise preliminar a respeito das inundações na região em estudo, com validação dos modelos com base em dados da Defesa Civil na execução do método de índices de acertos ponderados. Sendo assim, todos os modelos mostraram um índice de acerto ponderado significativo em relação à precisão de ocorrência de eventos de inundação na área. Foi possível então a realização de uma avaliação física da área em estudo e também de cunho social, onde a condição que a população desse ambiente se encontra perante esses eventos é determinante para que se haja a elaboração de um planejamento territorial e gestão dos riscos.

Palavras chave: Risco; SIG; Chuvas; Desastres Naturais.

ABSTRACT

IRMÃO, Isabella Mont'Alvão Pedro. **Assessment of susceptibility to flood events: an analysis of the Administrative Region of Mambucaba (Angra dos Reis/RJ)**. 2020. 77p. Dissertation (Master in Geography). Agronomy Institute / Multidisciplinary Institute, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2020.

Studies on natural disasters are becoming increasingly relevant, in view of the intense urbanization process that has developed in large cities. The Administrative Region of Mambucaba, located in Angra dos Reis, in Rio de Janeiro, has neighborhoods that are susceptible to flood events due to their physical characteristics. The occupation process that took place in this region started in a disorganized way, with significant changes in the landscape that contribute even more to the expansion of risks to natural disasters, forms of land use and occupation that demonstrate the need for urban planning of the city. area. This area is marked by major anthropic interventions, linked to irregular occupations and strong changes in the dynamics of natural processes, such as river sediment transport and runoff. Taking into account the socio-environmental vulnerability of this region under study, seeking to deal with the flood events in that region through the use of Geoprocessing, if carrying out an analysis of susceptibility through the use of 3 assessed models of susceptibility to floods elaborated for the hydrographic basin of the study area. The methodology of this work consists of an environmental analysis, in which physical and biotic data are used, addressing significant factors for the occurrence of events. To achieve this purpose, the work was developed with the support of Geographic Information Systems to make an association of these factors. Thus, the use of geotechnologies enabled a preliminary analysis regarding the floods in the region under study, with validation of the models based on Civil Defense data in the execution of the weighted hit index method. Thus, all models mitigated a significant weighted hit ratio in relation to the occurrence of flood events in the area. It was then possible to carry out a physical evaluation of the area under study and also of a social nature, where a condition that the population of this environment is faced with these events is crucial for planning territorial planning and risk management.

Keywords: Risk; GIS; Rain; Natural disasters.

LISTA DE ABREVIACOES E SIMBOLOS

APP	rea de Preservação Permanente
IBGE	Instituto Nacional de Geografia e Estatística
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
HAND	Height Above the Nearest Drainage
IAP	ndice de Acerto Ponderado
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
MDE-HC	Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente
PPRN	Planos de Prevenção de Riscos Naturais
SAGA	Sistema de Avaliação Geo-Ambiental
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SWI	SAGA Wetness Index
TWI	Topographic Wetness Index

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Relação entre eventos e desastres naturais (MARCELINO, 2008).	5
Figura 2: Perfil esquemático do processo de enchente e inundação (MINISTÉRIO DAS CIDADES/IPT, 2007).	6
Figura 3: Tipos de desastres naturais ocorridos no Brasil entre 1900 e 2006 (MARCELINO, 2008).	7
Figura 4: Hidrograma hipotético de uma área urbanizada e não urbanizada (TUCCI, 2007).	8
Figura 5: Características do balanço hídrico (TUCCI E BERTONI, 2003).	11
Figura 6: Número de Desastres Naturais de Inundação ocorridos no Rio de Janeiro nos anos de 1966 a 2020 (EM-DAT, 2020).	12
Figura 7: Relação entre perigo e risco (TOBIN E MONTZ, 1997).	17
Figura 8: Mapa referente à bacia hidrográfica que compreende a Região Administrativa de Mambucaba e seus respectivos bairros.	23
Figura 9: Classificação dos solos da Bacia Hidrográfica correspondente à Região Administrativa de Mambucaba (CARVALHO FILHO et al., 2003), com adaptação para a versão atual do SiBCS (2018).	25
Figura 10: Índices de precipitação no bairro Mambucaba (CPRM,2014).	33
Figura 11: Inundação ocorrida nos bairros Parque Mambucaba e Parque Perequê (DEFESA CIVIL DE ANGRA DOS REIS, 2010).	27
Figura 13: Localização dos imóveis em áreas de risco no Parque Perequê (DEFESA CIVIL, 2019).	29
Figura 14: Fluxograma metodológico sobre o processo de análise da suscetibilidade a inundações.	30
Figura 15: Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente.	32
Figura 16: Mapa de Declividade da área de estudo.	33
Figura 17: Árvore de decisão criada para a avaliação de suscetibilidade a inundações. 35	
Figura 18: Rasters gerados no SAGA GIS: Vertical Distance to Channel Network, Valley Index, Topographic Wetness Index e Channel Network Base Level.	38
Figura 19: Etapas do processamento do modelo HAND (RENNÓ et al., 2008).	40
Figura 20: Mapa de Suscetibilidade a Inundações gerado pela Avaliação Ambiental no SAGA/UFRJ.	44
Figura 21: Mapa de Suscetibilidade a Inundações gerado no ArcGIS por Álgebra de Mapas.	46
Figura 22: Mapa de Suscetibilidade a Inundações gerado pelo modelo HAND.	48
Figura 23: Localização dos casos de inundações registrados pela Defesa Civil de Angra dos Reis (DEFESA CIVIL, 2018).	50
Figura 24: Relação entre a suscetibilidade a inundações nos bairros da Região Administrativa de Mambucaba, gerada pelos 3 modelos avaliativos utilizados.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dados referentes aos processamentos	29
Tabela 2: Valores atribuídos às classes de cada parâmetro.	36
Tabela 3: Simbologia utilizada para reclassificação dos rasters.	38
Tabela 4: Valores atribuídos para reclassificação dos rasters.	39
Tabela 5: Grupos, pesos e justificativas das ponderações (MARINO, 2008).	41
Tabela 6: Classes de Suscetibilidade no SAGA/UFRJ.	43
Tabela 7: Áreas referentes às classes de suscetibilidade da Avaliação Ambiental.	45
Tabela 8: Classes de suscetibilidade.	45
Tabela 9: Áreas referentes às classes de suscetibilidade da Álgebra de Mapas.	47
Tabela 10: Classes em relação a suscetibilidade à inundação.	47
Tabela 11: Áreas referentes às classes de suscetibilidade do HAND.	49
Tabela 12: Cálculos dos índices de acertos ponderados.....	51
Tabela 13: Percentuais referentes às classes de suscetibilidade dos modelos avaliativos de inundação.	53

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1 Desastres Naturais	5
2.2 Inundações.....	6
2.3 Suscetibilidade	13
2.4 Vulnerabilidade	14
2.5 Risco.....	16
2.6 Geoprocessamento e Sistemas de Informações Geográficas (SIGs)	19
3. OBJETIVOS	22
3.1 Objetivos Gerais.....	22
3.2 Objetivos específicos.....	22
4. MATERIAIS E MÉTODOS	22
4.1 Área de estudo.....	23
4.2 Procedimentos de análise ambiental.....	29
4.2.1 Método 1: Avaliação Ambiental (SAGA/UFRJ)	34
4.2.2 Método 2: Álgebra de Mapas (ArcGIS)	37
4.2.3 Método 3: HAND (<i>Height Above the Nearest Drainage</i>).....	39
4.2.4 Validação por Cálculo de Índice de Acerto Ponderado.....	41
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
5.1 Método 1	42
5.2 Método 2	45
5.3 Método 3	47
5.4 Validação.....	49
6. CONCLUSÕES	53
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57

1. INTRODUÇÃO

Em um cenário em que a urbanização ocorre de forma acelerada e desordenada, os desastres naturais tornam-se cada vez mais frequentes, à medida que áreas com grande suscetibilidade a eventos naturais tornam-se ambientes com elevado grau de vulnerabilidade por conta das variadas transformações que o processo de urbanização promove na paisagem. Uma das grandes consequências desse processo é a ampliação da ocorrência de inundações.

De acordo com Almeida (2012), a elevação das desigualdades sociais, da pobreza e segregação socioespacial, derivada do modelo de produção capitalista e processos de industrialização e urbanização, faz surgir na década de 80 um enfoque nos desastres naturais, não somente sob o ponto de vista dos fatores físico-naturais, mas com base também nas populações afetadas. Nesse período, houve então o questionamento sobre a razão das populações estarem se tornando mais vulneráveis aos perigos ambientais.

Observa-se que o processo de urbanização acontece de forma espontânea nas grandes metrópoles, porém o planejamento urbano é realizado apenas para a parte da cidade ocupada por uma população de média e alta renda, enquanto que para as áreas de baixa renda e desfavorecidas economicamente o processo ocorre de maneira irregular ou clandestina (BARBOSA, 2006).

Em decorrência do elevado uso dos recursos naturais, num cenário de intensa influência econômica na busca pela produtividade e lucros, nota-se hoje uma maior preocupação em relação às consequências ambientais, em decorrência da relação entre o homem e a natureza. O planejamento então se apresenta como um instrumento necessário, que possui a capacidade de evitar e prever possíveis danos ao meio ambiente, considerando que a paisagem possui um caráter heterogêneo que necessita de que as ações sejam manejadas e acompanhadas dentro desse sistema complexo.

As influências do processo de urbanização no ambiente podem ser observadas a partir da análise do ciclo hidrológico, no qual a ação das águas é determinante no meio natural. Com a elevação dos centros urbanos aumenta-se o escoamento e os processos de evapotranspiração e infiltração são minimizados, gerando grandes problemas nos cursos de drenagem natural e conseqüentemente, provocando inundações.

Um fato importante a ser analisado é que o ser humano é capaz de aperfeiçoar as técnicas de apropriação e transformação do meio em que ele se encontra, porém não

desenvolveu a consciência sobre as limitações do espaço e o uso racional dos recursos presentes nele, utilizando-o muitas vezes de forma indevida. Segundo Monteiro (1991), a função do homem é algo determinante na construção do espaço urbano, considerando este fato, o ambiente urbano está sujeito a diversas formas de perigos, estimuladas por ações antrópicas juntamente a fatores naturais.

O forte crescimento demográfico observado nas últimas décadas no país se apresenta concomitantemente a um intenso processo de urbanização, que deu origem às chamadas “regiões metropolitanas”. Todavia, esse rápido processo é então gerador de áreas com pouca infraestrutura, que se tornam então ambientes de grande vulnerabilidade social. De acordo Saito (2004), os desastres naturais assumem uma proporção ainda maior quando acontecem em áreas urbanas, principalmente em locais com grandes concentrações populacionais.

A ocorrência de inundações tornou-se um problema crônico das grandes cidades, que com um processo de urbanização desenfreada, apresentam a carência de um planejamento de uso ocupação do solo, em relação à fixação de moradias em locais inadequados e à falta de fiscalização quanto às ocupações irregulares. Sendo assim, os riscos a inundações nessas áreas se elevam e demonstram como as grandes transformações no meio são capazes de alterar a dinâmica natural da paisagem.

Mendonça (2004) relata que os problemas por conta da relação entre o homem e a natureza são frequentes nos ambientes urbanos. Os casos de extrema gravidade podem ser manifestados através de processos de exclusão e segregação social, demonstrando uma complexa realidade dos problemas ambientais ali existentes.

Mediante isto, os efeitos gerados por conta de episódios de inundações são inúmeros, provocando graves prejuízos socioeconômicos que demonstram a carência de um planejamento ambiental e urbano. Dessa forma, observa-se que o processo de ocupação de forma desordenada torna esses ambientes cada vez mais fragilizados e vulneráveis, aumentando então os riscos ambientais (incêndios, deslizamentos, inundações, etc.). Segundo Thomaziello (2007), a melhoria da qualidade ambiental só será possível quando o processo de ocupação e de interferência antrópica for estabelecido de forma harmônica com os arranjos e funções imprescindíveis das dinâmicas naturais.

O uso irregular dos recursos naturais, a ocupação de áreas com maior suscetibilidade a eventos naturais e o desmatamento são as principais causas que motivam a ocorrência de desastres naturais no país, sendo necessária a criação de

estratégias para a redução de desastres baseando-se no desenvolvimento sustentável, com enfoque em proposições que busquem fortalecer políticas de ordenamento territorial com ênfase na gestão ambiental, concomitantes a políticas de acesso à habitação, às políticas de combate ao desmatamento e à degradação de áreas vulneráveis (MAFFRA E MAZZOLA, 2007).

Segundo Stumbo Filho et al. (2018), o processo de ocupação de Angra dos Reis foi derivado dos ciclos do açúcar, ouro e café, seguidos de uma intensa expansão urbana por conta da instalação de indústrias e avanço do turismo. Isso resultou em grandes impactos à paisagem e uma ocupação desordenada do solo, com construções em encostas, em planícies inundáveis e próximas a manguezais. Mediante isto, a supervalorização imobiliária de determinadas áreas no município fez com que houvesse um processo de ocupação irregular nesses locais, onde muitas das vezes são caracterizados como áreas de preservação ambiental e deveriam ser conservadas.

Essa expansão do processo de ocupação tem influências de três grandes projetos que conduziram fortes transformações espaciais no município de Angra dos Reis: A criação da rodovia BR-101; a instalação do terminal marítimo da Petrobras e a criação da usina Angra I, localizada no distrito de Mambucaba, sendo responsável por um acentuado aumento da população nessa região (STUMBO FILHO et al., 2018).

Durante o período militar, a partir da duplicação de trechos da rodovia Presidente Dutra e construção da rodovia BR-101 ocorreu o desenvolvimento turístico da Baía de Ilha grande, que passa a receber investimentos para imóveis e hotéis. Nesse mesmo período, em vista de um planejamento estratégico com base na implantação de uma infraestrutura logística, Angra dos Reis recebeu em 1972 as usinas nucleares do Projeto Nuclear Brasileiro (FREITAS, 2018).

Sendo assim, a instalação desse projeto nuclear resultou na atração de migrantes de diversas partes do estado do Rio de Janeiro, fazendo com que muitos indivíduos viessem a residir no entorno desses empreendimentos, gerando assim um aumento populacional e uma ocupação não planejada.

Com a implantação da rodovia Rio-Santos (BR-101), pôde-se observar um acelerado crescimento da malha urbana sobre a baixada do Rio Mambucaba, e de empreendimentos imobiliários com fins turísticos, retirando a vegetação original dessas planícies e aterrando áreas de mangue. A ocupação dessa planície, na periferia de Angra dos Reis, é um exemplo importante dessa situação, sendo caracterizada como uma área de grande suscetibilidade à inundação e fragilidade ambiental (CPRM, 2014).

Um importante fator a ser tratado são as ocupações em áreas de preservação permanente. De acordo o trabalho de Stumbo Filho et al. (2018) há 107 lotes localizados no Parque Mambucaba em desacordo com a legislação, que prevê uma faixa de 50 m a partir do leito regular do Rio Mambucaba.

As transformações da paisagem ao longo do tempo foram intensificadas por ações de origem antrópica, como a remoção da cobertura vegetal, formação de trilhas e ocupações esparsas. Conseqüentemente, a modificação da paisagem da Bacia Hidrográfica do rio Mambucaba observada nos últimos anos está historicamente associada aos processos de ocupação ocorridos, tanto para a exploração direta de recursos naturais, quanto para a implementação de atividades agrícolas (IBAMA, 2001).

A qualidade e volume das águas vêm sendo prejudicada pelo assoreamento dos rios, em consequência dos desmatamentos e erosões decorrentes do uso inadequado do solo pelas atividades agropecuárias e desenvolvimento urbano. Nas áreas planas litorâneas os principais impactos ambientais são derivados da drenagem de solos para fins de saneamento, uso agrícola ou urbanização, e do assoreamento dos rios e de mangue, com modificação no aporte de sedimentos, volume de nutrientes, entre outros (FREITAS, 2018).

Nota-se que esta região funciona como um relevante reservatório de água no solo, com armazenamento proporcionado pelo alto índice de precipitação total anual, pelo relevo e pela ocorrência de cobertura vegetal, entretanto durante os períodos chuvosos mais intensos, quando os canais fluviais apresentam os picos de vazão, o registro de cheias é frequente. Isso é observado a partir dos dados do CPRM (2014) que mostram registros de precipitações muito altas, principalmente no período que corresponde ao verão. Além disso, informações da Defesa Civil apresentam um histórico de registros de eventos deste tipo, em grande parte nesta época, demonstrando grandes riscos de ocorrência de inundações na área de estudo.

Segundo Salgado et al. (2007), os fatores latitude e proximidade do mar formam condições de elevada radiação solar, ocasionando assim umidade e núcleos de condensação, que associados à posição da Serra do Mar em relação à trajetória dos sistemas frontais e linhas de instabilidade, ocasionam uma pluviosidade superior a 2000 mm ao ano na região de Angra dos Reis, favorecendo então a ocorrência de inundações. Além disso, outros fatores também favorecem a ocorrência desses eventos nessa área, como vegetação, solos, morfologia do canal e características da bacia hidrográfica, que

somados as formas de uso e ocupação presentes podem resultar no desmatamento, compactação e impermeabilização dos solos mediante o processo de urbanização.

Pode-se observar que a ocorrência de desastres naturais demonstra os limites quanto ao uso e ocupação do solo. Dessa maneira, procura-se tratar nesse trabalho acerca das inundações na Região Administrativa de Mambucaba, em Angra dos Reis, tendo por base a bacia hidrográfica que compreende a área de estudo, juntamente com o auxílio das ferramentas de Geoprocessamento, buscando avaliar a suscetibilidade à ocorrência de eventos desse tipo nessa região, por meio da análise combinada de fatores ambientais.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Desastres Naturais

Os diversos eventos naturais podem ocorrer devido a sua própria dinâmica natural ou por influência antrópica. Quando esses eventos causam perdas materiais ou de vidas, passam a ser tratados como desastres. Segundo Marcelino (2008), caso o impacto gere danos e prejuízos extensivos de difícil superação pelo sistema social afetado, o evento é então definido como um desastre, conforme é explicitado na figura abaixo.

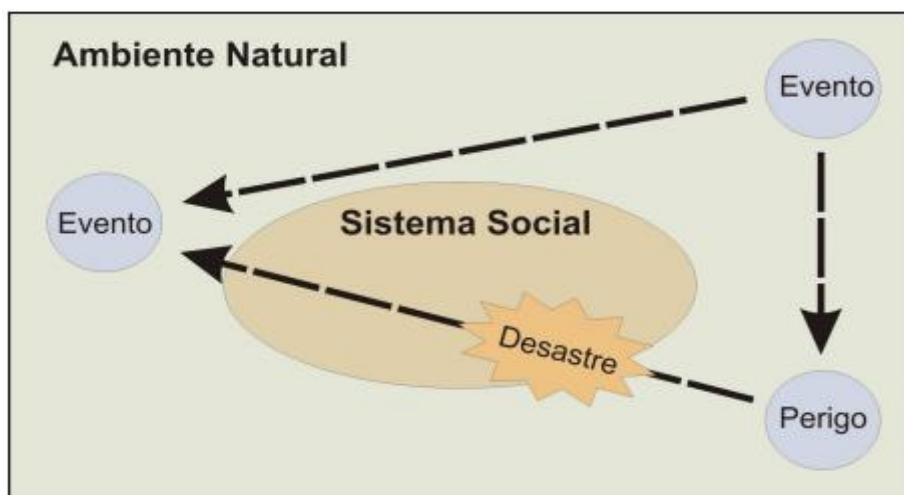


Figura 1: Relação entre eventos e desastres naturais (MARCELINO, 2008).

Os desastres naturais são explicados como resultado do impacto de um fenômeno natural extremo ou intenso sobre um sistema social, gerando grandes prejuízos àqueles que são impactados. (TOBIN e MONTZ, 1997).

De acordo com Tominaga (2009), a ocorrência de desastres naturais não está ligada somente a intensidade dos fenômenos naturais, mas também ao rápido processo

de urbanização ocorrido nas últimas décadas no Brasil, gerando um intenso desenvolvimento das cidades, que em diversas vezes muitos locais não se encontram apropriados à habitação.

No Brasil os tipos de desastres naturais mais comuns estão relacionados a instabilidades atmosféricas, como por exemplo inundações, enchentes, escorregamentos e deslizamentos, ligados a ocorrência de chuvas intensas juntamente a outros fatores ambientais. Esses períodos de fortes precipitações são caracterizados na maioria das vezes pelos meses correspondentes ao verão nas regiões Sul e Sudeste e ao inverno no Nordeste (MARCELINO, 2008).

É notável a relevância dos estudos sobre desastres naturais, fazendo-se necessário ações de caráter preventivo que busquem minimizar os riscos presentes nesses ambientes. Além disso, o planejamento urbano é um elemento imprescindível na prevenção de eventos críticos, à medida que o controle do uso e ocupação do solo faz com que os grupos sociais se apresentem menos vulneráveis à ocorrência de desastres.

2.2 Inundações

Neste trabalho trata-se do conceito de inundações, considerando que as enchentes são o aumento do nível de água no canal de drenagem sem que haja o transbordamento (MINISTÉRIO DAS CIDADES/IPT, 2007). A diferenciação entre esses dois fenômenos pode ser observada através da ilustração a seguir.



Figura 2: Perfil esquemático do processo de enchente e inundação (MINISTÉRIO DAS CIDADES/IPT, 2007).

De acordo com Carvalho et al. (2007), o conceito de inundação é o processo de extravasamento das águas do canal de drenagem para as áreas marginais (planície de

inundação, várzea ou leito maior do rio), diferentemente do conceito de enchente, onde o processo alcança a cota além do nível máximo da calha principal do rio. A ocorrência desses fenômenos está relacionada às características geológicas, topográficas e morfológicas da bacia hidrográfica.

As características morfométricas da bacia hidrográfica demonstram aspectos relevantes do terreno, como a infiltração, velocidade do escoamento e quantidade de chuva que atinge o rio, que estão ligados diretamente ao grau de suscetibilidade a processos de inundação (BITAR, 2014).

Segundo Marcelino (2008), as inundações são consideradas um dos eventos mais frequentes no território brasileiro, responsáveis por um grande número de perdas materiais e também humanas. Esses eventos correspondem cerca de 59% dos desastres naturais que ocorrem em território brasileiro (Figura 3).

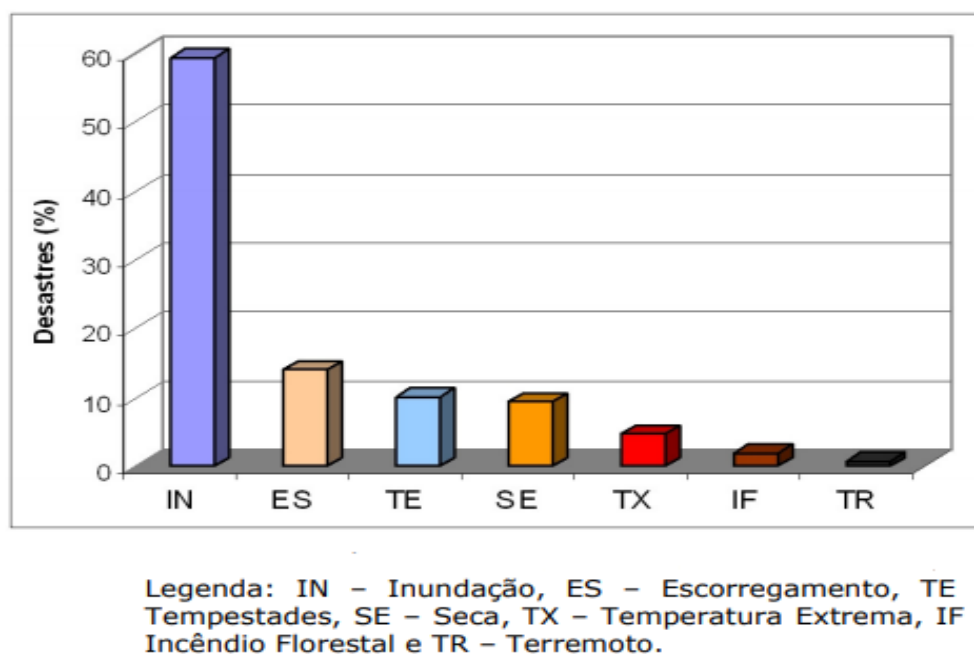


Figura 3: Tipos de desastres naturais ocorridos no Brasil entre 1900 e 2006 (MARCELINO, 2008).

Os fenômenos de inundações urbanas são acontecimentos antigos e ocorrem quando as águas dos diferentes cursos d'água saem do leito de escoamento devido à falta de capacidade de transporte destes sistemas, ocupando assim áreas onde a população utiliza para moradia, transporte, lazer e etc (TUCCI, 2007).

As planícies de inundação, conhecidas também como várzea, são áreas que regularmente serão afetadas pelo transbordamento dos cursos d'água em períodos

intensos de chuvas, sendo então locais inapropriados à ocupação. Essas áreas são formadas por depósitos estabelecidos após contínuos episódios de inundações caracterizados pelos processos geomorfológicos que apresentam registros prolongados de medição (HUGGETT, 2007).

Segundo Tucci (2007), as inundações urbanas são resultantes de dois processos: enchentes em áreas ribeirinhas, que ocorrem de forma natural e atinge a população que ocupa os leitos do rio por ausência de planejamento, ou através da urbanização, que gera efeitos no aparelho urbano em relação aos recursos hídricos. Os impactos das inundações urbanas podem ser observados por meio da figura 4, demonstrando o aumento da vazão máxima, a antecipação do pico e o aumento do volume do escoamento superficial.

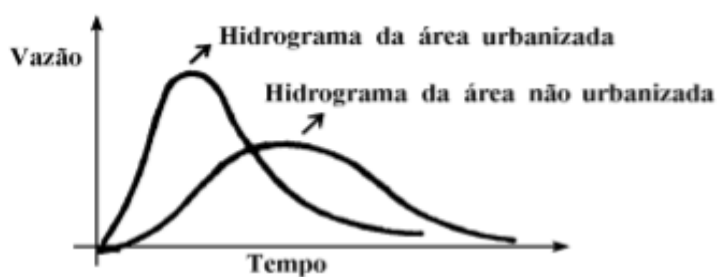


Figura 4: Hidrograma hipotético de uma área urbanizada e não urbanizada (TUCCI, 2007).

Segundo Amaral e Ribeiro (2009), as inundações são eventos naturais que acontecem com periodicidade nos cursos d'água, frequentemente desencadeados por chuvas intensas e rápidas ou chuvas de longa duração, conforme influência das ações antrópicas. A frequência das inundações ocorre em função da intensidade e distribuição da precipitação, da taxa de infiltração de água no solo, do grau de saturação do solo e das características morfométricas e morfológicas da bacia de drenagem.

Esses autores ainda afirmam que:

“A impermeabilização dos solos pelo asfalto impede a infiltração e é responsável pelo aumento da velocidade do escoamento superficial. As retificações, as canalizações e o assoreamento também alteram a dinâmica da vazão dos cursos d'água. Com a eliminação dos meandros (curvas) existentes em alguns cursos d'água, que reduzem gradualmente a velocidade da água, ocorre a concentração do fluxo em pouco tempo, e gera as chamadas inundações relâmpagos.” (AMARAL E RIBEIRO, 2009)

Entre os condicionantes geológico-geomorfológicos, tem-se também a morfometria, que é tratada como subsídio para o estudo de inundações e de cheias dos canais. Dessa maneira, o estudo das inundações tem sido realizado a partir de dois padrões: Estudos com base nas características físicas que fazem com que a bacia possua maior ou menor suscetibilidade aos eventos de inundação ou estudos que tratem das características genéticas, baseando-se em elementos morfométricos para justificar a ocorrência de tais eventos (ÁVILA et al., 2017).

Dentre as causas antrópicas que resultam nesses eventos, tem-se o aumento do leito dos rios por conta do assoreamento, a diminuição da capacidade de infiltração do solo, saturação do lençol freático, drenagem deficiente de terrenos localizados a montante de aterros e entre outros fatores (CASTRO, 2003).

Mediante isto, a quantidade de chuva que cai sobre uma região pode ser considerada como um fator condicionante para a ocorrência de inundações, levando-se em conta as formas de uso e ocupação presentes nessa área. Isso porque as características que o solo se encontra são determinantes para os riscos de inundações. Segundo Tucci (2007), devido ao intenso desenvolvimento urbano se tem a impermeabilização do solo, através de telhados, asfaltamento, pátios e entre outros, fazendo então com que se aumente o escoamento superficial e conseqüentemente, se eleve também a probabilidade de se ter inundações.

Dessa forma, os grandes centros urbanos têm se apresentado como alvos para o acontecimento de inundações por conta dos desmatamentos, construções e acúmulo de lixos em ralos e bueiros, dificultando assim a infiltração da chuva no solo. Tucci (1997) afirma que, além do aumento do escoamento superficial, as inundações também geram a diminuição da evapotranspiração do escoamento subterrâneo e lençol freático, elevação da produção de material sólido e deterioração da qualidade das águas superficiais.

Amaral e Ribeiro (2009) explicam que as intensas chuvas favorecem a saturação dos solos, o que aumenta o escoamento superficial e a concentração de água na superfície. A cobertura vegetal é um fator importante para o controle da ocorrência de inundações, pois a presença de vegetação auxilia na retenção de água no solo e reduz a velocidade do escoamento superficial, minimizando as taxas de erosão.

Segundo Pinheiro (2007),

“a cobertura vegetal é de fundamental importância na redução da magnitude das enchentes, devido ao aumento da água interceptada e infiltrada no solo.

Ela é importante à montante das áreas suscetíveis a inundação. Ela deve atuar no controle da geração dos escoamentos superficiais”.

De acordo com Plate (2002 apud KOBAYAMA et al., 2006), o aumento demográfico possibilita a transferência da parcela mais pobre da população para as planícies de inundação, em vista da ocorrência de um processo de especulação imobiliária, sendo este tipo de problema muito comum nas grandes áreas urbanas. Assim, a frequência das inundações se altera através das transformações que ocorrem na bacia hidrográfica.

O ser humano quando vai além dos limites das condições naturais do meio em que se está inserido, faz com que as inundações se transformem em um problema social, econômico e/ou ambiental. Dessa maneira, esse evento torna-se catastrófico quando a área inundável não possui uma ocupação adequada. As ações humanas ao longo da bacia hidrográfica são os grandes geradores de danos, podendo ampliar ou amenizar a proporção desses eventos. Ademais, o planejamento e intervenções adequadas na bacia hidrográfica podem diminuir os riscos de acontecimentos de inundações e seus consequentes danos (PINHEIRO, 2007).

Com a impermeabilização do solo e aceleração do escoamento superficial por meio de condutos e obras de canalização, a quantidade de água que chega ao mesmo tempo no sistema de drenagem se eleva, causando assim os problemas de inundações. Segundo Barbosa (2006), a ideia de escoar a água precipitada o mais rapidamente por meio de canalização, apenas atribui o problema para jusante, causando impactos negativos a outra parte da população.

A quantidade de água que escoava de forma lenta na superfície do solo e que era absorvida pela vegetação ou tinha sua velocidade reduzida pela própria rugosidade do solo, com a urbanização passa a escoar no canal, exigindo maior capacidade de escoamento das seções e também um alto custo de manutenção para diminuição dos picos de vazão, conforme é apresentado no esquema da figura 5.



Figura 5: Características do balanço hídrico (TUCCI E BERTONI, 2003).

Marcelino (2008) afirma que por conta das precipitações intensas, juntamente aos desmatamentos, à ocupação das planícies de inundação, ao assoreamento dos rios e à impermeabilização urbana, as fortes inundações em áreas urbanizadas se tornarão um dos principais problemas ambientais que as regiões Sul e Sudeste do Brasil terão que enfrentar nos próximos anos.

A tendência da urbanização é acontecer no sentido de jusante para montante, macrodrenagem urbana, devido às características do relevo. Quando a urbanização não é controlada pelo poder público ou não há a ampliação da macrodrenagem, as inundações se elevam por conta da sobrecarga da drenagem secundária (condutos) sobre a macrodrenagem que atravessa a cidade (TUCCI, 2007).

Segundo dados do EM-DAT acerca dos desastres naturais de caráter hidrológico no Brasil, observou-se que os desastres de inundações ocorridos no estado do Rio de Janeiro totalizavam 34 eventos considerados críticos, ocorridos no período de 1966 a 2020. Isso pode ser analisado a partir do gráfico (figura 6) a seguir que demonstra a evolução no número de ocorrência desses eventos.

Inundações ocorridas no Rio de Janeiro

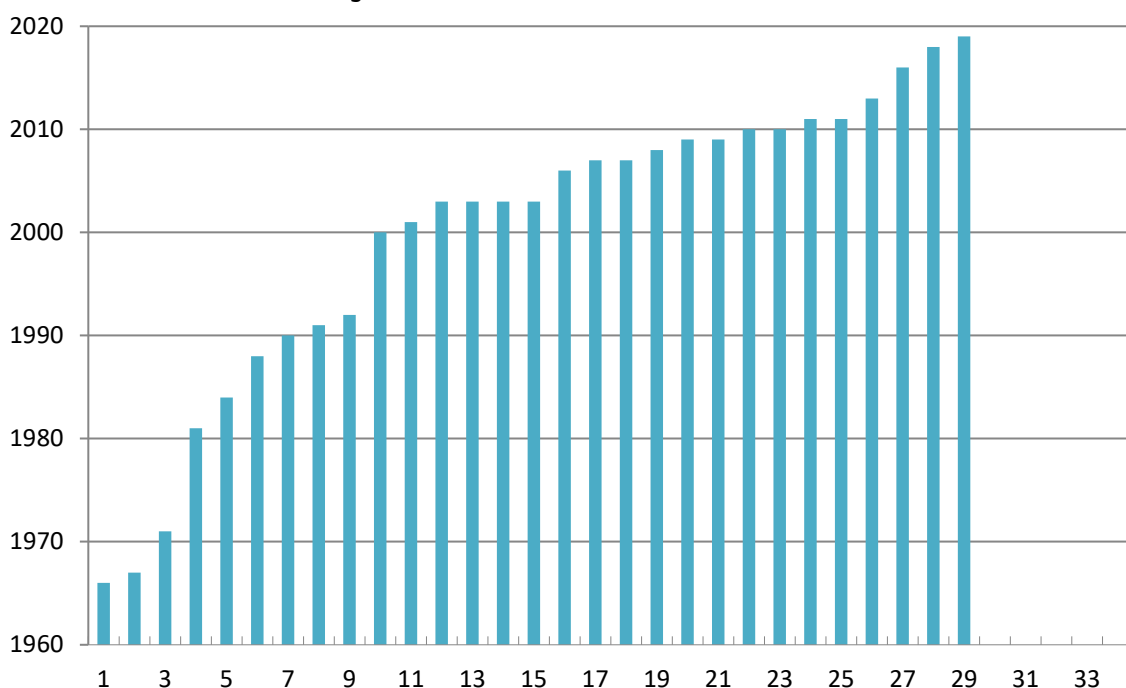


Figura 6: Número de Desastres Naturais de Inundação ocorridos no Rio de Janeiro nos anos de 1966 a 2020 (EM-DAT, 2020).

O processo de crescimento urbano desordenado, que segundo Tucci e Bertoni (2003) é um dos principais fatores relacionados às inundações, ocorre por conta da falta de controle do espaço urbano. Com isso, gera um efeito sobre a infraestrutura de água que corresponde ao abastecimento, esgotamento sanitário, drenagem urbana e resíduos sólidos.

De acordo com Tucci (2007), medidas de controle podem ser tomadas para amenizar as consequências das inundações como modificações no sistema fluvial, através de obras na bacia ou no rio e também por meio de práticas de conservação do meio ambiente, diminuindo os danos com as inundações através de medidas preventivas como alerta de inundação, zoneamento das áreas de risco, seguro contra inundações e medidas de proteção individual.

Portanto, é de grande relevância a tomada de medidas preventivas para evitar a ocorrência de inundações. Algumas formas de prevenir eventos como esse é a elaboração de um sistema de prevenção que torne a população menos vulnerável a este fenômeno; a determinação e o mapeamento de áreas de risco e o zoneamento urbano; o manejo de bacias hidrográficas e também a necessidade de um planejamento do uso e ocupação das áreas inundáveis.

2.3 Suscetibilidade

O conceito de suscetibilidade está relacionado a uma predisposição de ocorrência a um evento. Segundo Saito (2004), a suscetibilidade a um evento é compreendida como uma característica intrínseca ao meio, ou seja, está voltada para a fragilidade de certo ambiente em relação a um evento.

Segundo o CPRM (2014), a suscetibilidade está ligada às características que tendem a favorecer a ocorrência de um evento. Este conceito consiste então na predisposição ou propensão de áreas ao acontecimento de um fenômeno ou processo do meio físico.

Ademais, segundo Souza (2004 apud TOMINAGA, 2009), os condicionantes principais de ordem natural que implicam na suscetibilidade à inundação são divididos em: (a) climático-meteorológicos; (b) geológicos; (c) características morfométricas da bacia de drenagem; (d) comportamento flúvio-hidrológicos. Em relação às interferências humanas nas bacias de drenagem, elas se dão através da ocupação de áreas marginais aos canais de drenagem; implantação de aterros e estruturas lineares; implantação de diques marginais e barragens; modificações dos canais de drenagem; mudanças nos fluxos de sedimentos gerando assoreamento; acúmulo de entulhos e lixos.

De acordo com Souza e Zanella (2009), a ameaça está diretamente ligada às condições físico-naturais de uma determinada área que demonstra maior ou menor suscetibilidade à ocorrência de fenômenos que podem levar o ser humano a uma situação de perigo. A principal causa da ocorrência de desastres naturais são as formas de uso e ocupação do solo presentes em áreas que demonstram grande suscetibilidade a tais eventos.

A suscetibilidade a um fenômeno pode acontecer de forma independente dos fatores sociais, porém a sociedade é um elemento de interferência que acelera ou retarda este processo, isso por que a ação antrópica atua como agente transformador da dinâmica natural do ambiente (GIRÃO et al., 2018).

De acordo com Ribeiro e Lima (2011), os estudos e o mapeamento de áreas consideradas suscetíveis às ocorrências de inundações são de grande importância para o zoneamento urbano e para a locação de obras de drenagem, na busca por diminuir as consequências negativas desses eventos para a sociedade.

Dessa forma, o conceito de suscetibilidade à ocorrência de inundações pode ser compreendido como um aspecto relacionado ao meio, demonstrando a fragilidade do

ambiente em relação à ocorrência desses eventos. Assim, o grande crescimento populacional em áreas urbanas faz com que esses espaços se tornem ainda mais suscetíveis às inundações em períodos de chuvas intensas.

2.4 Vulnerabilidade

De acordo com Saito (2008) a vulnerabilidade é potencializada por fatores socioeconômicos (densidade populacional, educação, distribuição da renda), aspectos estruturais (infraestrutura, tipologia das edificações, planejamento e uso e ocupação do solo) e a percepção de risco. Diferentemente do conceito de suscetibilidade, o significado de vulnerabilidade tem a ver com a predisposição a um elemento, sujeito ou sistema ser acometido por um evento.

Segundo Alcántara-Ayala (2002 apud KOBİYAMA et al., 2006), o acontecimento de desastres naturais não está somente relacionado à suscetibilidade do ambiente devido às características geoambientais presentes, mas também à vulnerabilidade do sistema social sob impacto. Os países que se encontram em desenvolvimento geralmente não apresentam boa infraestrutura e planejamento ambiental eficiente, sofrendo ainda mais com os efeitos dos desastres do que os países desenvolvidos.

A definição analítica, segundo os Planos de Prevenção de Riscos Naturais (PPRN), considera a vulnerabilidade como a demonstração do nível de efeitos previsíveis gerado por um evento natural sobre o ser humano, seus bens e o ambiente em que está inserido (ALMEIDA, 2012).

Segundo Confalonieri (2003), o conceito de vulnerabilidade é utilizado para se referir a grupos sociais que são afetados por eventos ambientais, sendo o resultado da exposição a perigos naturais e sua capacidade de recuperar e se antecipar aos impactos de um desastre. A ideia de vulnerabilidade tem relação às condições objetivas e subjetivas de existência, historicamente marcadas, que dão origem ou ampliam a predisposição de uma comunidade ser alcançada por possíveis prejuízos decorrentes de uma ameaça (SOUZA E ZANELLA, 2009).

Os estudos sobre vulnerabilidade socioambiental dão ênfase na dinâmica da produção social do risco e a capacidade de resposta da sociedade e dos indivíduos a um evento. Assim, são evidenciados os fatores culturais que influenciam na produção, aceitação e mitigação dos riscos ambientais e as formas como os indivíduos reagem aos perigos, na qual a prevenção e proteção contra os fenômenos naturais são

fundamentalmente influenciados pelas condições sociais (D'ANTONA E CARMO, 2011).

Dessa maneira, qualquer ambiente urbanizado está sujeito a perigos naturais, entretanto áreas mais desfavorecidas economicamente, marcadas pela presença de assentamentos precários, tornam-se ambientes mais vulneráveis a desastres naturais a medida que as formas de ocupação desordenada avançam.

D'antona e Carmo (2011) abordam que os fatores sociais têm um papel significativo na indicação sobre o grau vulnerabilidade aos perigos ambientais, pois o local onde as pessoas habitam e trabalham, a qualidade da habitação, a informação, a prevenção e as formas de defesa contra os fenômenos naturais interferem na determinação de perigos ambientais e como estes afetam as pessoas.

De acordo com Almeida (2012), o conceito de vulnerabilidade é expressado como uma junção de fatores que indicam o grau com que a vida e a subsistência de um indivíduo são colocadas em estado de risco mediante um determinado evento. Dessa forma, elementos socioeconômicos como pobreza, classe social, idade ou *status* social são características capazes de definir se determinados grupos da sociedade estão mais propensos a ser afetados do que outros a um dano, perda ou sofrimento mediante uma ameaça.

A vulnerabilidade se apresenta como resultado das desigualdades socioeconômicas, agregando fatores que interferem na exposição das pessoas aos riscos ambientais e na capacidade de reação aos perigos. No entanto, a vulnerabilidade também compreende desigualdades territoriais, no que diz respeito às características das comunidades e das ocupações, como o nível de urbanização, a qualidade da infraestrutura e equipamentos urbanos, que colaboram assim para a disposição da vulnerabilidade de modo heterogêneo no espaço, pois as oportunidades e recursos não são fornecidos de forma igualitária à população (D'ANTONA E CARMO, 2011).

Almeida (2012) afirma que existe uma forte relação entre espaços suscetíveis a processos naturais perigosos de inundação e os ambientes que demonstram indicadores sociais, econômicos e infraestrutura urbana de caráter insatisfatório, havendo uma interação entre a dinâmica natural da Terra e os processos de ocupação do espaço que geram danos principalmente às populações consideradas mais vulneráveis.

Nota-se então como o conceito de desastre passou a ter uma relação mais estreita com a vulnerabilidade humana, principalmente quando os efeitos refletem de forma

negativa na sociedade. Dessa forma, a intensidade de um evento é ampliada conforme maior é a vulnerabilidade de uma população (SAITO, 2004).

A fim de tratar sobre a suscetibilidade a inundações na área de estudo, o presente trabalho não envolveu aspectos socioeconômicos ligados à vulnerabilidade da área, não abordando assim características referentes ao contexto social desta área em análises metodológicas.

2.5 Risco

De acordo com Souza e Zanella (2009), nas geociências o entendimento sobre risco é resultado da probabilidade de acontecer um fenômeno natural causador de acidentes juntamente às possíveis consequências geradas em uma certa comunidade, sendo expressado por $R \text{ (risco)} = P \text{ (probabilidade)} \times C \text{ (consequências)}$. Sendo assim, o entendimento sobre os riscos parte de uma intrínseca relação entre ameaça e vulnerabilidade, na qual ele é constituído através interação entre o homem e o ambiente que está inserido.

Marcelino (2008) afirma que o risco é uma probabilidade mensurável de um perigo se transformar em um desastre, pois conforme se aumenta a frequência do perigo e a intensidade da vulnerabilidade, conseqüentemente se tem a elevação do risco de um perigo se tornar um desastre. Assim, os riscos são também abordados como um fenômeno social, no qual envolvem populações em condições de vulnerabilidade social, que normalmente estão inseridas em áreas urbanas sujeitas a processos de inundações (SOUZA E ZANELLA, 2009).

Segundo Saito (2004) admite-se que o risco pode se elevar ou minimizar ao longo do tempo. Sua redução pode ocorrer por meio da inserção de medidas estruturais, como obras de contenção, sistemas de alerta e melhorias nas edificações, ou através de medidas não estruturais, como a atuação e conscientização preventivas.

Tominaga (2009) aborda que dois elementos são de grande importância na compreensão acerca do risco: o perigo de se ter um evento natural e a vulnerabilidade, que indica o grau de suscetibilidade do elemento exposto ao perigo. Isso mostra que o impacto do desastre está vinculado às características, à probabilidade e à intensidade da ocorrência do perigo, e também à vulnerabilidade em que se encontram os elementos expostos. Isso pode ser observado na figura 7.

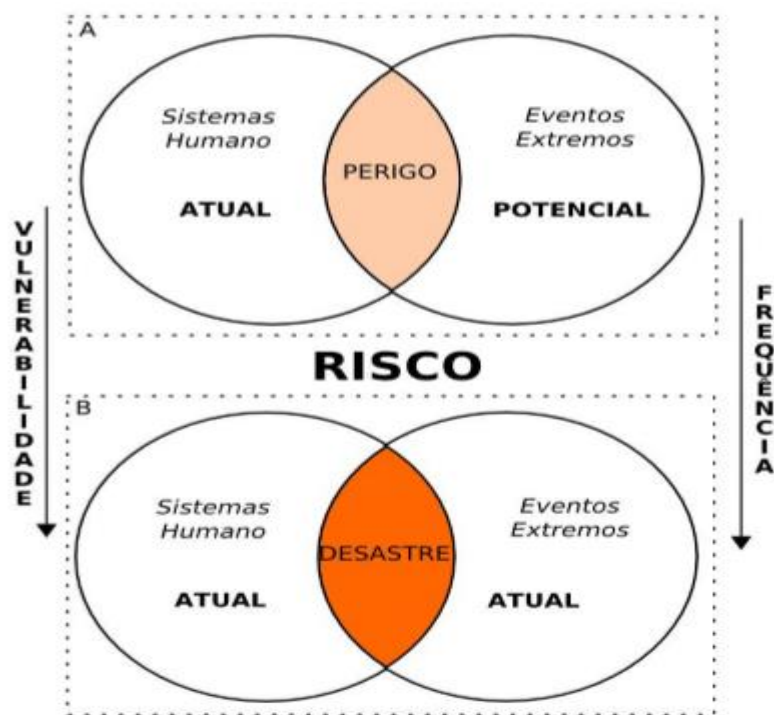


Figura 7: Relação entre perigo e risco (TOBIN E MONTZ, 1997).

As transformações ambientais por conta da inter-relação entre as atividades humanas e a dinâmica natural têm produzido o aumento dos desastres naturais e, conseqüentemente, a elevação dos prejuízos humanos e materiais. As cidades como ambientes de grandes aglomerações são tratadas como espaços de risco por excelência, onde as ameaças ali presentes são potencialmente causadoras de danos (ALMEIDA, 2012).

A produção social de riquezas está intimamente ligada à produção de riscos, dessa forma, os riscos são gerados no estágio mais avançado do desenvolvimento de forças produtivas. Os riscos e as riquezas são objetos de distribuição, assumindo igualmente posições de ameaça ou de classe (BECK, 2010).

Não há um risco sem uma determinada população, ele é a tradução de uma ameaça, existindo somente em relação a um indivíduo ou população que o perceba e possa sentir seus efeitos. O risco envolve uma questão social e exige ser integrado às escolhas da gestão, às políticas de organização e é indissociável da política porque envolve a tomada de decisões a respeito da organização do território. (VEYRET, 2007).

Almeida (2012) aborda que o risco faz parte de uma concepção social, estando ligado à percepção humana, onde suas conseqüências são decorrentes do grau de

vulnerabilidade inerente a um determinado grupo. Segundo essa autora, 25% população existente no mundo encontra-se em ambientes de riscos de perigos naturais.

Quando o risco ambiental é analisado juntamente à decorrência de seus impactos negativos é notório que as cidades de países menos desenvolvidos são mais afetadas, devido ao grau mais elevado de vulnerabilidade dos indivíduos inseridos nesses locais, principalmente os que se localizam em áreas consideradas frágeis ambientalmente, onde as terras possuem um preço mais baixo, como as planícies fluviais submetidas a inundações (SOUZA E ZANELLA, 2009).

Nota-se então que a fragilidade de um ambiente está diretamente ligada à intensidade de um risco. Sendo assim, o risco é variante e possui uma dinâmica própria, que se altera conforme fatores naturais e sociais presentes em um processo. Ademais, não é possível eliminar os riscos presentes em um ambiente, porém pode-se gerenciá-los através de medidas que auxiliem na gestão e avaliação dos riscos (MARCELINO, 2008).

De acordo com Bessa Junior et al. (2011), esse forte processo de urbanização ocasiona o surgimento de grandes aglomerados urbanos com um crescente número de assentamentos precários num espaço de fragilidades físico-ambientais, muitas vezes carentes de equipamentos, serviços e infraestrutura, criando-se nessas localidades um urbanismo de risco, marcado por um déficit habitacional quantitativo e qualitativo para a população de baixa renda que tem como alternativa a ocupação de áreas periféricas, desprovidas de infraestrutura. Determinadas vezes essa ocupação ocorre em áreas protegidas por legislações ambientais, demonstrando uma ligação entre exclusão social e degradação do ambiente, na qual a habitação em áreas de preservação permanente (APPs) como matas ciliares no entorno de rios, lagos e reservatórios possui grande suscetibilidade a inundações, tornando-se locais com alto grau de riscos quando ocupados.

Parte da população urbana que vivencia problemas decorrentes de processos de exclusão e injustiça social, encontrando-se exposta a fenômenos naturais impactantes, passa a evidenciar condições de risco ambiental. Sendo assim, fazem-se necessárias abordagens mais profundas sobre os fatores socioeconômicos ali presentes que tornam essa comunidade mais vulnerável (SOUZA E ZANELLA, 2009).

Segundo Carvalho et al. (2007), a elevação pessoas habitando em áreas de risco a inundações têm sido um dos pontos negativos do processo de urbanização e crescimento das cidades brasileiras, o que é observado principalmente nas regiões

metropolitanas. As características econômicas, políticas, sociais e culturais também colaboram para o desenvolvimento e a perpetuação dessa problemática.

É necessário compreender de que forma as características socioespaciais ampliam ou amenizam a capacidade de enfrentamento dos perigos ambientais, levando-se em conta que os aspectos geográficos influenciam nos riscos ambientais. O acesso à informação sobre o risco é de grande importância para a prevenção e redução dos impactos, sendo relevante o desenvolvimento de ações na comunidade que visem à orientação dos moradores para que estes obtenham percepções acerca dos sinais que podem anteceder ao perigo (D'ANTONA E CARMO, 2011).

2.6 Geoprocessamento e Sistemas de Informações Geográficas (SIGs)

O Geoprocessamento baseia-se necessariamente em estruturas de percepção dos fenômenos do ambiente, visando o seu objetivo principal, que consiste na transformação de dados geograficamente referenciados em informação relevante (XAVIER DA SILVA, 2007).

As atividades envolvendo geoprocessamento são exercidas através da utilização de um SIG (Sistema de Informação Geográfica). Esta geotecnologia realiza operações matemáticas e métodos computacionais para o tratamento informacional, por meio de correlações espaciais, temáticas, temporais e topológicas. Os principais usos de um SIG são para a produção de mapas; utilização de ferramenta suporte para análise espacial; ou como um banco de dados geográficos, com as funções de armazenar e recuperar dados (MARCELINO, 2003).

De acordo com Barroso et al. (2011), os resultados de estudos com auxílio do Geoprocessamento demonstram a importância da utilização desta tecnologia, sendo um elemento de interpretação da realidade espacial. Ademais, a validação de análise ambientais por meio do uso do Geoprocessamento, considerando a associação de variados fatores mostra-se de suma relevância em estudos de diversas áreas científicas. Dessa forma, torna-se possível através dessa tecnologia determinar as limitações e também potencialidades presentes no ambiente, comparando-se as diversas visões acerca do fenômeno avaliado (MOREIRA et al., 2011).

O Geoprocessamento é apropriado em oferecer informações completas, precisas e atualizadas, possibilitar a manipulação eficiente de dados e conduzir à tomada de decisão para que se alcancem os objetivos definidos por programas de gerenciamento ambiental ou de administração pública. Esta técnica possui capacidade de integração

temática e possibilita a compreensão de eventos do mundo real através da identificação, localização espacial e temporal e também por meio da definição da dimensão de ocorrência (MELLO FILHO e XAVIER DA SILVA, 2011).

Segundo Sausen e Narvaes (2013), a utilização de um SIG no estudo e monitoramento de eventos de inundações proporciona que planícies de inundação e outras áreas sujeitas à inundação sejam mapeadas e monitoradas; o mapeamento, caracterização e cálculo da área inundada; a avaliação dos impactos gerados por este tipo de desastre; o planejamento visando prevenir e reduzir os impactos causados por inundações; a avaliação dos prejuízos ambientais gerados pela inundação e também o mapeamento da frequência de inundações.

Ademais, Feltrin e Raia Junior (2013), também exemplificam como o uso de ferramentas de geoprocessamento pode colaborar para a melhoria da gestão de áreas críticas, de localidades estratégicas para assistência e também da gestão dos suprimentos armazenados e que serão usados mediante os danos causados pelo desastre. Segundo esses autores, a utilização do SIG possibilita o mapeamento das áreas de risco e sua análise por meio de informações existentes nos bancos de dados, relacionadas às rotas de acesso e de fuga, transporte e a localização de pontos de apoio à assistência humanitária.

O uso das ferramentas de análise espacial vinculadas ao geoprocessamento se mostra como uma possibilidade de apresentação da dinamicidade do espaço geográfico, agregando diversos planos de informação, que associados a outros dados socioeconômicos podem indicar tendências, explicar fenômenos e refutar ideias estabelecidas. Isto porque as técnicas de Geoprocessamento são meios mais rápidos e detalhados para análises acerca do homem e o ambiente. (MARAFON et al., 2013).

Faria et al. (2003) afirmam que o uso de *softwares* de geoprocessamento tem proporcionado condições para extração de informações georreferenciadas de partes do espaço geográfico mediante o cruzamento e análise de diversos mapas temáticos. O produto derivado desses processos é capaz de fornecer uma interpretação sobre os variados aspectos do ambiente como características pedológicas, geológicas, geomorfológicas e entre outras.

O gerenciamento de uma grande quantidade de informações relacionadas aos desastres naturais, como a quantidade de precipitação, velocidade dos ventos, população e área afetada, pode ser realizado através do auxílio de técnicas de geoprocessamento. O uso dessa ferramenta permite que uma equipe multidisciplinar possa utilizá-la não apenas

na resposta a um evento, mas em todas as demais fases da gestão, como recuperação, prevenção e redução de riscos (SAITO et al., 2011).

Estudos de Moraes e Santos (2007) apresentam o Geoprocessamento como um instrumento que auxilia na análise dos impactos ambientais presentes em uma área. Ademais, Medeiros e Souza (2015) mostram que o mapeamento dos sistemas ambientais através de técnicas de Geoprocessamento demonstra os fatores naturais dominantes, a ecodinâmica e possíveis vulnerabilidades ambientais, sendo de grande relevância na gestão de riscos.

Marcelino (2008) mostra que uma das principais ferramentas para a gestão de riscos são as geotecnologias, onde parâmetros elaborados para se avaliar o risco podem ser cruzados facilmente em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica) para gerar um mapeamento final. Cada procedimento citado é constituído por um conjunto de dados de diversas características, possibilitando assim determinar as particularidades do ambiente e a conjuntura socioeconômica em que os desastres podem acontecer.

Segundo Faria et al. (2003), um sistema de informação geográfica apresenta-se como um instrumento bastante utilizado em estudos acerca das potencialidades ambientais e também em análises sobre a suscetibilidade de áreas a eventos naturais, sendo um ponto importante para a determinação de práticas apropriadas de manejo e conservação do solo e recursos hídricos.

De acordo com Tucci (2007), o uso da técnica de mapeamento das áreas sujeitas à inundação apoia o processo de zoneamento, que visa à minimização futura das perdas decorrentes das cheias, além de permitir o desenvolvimento racional das áreas ribeirinhas.

Os estudos hidrológicos têm utilizado diversas fontes de dados caracterizados em um SIG para entender e gerenciar os assuntos referentes ao meio ambiente relacionados aos recursos hídricos. Dessa forma, sua aplicação na gestão destes recursos faz desses softwares um importante instrumento no desenvolvimento de soluções para questões como abastecimento d'água, proteção contra inundações, conflitos no uso dos recursos hídricos e degradação pelo aumento da população e desenvolvimento econômico (MAIDMENT, 2002).

Correia et al. (2015) relata como o uso do geoprocessamento é de suma importância pois permite analisar a dinâmica hidrológica e hidráulica da bacia hidrográfica. Ademais, a tomada de decisões com base nos resultados destes métodos é capaz de gerar a diminuição dos danos consequentes de grandes desastres naturais.

Dessa maneira, a elaboração de mapas temáticos e suas respectivas análises por meio de ferramentas de geoprocessamento atuam na complementação das ações de planejamento, almejando o desenvolvimento de uma área de acordo com suas limitações, a fim de minimizar as consequências para com o meio ambiente.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivos Gerais

O objetivo principal desse trabalho consiste em realizar uma análise acerca da suscetibilidade a inundações na Região Administrativa de Mambucaba, localizada no município de Angra dos Reis, tendo como base a delimitação da bacia hidrográfica para a utilização de técnicas do Geoprocessamento, por meio da associação de dados de características físicas da região em estudo. Teve-se como base a delimitação da bacia hidrográfica que corresponde à área em estudo, sendo a caracterização da bacia uma etapa relevante nos estudos hidrológicos.

Dessa forma, busca-se tratar acerca da vulnerabilidade socioambiental presente em Mambucaba, tratando dos possíveis riscos a inundações nessas localidades que afetam a qualidade de vida desta população em vista do crescente processo de urbanização vigente no município de Angra dos Reis.

3.2 Objetivos específicos

Para alcançar o objetivo proposto, fez-se necessário a elaboração das seguintes fases:

1. Aquisição de dados primários para apoio à elaboração do Modelo Digital de Elevação referente a bacia hidrográfica;
2. Criação da Base de Dados Georreferenciada visando à elaboração de mapas temáticos que abranjam dados de caráter físico e biótico;
3. Elaboração de diferentes modelos de avaliação da suscetibilidade à inundação.
4. Análise quantitativa e comparativa da assertividade entre os modelos avaliativos experimentados por meio da elaboração da matriz de confusão.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

A Região Administrativa de Mambucaba (LAT:LONG SW 7453031:538692) compreende a área de estudo deste trabalho, estando localizada no município de Angra dos Reis, no litoral sul do estado do Rio de Janeiro (figura 8). A área em estudo é composta pelos bairros Sertão de Mambucaba, Parque Mambucaba, Parque Perequê, Boa Vista, Vila Histórica de Mambucaba, Praia das Goiabas, Praia Vermelha, Praia Brava e Usina Nuclear, de acordo com as informações acerca dos setores censitários (IBGE, 2010).

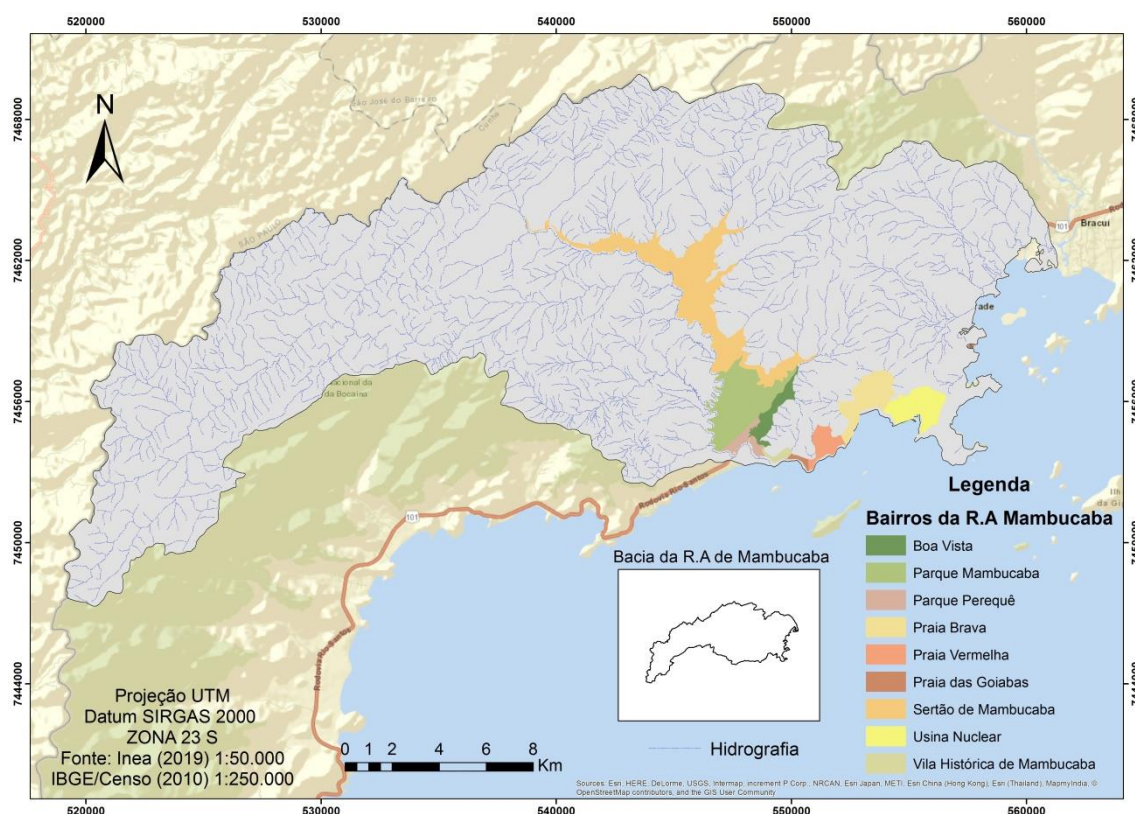


Figura 8: Mapa referente à bacia hidrográfica que compreende a Região Administrativa de Mambucaba e seus respectivos bairros.

Essa região sofre com os episódios frequentes de inundações, de acordo com informações do CPRM (2014) e da Defesa Civil (2018), principalmente nos meses de verão, causando diversos prejuízos ambientais e socioeconômicos à população. Algumas áreas dessa região possuem bairros desenvolvidos a margem de rios, ocasionando então a grande vulnerabilidade dessa população a eventos de inundação.

A delimitação da bacia hidrográfica que corresponde à Região Administrativa de Mambucaba é formada pela sub-bacia do Rio Mambucaba e sub-bacias contribuintes à

enseada de Bracuí, sendo pertencentes à Região Hidrográfica I – Baía de Ilha Grande, de acordo com o Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro (INEA, 2014). Portanto, a bacia em estudo possui uma área de aproximadamente 435 km², abrangendo os municípios de Paraty e Angra dos Reis.

De acordo com Salgado et al. (2007) os acontecimentos das chuvas que elevam a vazão do rio Mambucaba para acima de 50 m³/s, resultando em alagamento de alguns pontos ou em inundações de maiores proporções são influenciados por fatores tanto naturais quanto antrópicos. As transformações nas condições naturais da bacia hidrográfica impulsionam que eventos de inundação aconteçam principalmente em locais que carecem de planejamento urbano adequado.

De acordo com as informações do IBGE (2019) a respeito da geomorfologia, cerca de 5% da área de estudo corresponde a planícies, onde segundo dados da Defesa Civil sobre ocorrências de eventos hidrológicos, essas áreas apresentam risco médio a muito alto às ocorrências de inundação.

Grande parte da região de estudo é caracterizada por solos do tipo Cambissolo Hápico (aproximadamente 64%). As demais áreas são caracterizadas por Neossolo Litólico e Flúvico, Espodossolo Humilúvicos, Latossolo Vermelho-amarelo e Solos Indiscriminados de Mangue (CARVALHO FILHO et al., 2003), como podem ser observados na figura 9.

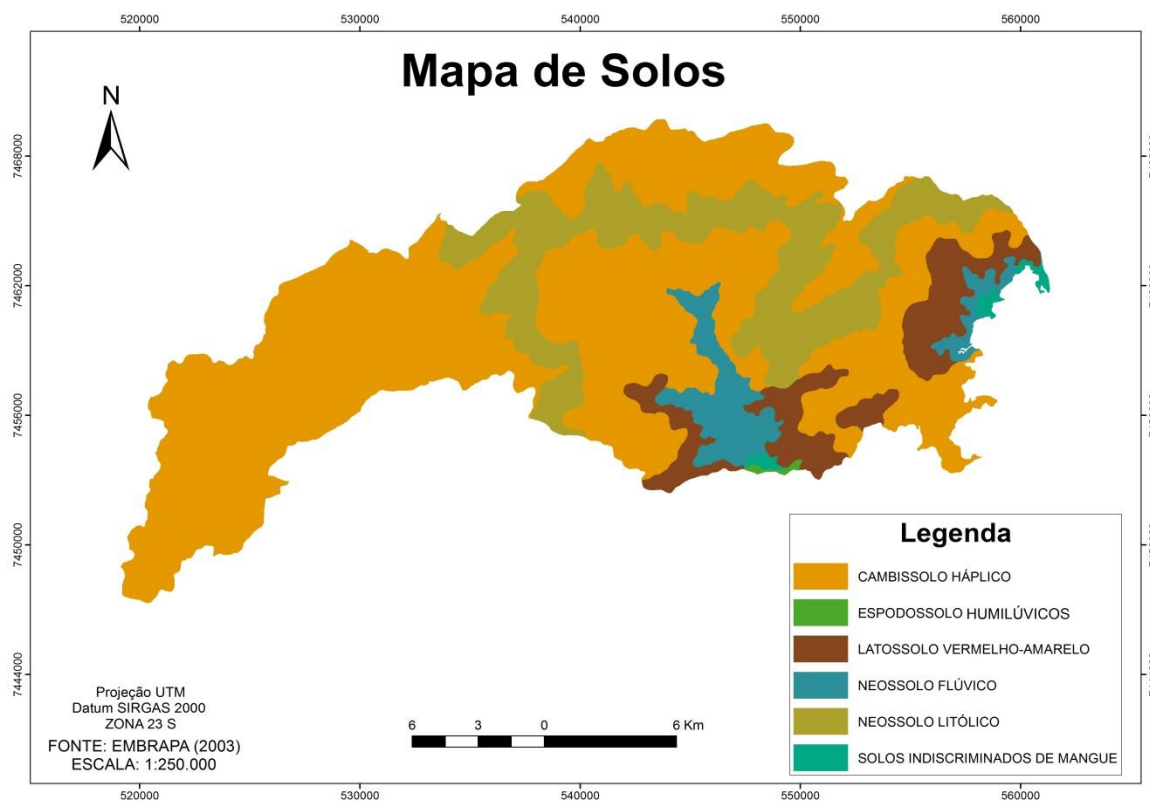


Figura 9: Classificação dos solos da Bacia Hidrográfica correspondente à Região Administrativa de Mambucaba (CARVALHO FILHO et al., 2003), com adaptação para a versão atual do SiBCS (2018).

A bacia hidrográfica que corresponde à região em estudo do trabalho tem sua área caracterizada por floresta tropical perenifólia, com locais de campo, cultivo, floresta, mangue, vegetação secundária (macega/chavascal) e mata, de acordo com dados do IBGE (2018). Quanto ao uso e cobertura do solo, a maior parte da bacia é formada por áreas naturais florestadas que correspondem aos diferentes níveis de Mata Atlântica, com cerca de 89%. Há também áreas naturais não florestadas relativas a cordões arenosos, afloramentos rochosos, dunas e etc; áreas antrópicas agropastoris, apresentando diferentes tipos de cultivo e áreas de pastagem; áreas antrópicas não agropastoris, caracterizando áreas urbanas em diferentes níveis de ocupação, áreas de mineração e solo exposto; áreas antrópicas agropastoris em locais de floresta (INEA, 2018).

Segundo dados da Carta de Suscetibilidade a Movimentos de massa e Inundações do CPRM, o bairro de Mambucaba possui os maiores índices de precipitação de acordo com as isoietas anuais médias de 1977 a 2006, como apresenta a figura 10, se comparado aos bairros de Cunhambebe, Pontal, Jacuecanga e Angra dos Reis.

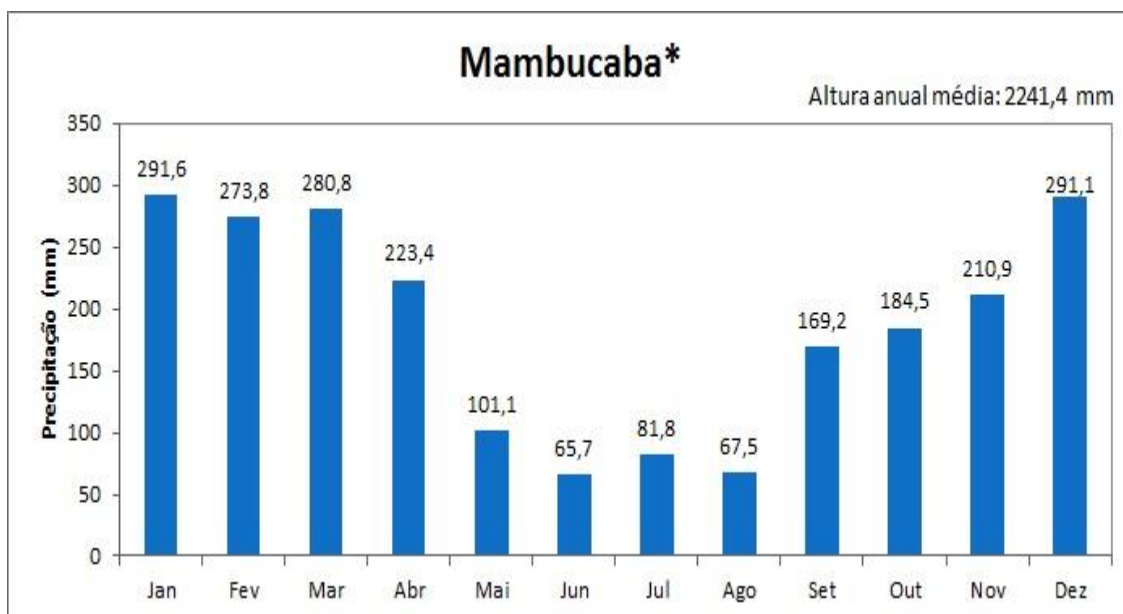


Figura 10: Índices de precipitação no bairro Mambucaba (CPRM, 2014).

De acordo com os relatórios metodológicos do IBGE (2017) sobre as áreas urbanizadas do Brasil é possível observar o grande desenvolvimento urbano que o município de Angra dos Reis vem sofrendo, onde grande parte da área que compreende a Região Administrativa de Mambucaba é considerada como muito densa.

Baseando-se nessas informações nota-se a relação entre importantes fatores que motivam a ocorrência de inundações na área em estudo através de um grande grau de urbanização e elevadas precipitações, fazendo com que essa região seja muito suscetível e conseqüentemente, com maiores riscos a eventos como esse. As imagens (Figura 11a e 11b) abaixo são um exemplo dos frequentes episódios de chuvas intensas que ocorrem na área de estudo ao longo dos anos, causando grandes prejuízos à população.



Figura 11: Inundação ocorrida nos bairros Parque Mambucaba e Parque Perequê (DEFESA CIVIL DE ANGRA DOS REIS, 2010).



Figura 11b: Inundação ocorrida nos bairros Parque Mambucaba e Parque Perequê (DEFESA CIVIL DE ANGRA DOS REIS, 2010).

O rio Mambucaba possui a maior extensão da hidrografia de Angra dos Reis e é considerado como o mais importante da Baía de Ilha Grande. Seu alto e médio curso estão localizados na Serra da Bocaina, no Estado de São Paulo, sendo um rio de domínio federal. É relevante ser abordado que o baixo curso desse rio, percorrendo a

planície flúvio-marinha, encontra-se ocupado por bairros residenciais, em sua maioria de baixa renda.

Os bairros Parque Mambucaba e Parque Perequê, por exemplo, estão localizados em planícies flúvio-marinhas, em áreas de brejo e de mangue, onde há um crescimento urbano de forma não planejada, que apresenta a ausência de saneamento e também a ocorrência de diversos de eventos de inundação. De acordo com informações da Defesa Civil de Angra dos Reis (2019), estes bairros possuem respectivamente um número de 4101 e 778 imóveis cadastrados em áreas consideradas de risco (Figura 12 e 13).

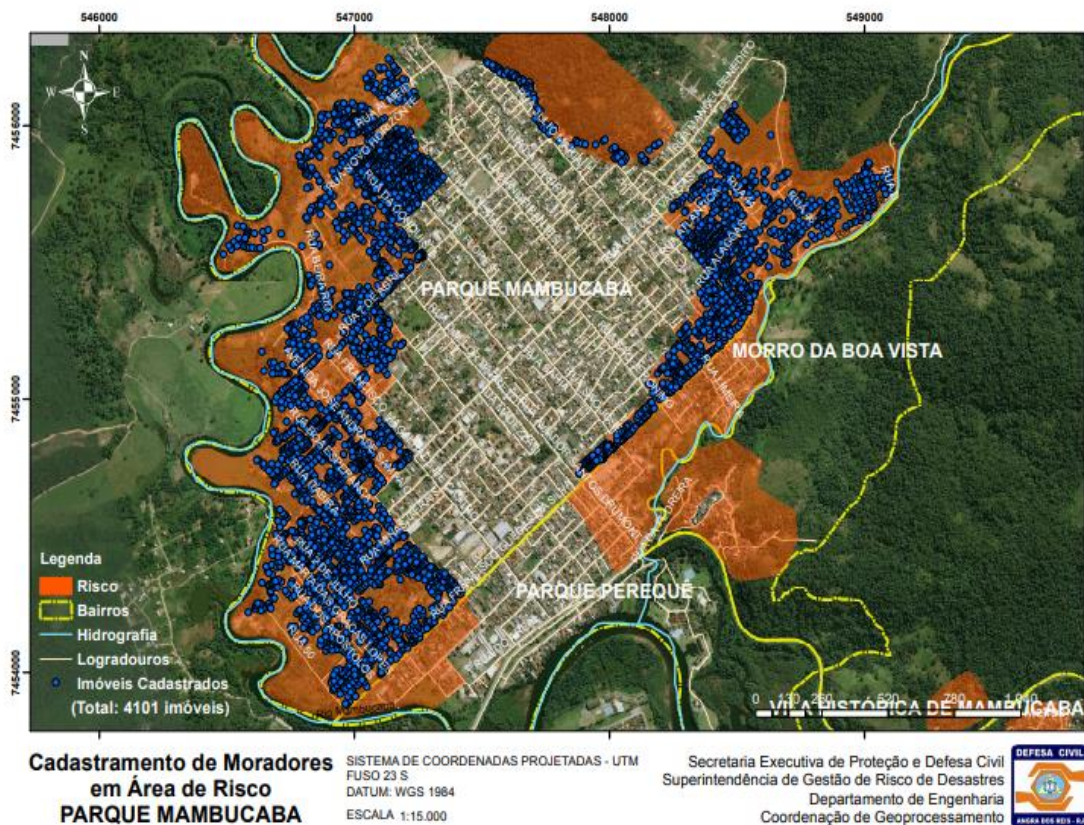


Figura 12: Localização dos imóveis em áreas de risco no Parque Mambucaba (DEFESA CIVIL,2019).

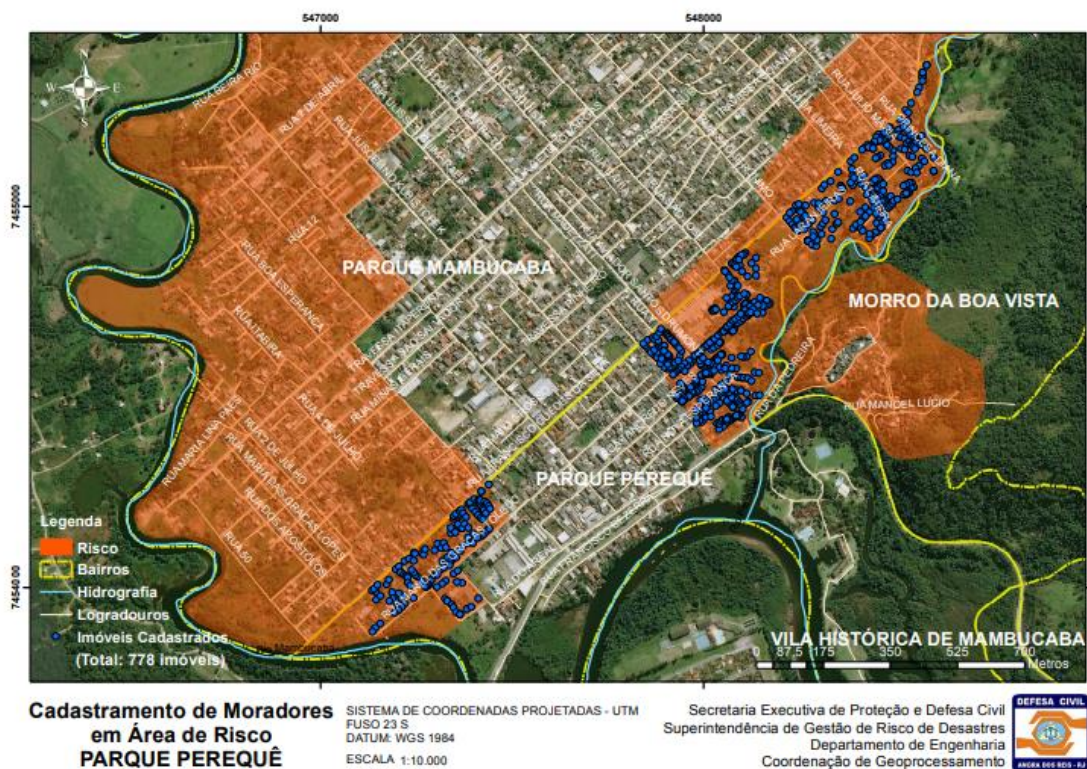


Figura 13: Localização dos imóveis em áreas de risco no Parque Perequê (DEFESA CIVIL, 2019).

Sendo assim, mediante as condições de ocupação da Região Administrativa de Mambucaba percebe-se a importância em se avaliar a suscetibilidade a inundações, tendo em vista o processo de formação socioespacial sofrido e as características naturais presentes na área de estudo.

4.2 Procedimentos de análise ambiental

Através do uso do conjunto de ferramentas de Geoprocessamento buscou-se realizar uma análise ambiental acerca da incidência de inundações na Região Administrativa de Mambucaba. Para isto, utiliza-se como auxílio os softwares ArcGIS, SAGA GIS, SAGA (Sistema de Avaliação Geo-Ambiental), e TerraView (TerraHidro) para a elaboração de 3 modelos avaliativos de inundações. A Tabela 1 apresenta os dados com as informações utilizadas nos procedimentos presentes neste trabalho.

Tabela 1: Dados referentes aos processamentos

Dados	ESCALA	REFERÊNCIAS
Pontos Cotados, Curva de Nível e		

Hidrografia	1:25.000	IBGE (2018)
Bacia Hidrográfica	1:50.000	INEA (2019)
Solos	1:250.000	Carvalho Filho et al. (2003)
Geomorfologia	1:250.000	IBGE (2019)
Uso e Cobertura da Terra	1:25.000	INEA (2018)
Pontos de ocorrência de inundações	—	Defesa Civil (2018)
Bairros	1:250.000	CENSO/IBGE (2010)

Para representar os processos metodológicos envolvidos na pesquisa, a figura 14 demonstra as seguintes etapas desse trabalho no estudo da suscetibilidade a inundações, apresentando os processos realizados e os produtos obtidos.

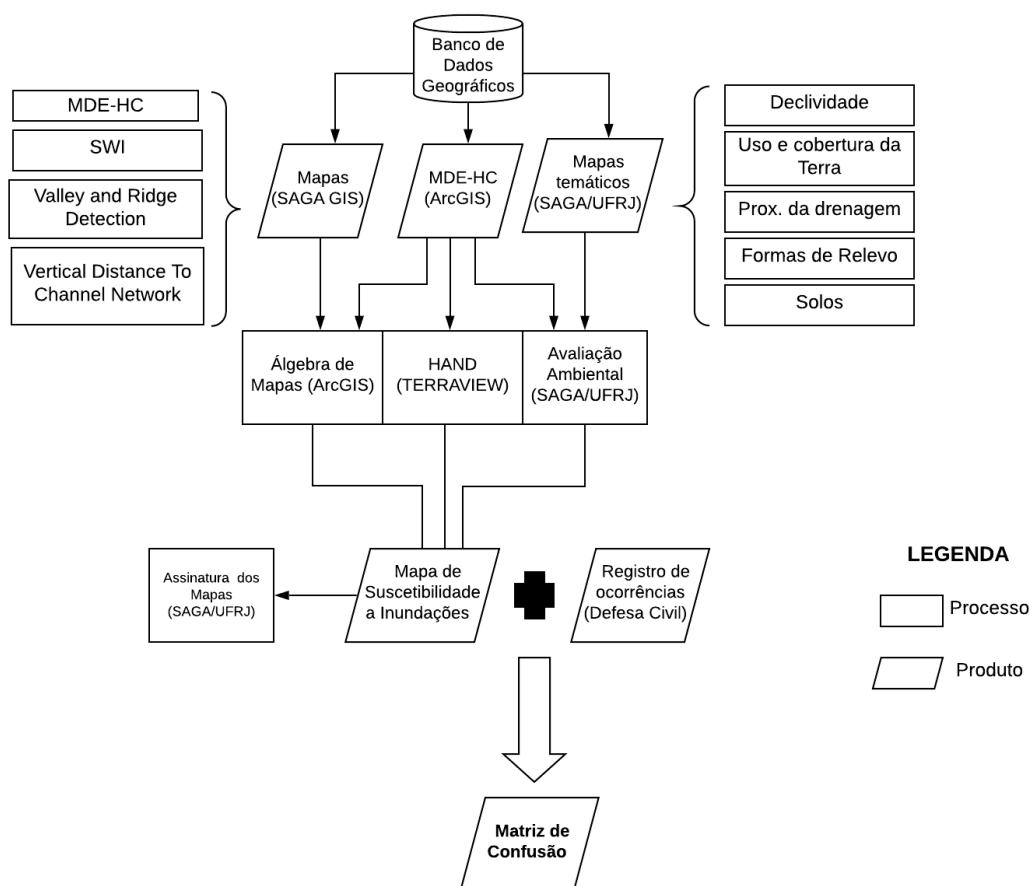


Figura 14: Fluxograma metodológico sobre o processo de análise da suscetibilidade a inundações.

A delimitação da bacia que compreende a Região Administrativa de Mambucaba foi realizada por meio de dados do INEA (2019), que apresentam as regiões hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro, onde a área em estudo é pertencente às bacias contribuintes da Baía de Ilha Grande.

Por meio de um banco de dados, no ArcGIS Desktop v.10.6, foi produzido o Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDE-HC) correspondente à bacia hidrográfica que representa a área de estudo, com resolução de 10 metros como é apresentado na figura 15, baseando-se no uso da malha hidrográfica no processo de interpolação de dados de altimetria. Este modelo foi gerado a partir da inserção de dados de curvas de nível, pontos cotados, drenagem, juntamente com o limite da bacia hidrográfica utilizando a ferramenta *Topo to Raster*, localizada na janela *ArcToolbox – 3D Analyst Tools – Raster Interpolation*. Após esse processo foi utilizada a ferramenta *Fill*, localizada na aba *Arctoolbox – Spatial Analyst Tools – Hydrology*, que consiste no preenchimento de pequenas imperfeições existentes nos dados.

O MDE-HC foi elaborado a partir do método *stream burning* (HUTCHINSON, 1988), que possibilita definir as direções do escoamento superficial sobre o terreno. Este procedimento consiste basicamente em aplicar a rede vetorial que existe no MDE, rebaixando a elevação das células ao longo dessa rede por um fator arbitrário e fazendo com que as células constituam os cursos de fluxos principais no raster de direção de fluxo gerado a partir do MDE que foi modificado (BUARQUE et al., 2003).

De acordo com Poletto et al. (2008), o modelo de terreno é hidrologicamente consistente quando apresenta adequadamente o relevo da área de estudo, a ponto de permitir a correta simulação dos processos hidrológicos ocorrentes na região.

Posterior a esse procedimento, foi usada a ferramenta *Hillshade*, localizada na janela *ArcToolbox – Spatial Analyst Tools – Surface*. Esse procedimento consiste em criar um modelo sombreado do terreno baseando-se na elevação e inserção de transparência (30%), a fim de dar um melhor visual do terreno com a sobreposição do modelo digital de elevação hidrologicamente consistente.

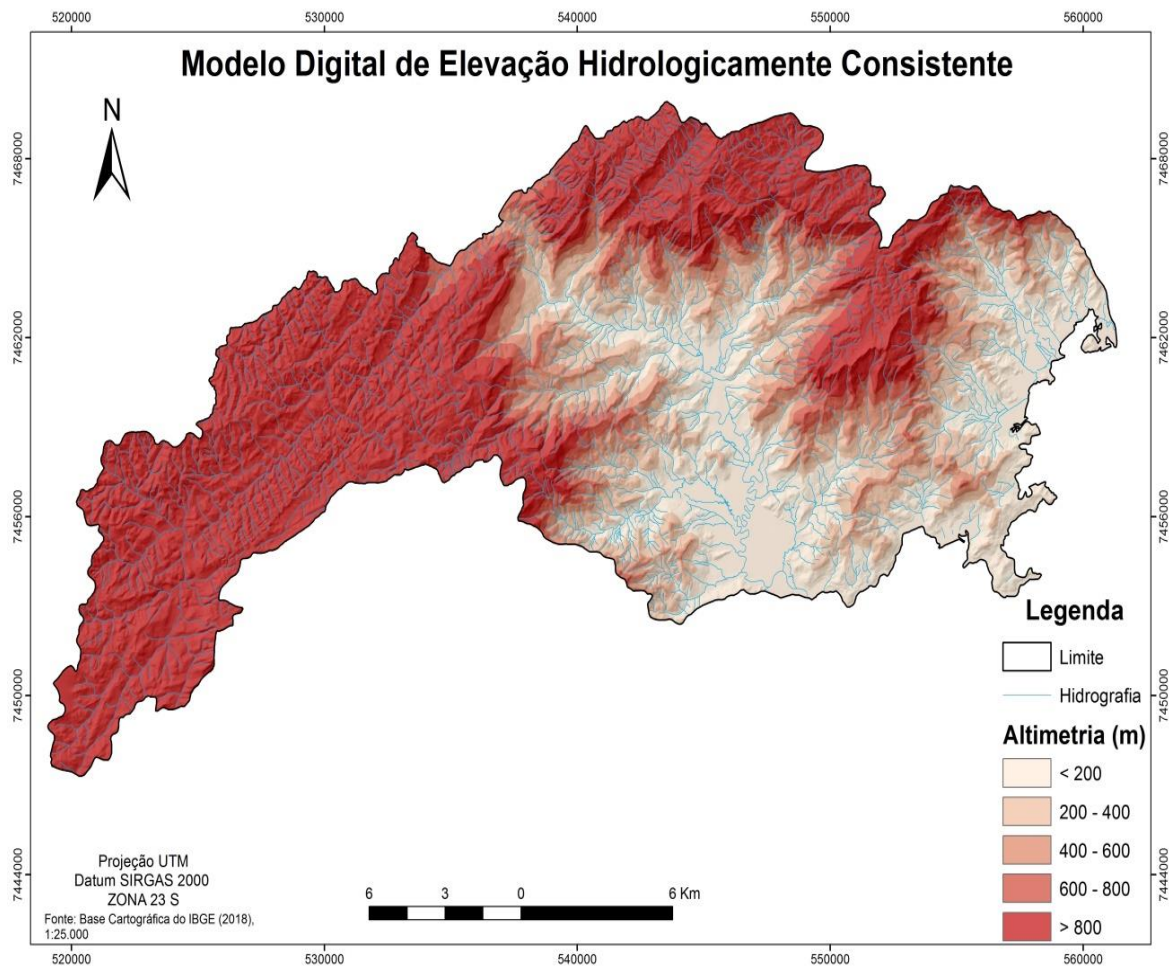


Figura 15: Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente.

Por meio da elaboração do MDE-HC foi gerado o mapa de declividade da área de estudo (figura 16), considerando a declividade um fator de grande importância na análise de inundações, com classes de relevo com base na classificação da Embrapa (1979). Esse produto foi obtido através da ferramenta *Slope*, encontrada em *ArcToolbox – 3D Analyst Tools – Raster Surface*.

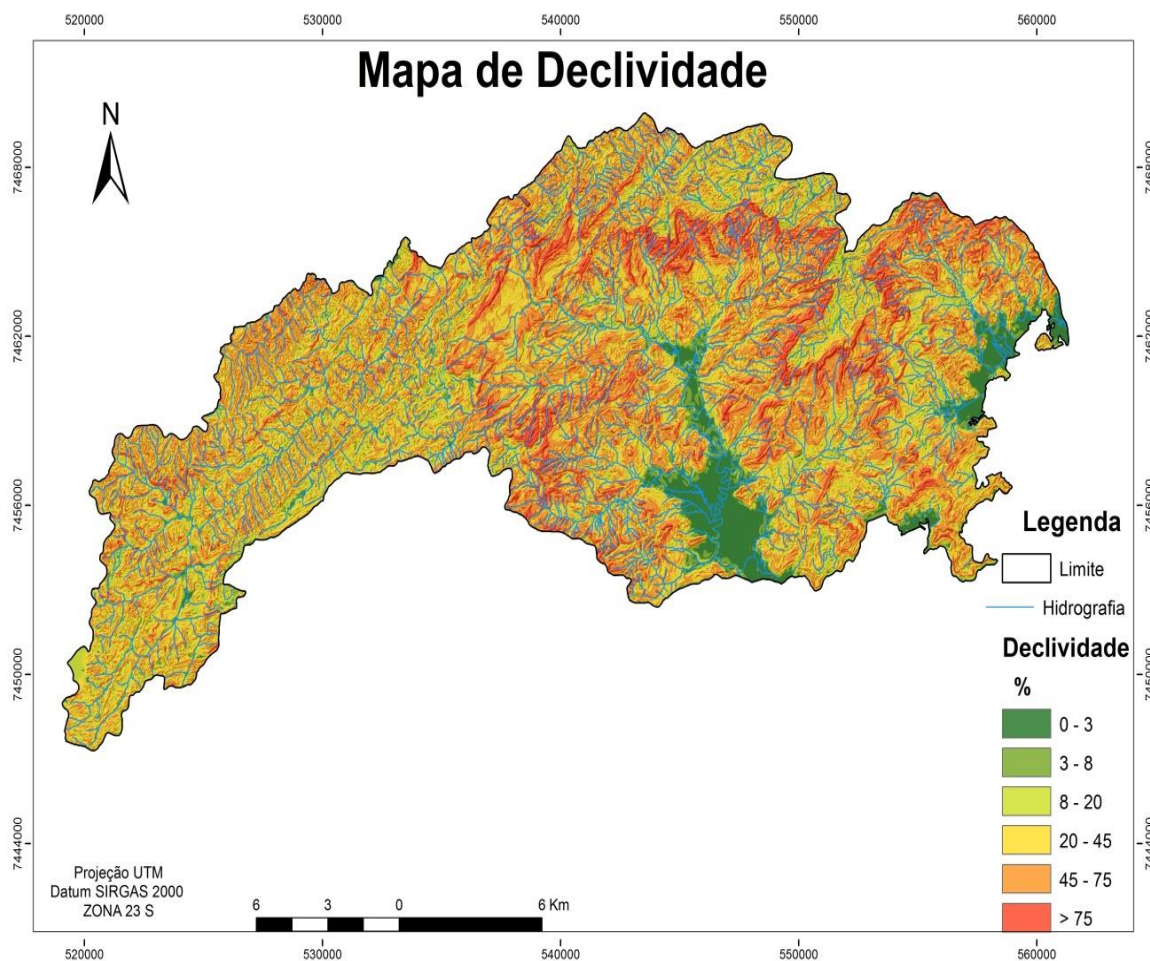


Figura 16: Mapa de Declividade da área de estudo.

Através do MDE-HC também foi possível gerar modelos numéricos do terreno derivados, utilizando o *software* SAGA-GIS (*System for Automated Geoscientific Analyses*). Para utilizar esse programa computacional, o MDE foi transformado para o formato ASCII por meio da ferramenta *Conversion Tools* que possibilitou a transformação do raster para este formato.

A evolução deste programa ocorreu nos anos 90, envolvendo trabalhos de geografia física, tendo como foco inicial a análise de dados a partir de modelos digitais de elevação utilizados para prever propriedades do solo e parâmetros climáticos, por exemplo (CONRAD et al., 2015).

No SAGA-GIS o MDE-HC foi importado na aba *Import/Export – Grids – Import ESRI Arc/Info Grid*. Assim, com o arquivo adicionado na aba *Terrain Analysis* utilizou-se as ferramentas do *Valley and Ridge Detection*, *Vertical Distance to Channel Network* e *SAGA Wetness Index*, localizadas respectivamente nas janelas *Morphometry*, *Channels*, e *Hydrology*.

A ferramenta *Valley and Ridge Detection (Top Hat Approach)* usa uma abordagem de extração de picos e vales, baseando-se na função *The black Top Hat* para extrair vales e na função *The White Top Hat* para extração de picos, por meio da aplicação um modelo digital de elevação (RODRIGUEZ et al., 2002). Essa ferramenta teve como *input* o MDE-HC importado e como *output* o *Hill index* e *Valley Index*, com valores associados à lógica difusa ou lógica *fuzzy*, variando entre 0 e 1.

A ferramenta *Vertical Distance to Channel Network* é baseada no cálculo da distância vertical até o nível base da rede de drenagem. Essa ferramenta é um formulário que busca determinar e representar a profundidade de fragmentação do relevo (CASTRAVET, 2011), a partir do *input* do modelo digital de elevação e da hidrografia da área, obtendo assim um produto que fornece a altitude acima da rede de canais.

Por fim, a ferramenta *SAGA Wetness Index (SWI)* consiste no cálculo do índice de umidade indicando a maior tendência do solo a saturação hídrica, com base no cálculo da “área de captação modificada”. Dessa forma, essa ferramenta caracteriza um determinado terreno através das variações espaciais no teor de umidade do solo (BÖHNER E SELIGE, 2006), utilizando como *input* o MDE-HC e gerando como a área de captação, a declividade da área, a área de captação modificada e o índice de umidade.

4.2.1 Método 1: Avaliação Ambiental (SAGA/UFRJ)

Através do *software* SAGA (Sistema de Avaliação Geo-Ambiental) foi possível desenvolver a avaliação ambiental utilizando os dados de declividade gerados do MDE, proximidade da drenagem (IBGE), solos (Embrapa), uso e cobertura da terra (INEA) e relevo (IBGE), convertendo-os para o formato raster. Este programa foi elaborado em 1983 no Departamento de Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, pelo pesquisador Jorge Xavier da Silva.

A transformação para o formato raster foi realizada no Sistema VICON SAGA – Vigilância e Controle, na ferramenta conversor, pela qual os arquivos no formato *shapefile* foram convertidos para o formato raster SAGA, com uma resolução espacial de 10 metros e recorte baseado nas coordenadas fornecidas pelo MDE-HC. Após essa etapa, os dados foram inseridos no *software* e suas respectivas classes foram reordenadas.

A execução do processo de avaliação ambiental no SAGA consistiu na combinação desses mapas com ênfase na criação de um mapa de suscetibilidade a inundações baseado na estrutura da árvore de decisão, conforme mostra a figura 17.

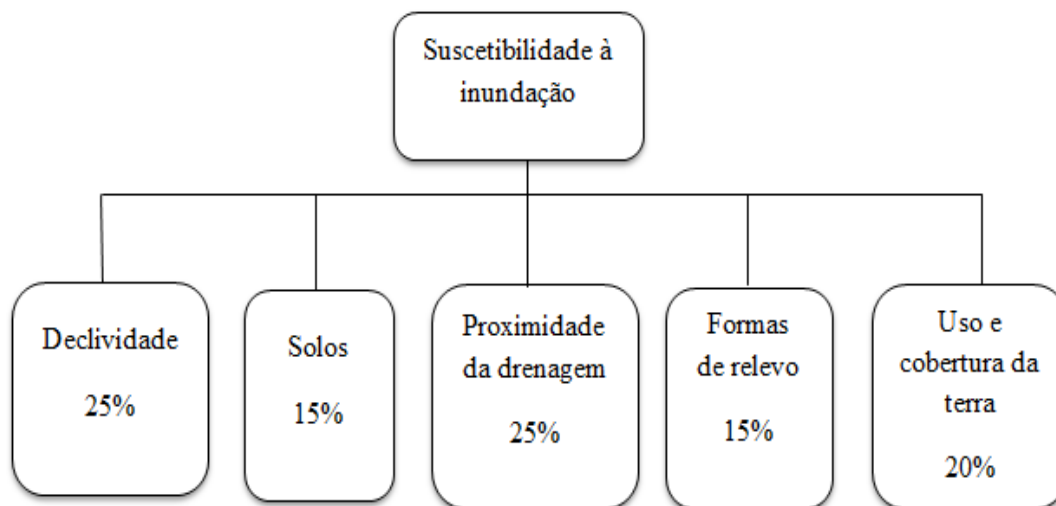


Figura 17: Árvore de decisão criada para a avaliação de suscetibilidade a inundações.

Na janela avaliação os seguintes mapas foram adicionados e foram atribuídos os pesos referentes ao grau de importância de cada parâmetro que totalizados resultam em 100%. O próximo passo foi atribuir valores relacionados à probabilidade de ocorrência de inundações em cada aspecto analisado, dando notas às classes referentes aos mapas usados, onde a nota zero significa a menor probabilidade de acontecer o evento e a 10 a maior probabilidade de ocorrência.

A atribuição de notas para cada classe dos mapas contou com a colaboração de dois avaliadores especialistas nos mapas temáticos envolvidos na avaliação, que deram notas entre 1 e 5. No SAGA cada nota foi multiplicada por dois, para se estar de acordo com o intervalo de notas definido pelo programa, que varia entre 0 e 10, como é mostrado no tabela 2.

Tabela 2: Valores atribuídos às classes de cada parâmetro.

FORMAS DE RELEVO	NOTAS	USO E COBERTURA DA TERRA	NOTAS
Ravina	2	Áreas naturais florestadas	4
Planície	10	Áreas naturais não florestadas	4
Topo Aguçado	2	Áreas antrópicas não agropastoris	8
Topo Convexo	4	Áreas antrópicas agropastoris	6
SOLOS	NOTAS	Mangue	10
Cambissolo Háplico	6	DECLIVIDADE	NOTAS
Neossolo Litólico	4	0 – 3 Plano	10
Neossolo Flúvico	8	3 – 8 Suave Ondulado	8
Latossolo Vermelho-Amarelo	2	8 – 20 Ondulado	6
Solos Indiscriminados de Mangue	10	20 – 45 Forte Ondulado	4
Espodossolo Humilúvicos	8	45 – 75 Montanhoso	2
PROXIMIDADE DA DRENAGEM	NOTAS	> 75 Escarpado	2
<20 m da drenagem	10		
20 a 50 m da drenagem	8		
50 a 100 m da drenagem	6		
100 a 200 m da drenagem	2		

Por fim, com a avaliação ambiental iniciada, foi inserido “Suscetibilidade à inundação” como título do mapa e assim gerou-se o produto. Todo o processo realizado e combinações são abordados no relatório de avaliação gerado juntamente ao mapa. Essas combinações são feitas através de média ponderada, dada através da fórmula (Equação 1), onde “n” é quantidade de mapas usados; “A_{ij}” é a possibilidade de ocorrência do evento analisado no pixel “i,j” do mapa resultante; “P_{ij(k)}” corresponde ao peso da contribuição do parâmetro “k” para a ocorrência do evento analisado; “N_{ij(k)}” é a nota atribuída entre 0 e 10 (MARINO et al., 2012), conforme é observado na equação abaixo.

$$A_{ij} = \sum_{k=1}^n P_{ij(k)} \times N_{ij(k)} \quad (1)$$

4.2.2 Método 2: Álgebra de Mapas (ArcGIS)

Além do *software* abordado acima para a avaliação ambiental, foi utilizado também o ArcGIS Desktop v.10.6, para a realização da álgebra de mapas. Primeiramente cada raster gerado no SAGA GIS foi adicionado ao ArcGIS, juntamente aos pontos de ocorrências de inundações na área em estudo, provenientes através de um profissional da Defesa Civil. Com a ferramenta *Extract Multi Values to Points* obteve-se a extração de valores de células nos locais especificados nos rasters.

Dos produtos gerados pelas ferramentas no SAGA GIS, foram utilizados o *Topographic Wetness Index*, *Channel Network Base Level*, *Vertical Distance to Channel Network* e *Valley Index*, como pode ser observado na figura 18. O TWI possui o índice de umidade topográfico, auxiliando na identificação de áreas mais suscetíveis à saturação hídrica; O *Channel Network Base Level* e *Vertical Distance to Channel Network* fornecem respectivamente as elevações do nível base da rede de canais interpolados e a altitude acima da rede de canais nas mesmas unidades que os dados de elevação; O *Valley Index* gera o índice de vales com base no método *fuzzy*, onde os valores verdadeiros se aproximam de 1 e os falsos se aproximam de 0, ou seja, o que é dado como 0 não é um vale.

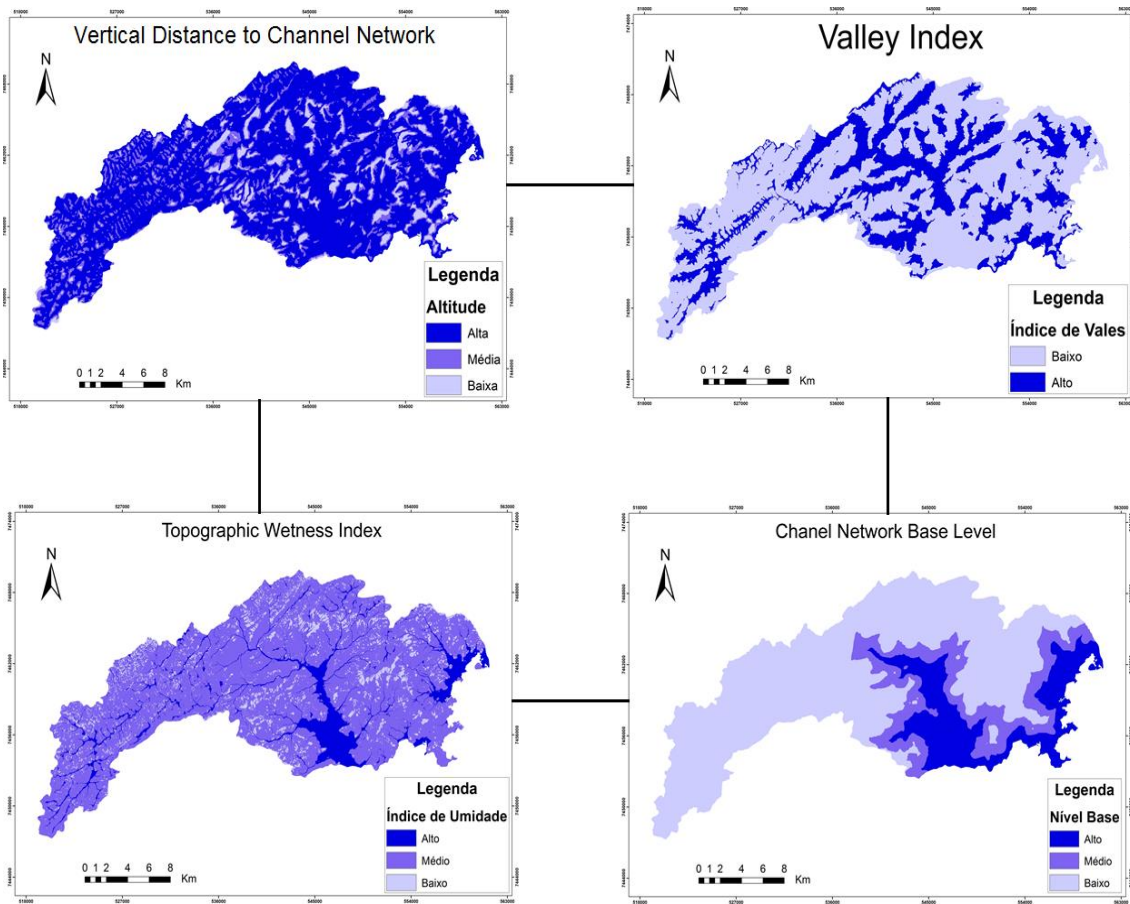


Figura 18: Rasters gerados no SAGA GIS: Vertical Distance to Channel Network, Valley Index, Topographic Wetness Index e Channel Network Base Level.

Em *Reclassify* os rasters foram reclassificados com base nos seus valores médios e agrupados em classes Baixo, Médio e Alto. As tabelas abaixo apresentam as seguintes classificações das simbologias e os valores testados para cada classe, respectivamente.

Tabela 3: Simbologia utilizada para reclassificação dos rasters.

	Topographic Wetness Index	Channel Network Base Level	Valley Index	Vertical Distance to Channel Network
Alto	>5	<100	1	<50
Médio	5 - 2	100 - 300	0	50 - 100
Baixo	<2	>300	0	>300

Tabela 4: Valores atribuídos para reclassificação dos rasters.

	Topographic Wetness Index	Channel Network Base Level	Valley Index	Vertical Distance to Channel Network
Alto	10	100	1	1000
Médio	20	200	0	2000
Baixo	30	300	0	3000

Para o agrupamento destes mapas foi utilizada a ferramenta *Raster Calculator*, localizada em *ArcToolbox - Spatial Analyst Tools – Map Algebra*. A álgebra de mapas foi realizada então a partir do somatório dos rasters acima, originando 12 classes a partir dessa soma.

4.2.3 Método 3: HAND (*Height Above the Nearest Drainage*)

Para a elaboração do terceiro modelo de análise dos eventos de inundação, utilizou-se também o MDE-HC da bacia correspondente à Região Administrativa de Mambucaba. O HAND (*Height Above the Nearest Drainage* ou *Altura Acima da Drenagem Mais Próxima*) foi elaborado por Rennó et al. (2008) e utiliza a diferença entre a altitude extraída do Modelo Digital de Elevação e a rede de drenagem de referência para calcular alturas relativas, que têm relação com a profundidade do lençol freático e com a topografia do área (RENNÓ et al., 2008; NOBRE et al., 2011).

NOBRE et al. (2011) determinaram como referência de base a altura da rede de drenagem mais próxima para classificar as áreas com base na saturação de água no solo pela indicação da altura local relativa de uma determinada área, ao invés da altura em relação nível do mar.

Para a realização deste modelo, usou-se o MDE-HC transformado para o formato ASCII como *input* no programa TerraView v.4.2.1 do INPE, por meio da extensão TerraHidro, consistindo em 3 etapas executadas na ferramenta *Hydrological Tools*. A primeira etapa foi a definição do fluxo de drenagem (LDD) encontrada na aba *Flow Extraction*; após esse processo foi gerado um arquivo demarcando a área de

contribuição da bacia na aba *Contributing Area* e como última etapa obteve-se a densidade da drenagem (D) na aba *Drainage extraction*.

Para de definição da rede de drenagem nesta terceira etapa escolheu-se um limiar de 500 (*threshold*), baseando-se na hidrografia da área em estudo e também em trabalhos já realizados (NOBRE et al., 2011; MENGUE et al., 2016; MOMO et al., 2016; SANTOS, 2019). Segundo o Plano de Manejo da Estação Ecológica de Tamoios, a bacia do rio Mambucaba possui uma densidade de drenagem próxima a 0,8km/km², considerada uma bacia mal drenada. Dessa forma, trabalhos que abordam sobre o modelo de altura acima da drenagem mais próxima relatam a relação entre a densidade da drenagem e a escolha do limiar, pois quanto maior o valor do limiar de drenagem, menor é a densidade da drenagem e menos pontos na grade são encontrados (MOMO et al., 2016).

Após estas etapas, na aba HAND, gerou-se o mapa final que representa o modelo avaliativo de suscetibilidade a inundações.

A figura 19 representa a descrição dos processos executados na elaboração do modelo HAND, no TerraView.

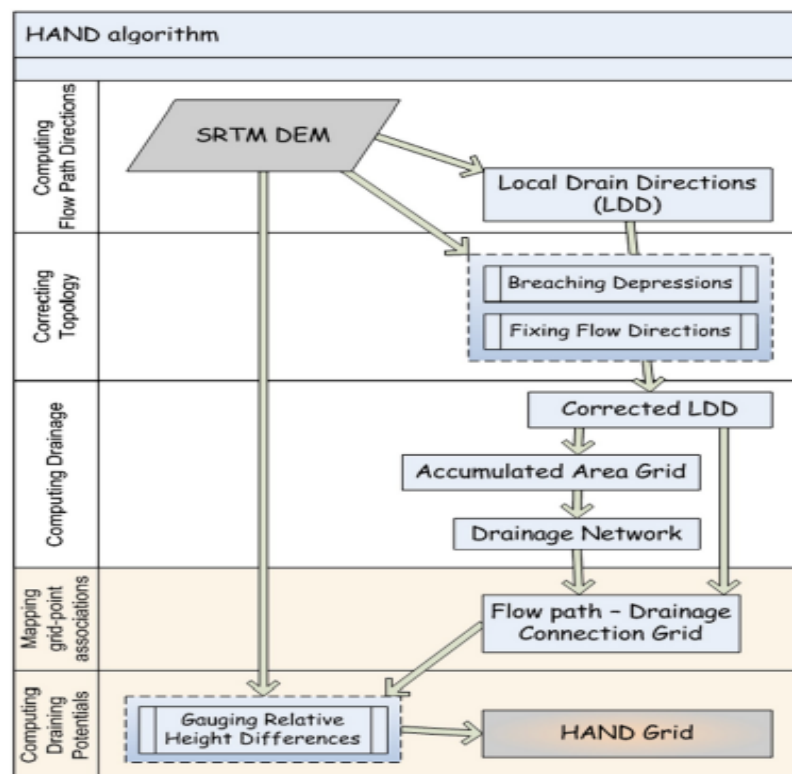


Figura 19: Etapas do processamento do modelo HAND (RENNÓ et al., 2008).

4.2.4 Validação por Cálculo de Índice de Acerto Ponderado

A validação da metodologia utilizada neste trabalho foi executada através da verificação da exatidão dos mapeamentos de suscetibilidade a inundações, realizados de três maneiras diferentes, em comparação com dados provenientes da Defesa Civil. Tais dados foram disponibilizados por um profissional da Defesa Civil de Angra dos Reis, contando com 18 registros de eventos de inundação na Região Administrativa de Mambucaba, localizados nos bairros Parque Perequê, Sertão Mambucaba, Parque Mambucaba e Vila Histórica de Mambucaba.

Utilizou-se o método baseado na Matriz de Confusão (MARINO, 2008), que indica não somente os acertos, mas também os erros obtidos com base nas amostras de ocorrências dos eventos. Para a ponderação da gravidade dos erros nos modelos avaliativos de inundação realizados foi utilizada uma tabela que adota pesos de acordo com o grau de acerto ou de erro na metodologia, como pode ser observado a seguir.

Tabela 5: Grupos, pesos e justificativas das ponderações (MARINO, 2008).

GRUPO	PESO	JUSTIFICATIVA
A1	3	Recebe bonificação em função do evento ter ocorrido de fato onde a área foi considerada pela metodologia como a mais crítica (riscos altíssimos).
A2	2	Também recebe bonificação, porém abaixo do anterior. Nestas áreas foram registradas ocorrências sobre uma localidade mapeada com alta probabilidade de ocorrência deste evento.
A3	1	Último grau de aceitabilidade da metodologia. Trata-se de locais considerados com probabilidade média de ocorrências dos eventos analisados. Como este em terceiro na escala de gravidade recebe pontuação proporcional ao seu grau de risco.
E1	-2	Caso ocorram registros de ocorrências reais de eventos nestas áreas, devem ser penalizadas, proporcionalmente ao número de casos relatados, pois se trata de localidades mapeadas pela metodologia com “áreas de baixa probabilidade de ocorrência” do evento analisado. Sendo assim, um evento ocorrido nesta região contraria a metodologia.
E2	-3	Caso mais grave, onde se registram ocorrências de eventos reais em áreas mapeadas pela metodologia como áreas de baixíssimo risco, ou seja, de baixíssima probabilidade de ocorrência do evento. Portanto, cada evento real que incida sobre essas áreas deve penalizar rigidamente a metodologia, recebendo tal peso.

A partir da tabela acima, foi elaborada uma tabela contendo o cálculo dos índices de acertos ponderados. O cálculo dos pontos obtidos foi gerado a partir da multiplicação de cada peso com os respectivos erros e acertos, somando os seus resultados conforme mostra a equação abaixo.

$$PTS_{obt} = (3 \times A1) + (2 \times A2) + (A3) + (-2 \times E1) + (-3 \times E2) \quad (2)$$

A soma entre os erros e acertos ponderados é chamada de Índice de Acerto Ponderado, sendo realizada por meio de uma fórmula (Equação 3) que resulta em valores percentuais em um intervalo de 0% a 100% .

$$IAP = \frac{Pts_{obt} + |Pts_{min}|}{Pts_{max} + |Pts_{min}|}$$

Pts_{obt} → Total de Pontos obtidos

Pts_{max} → Pontuação Máxima

Pts_{min} → Pontuação Mínima

(3)

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Método 1

Como resultado da avaliação ambiental realizada no Sistema de Avaliação Geo-ambiental obteve-se o primeiro modelo avaliativo de suscetibilidade a inundações, elaborado por meio das combinações dos parâmetros de declividade, formas de relevo, uso e cobertura da terra, solos e proximidade da drenagem. O programa gerou um mapa com classes avaliadas de 3 a 10, que foram classificadas em Baixa, Média, Alta e Muita Alta, conforme mostra a tabela abaixo.

Tabela 6: Classes de Suscetibilidade no SAGA/UFRJ.

Notas dadas pelo SAGA	Classes de Suscetibilidade
3 e 4	Baixa
5 e 6	Média
7 e 8	Alta
9 e 10	Muito Alta

O produto final foi o mapa (figura 20) com resolução espacial de 10 metros, com layout executado no *software* ArcGIS.

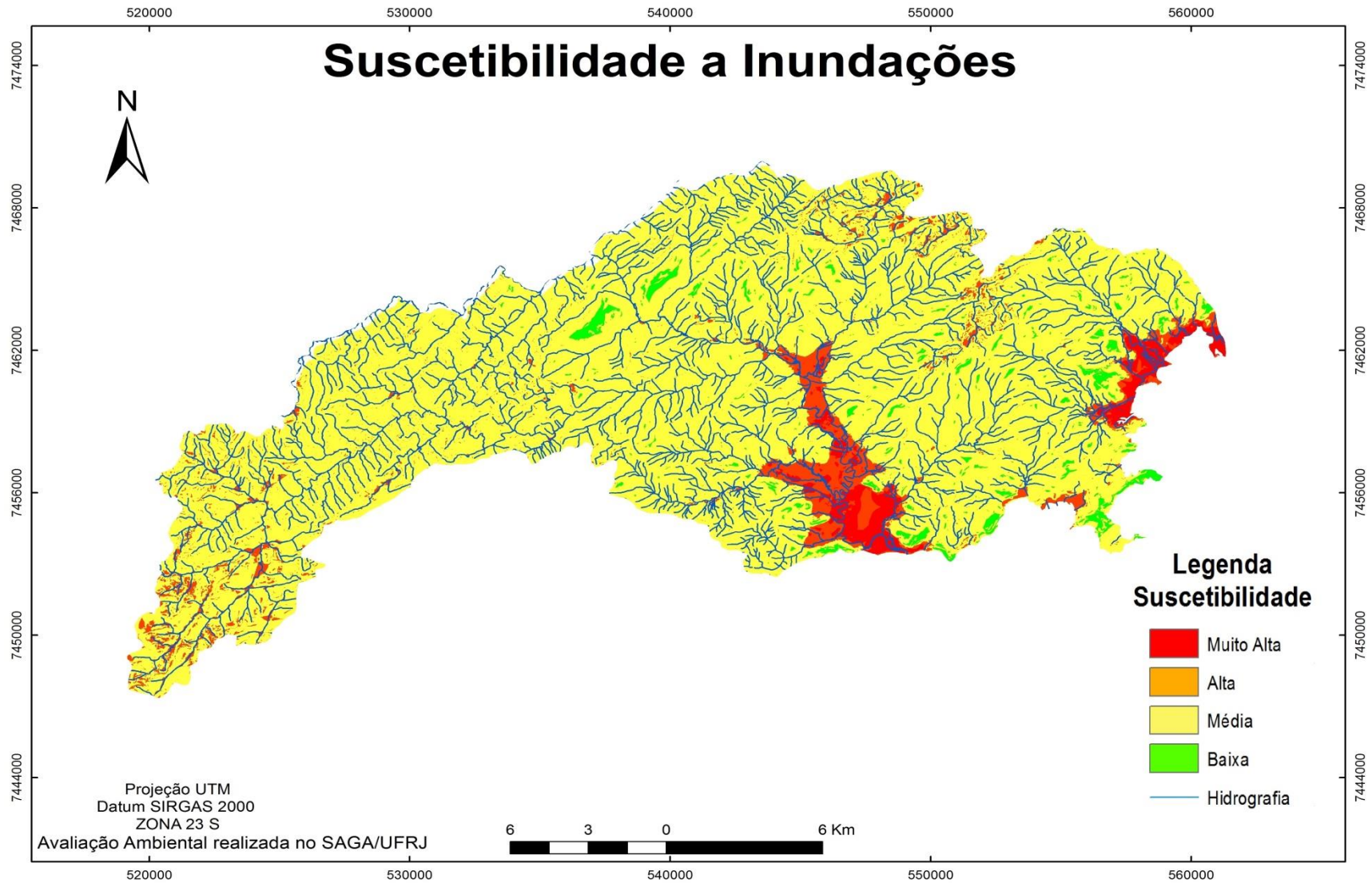


Figura 20: Mapa de Suscetibilidade a Inundações gerado pela Avaliação Ambiental no SAGA/UFRJ.

O processo de assinatura, realizado no SAGA/UFRJ, possibilitou o cálculo das áreas correspondentes a cada classe de suscetibilidade (Tabela 7).

Tabela 7: Áreas referentes às classes de suscetibilidade da Avaliação Ambiental.

Suscetibilidade	ÁREA (km ²)
Muito Alta	8,9
Alta	22,6
Média	330
Baixa	8
TOTAL:	369,5

É importante frisar que este mapa apresentou uma área total menor que a dos outros dois mapas de suscetibilidade a inundações. Isso ocorreu devido ao processamento da avaliação ambiental no SAGA/UFRJ possuir na legenda a “hidrografia” e no cálculo da área das classes deste mapa consequentemente também se calculou a área deste campo.

5.2 Método 2

Como resultado da álgebra de mapas realizada no ArcGIS obteve-se um mapa com 12 classes, nas quais foram reclassificadas para as classes Alta, Média e Baixa usando como critério a soma dos valores atribuídos para cada raster. No *Reclassify* as classes foram reclassificadas conforme mostra a tabela 8.

Tabela 8: Classes de suscetibilidade.

Suscetibilidade	Classes reclassificadas
Alta	0 – 1111
Média	1111 – 2220
Baixa	> 2220

Assim foi gerado o mapa de Suscetibilidade a inundação como apresenta a figura seguir.

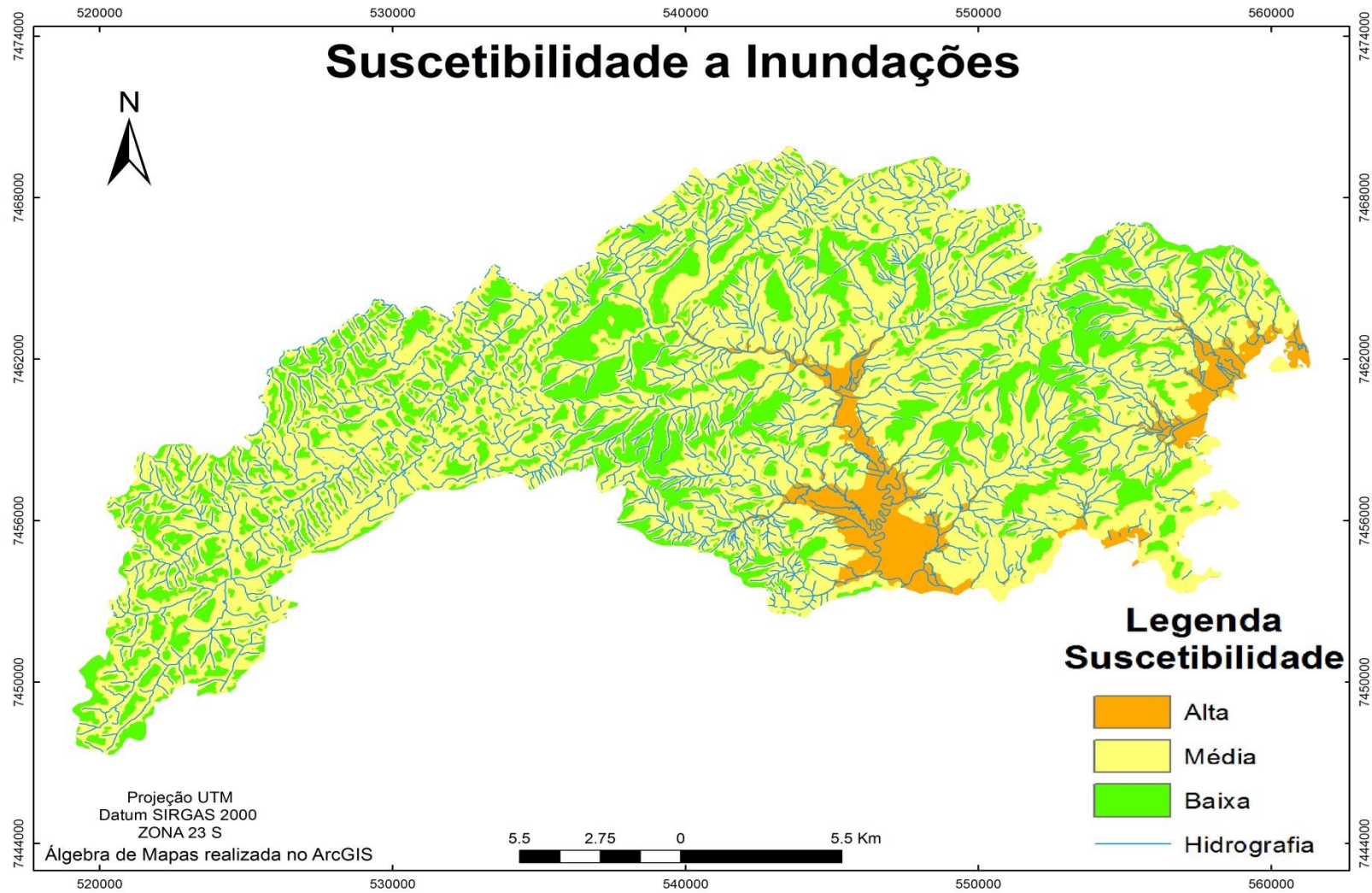


Figura 21: Mapa de Suscetibilidade a Inundações gerado no ArcGIS por Álgebra de Mapas.

Para o processo metodológico de álgebra de mapas, a assinatura com as respectivas áreas das classes do mapa de suscetibilidade pode ser observada com a tabela 9.

Tabela 9: Áreas referentes às classes de suscetibilidade da Álgebra de Mapas.

Suscetibilidade	ÁREA (km ²)
Alta	29
Média	309
Baixa	96,7
TOTAL:	434,7

5.3 Método 3

O produto deste modelo foi o estabelecimento de simulações de cotas de inundações através de dados topográficos em formato matricial, obtendo como resultado o mapeamento das áreas mais suscetíveis à inundação, baseando-se na distância vertical à drenagem mais próxima. O mapa final obtido a partir deste modelo foi classificado conforme mostra a tabela 10, apresentando as cotas de inundação que indicam os valores altimétricos indicados pelo modelo. Onde havia drenagem o programa identificou como 0.

Tabela 10: Classes em relação a suscetibilidade à inundação.

Classes	Cotas de inundação (m)
Muito Alta	0 – 2
Alta	2 – 5
Média	5 – 15
Baixa	15 – 30
Muito Baixa	> 30

O mapa gerado pelo modelo HAND foi exportado para o ArcGIS para a realização do *layout* com as devidas classes citadas, como apresenta a figura 22.

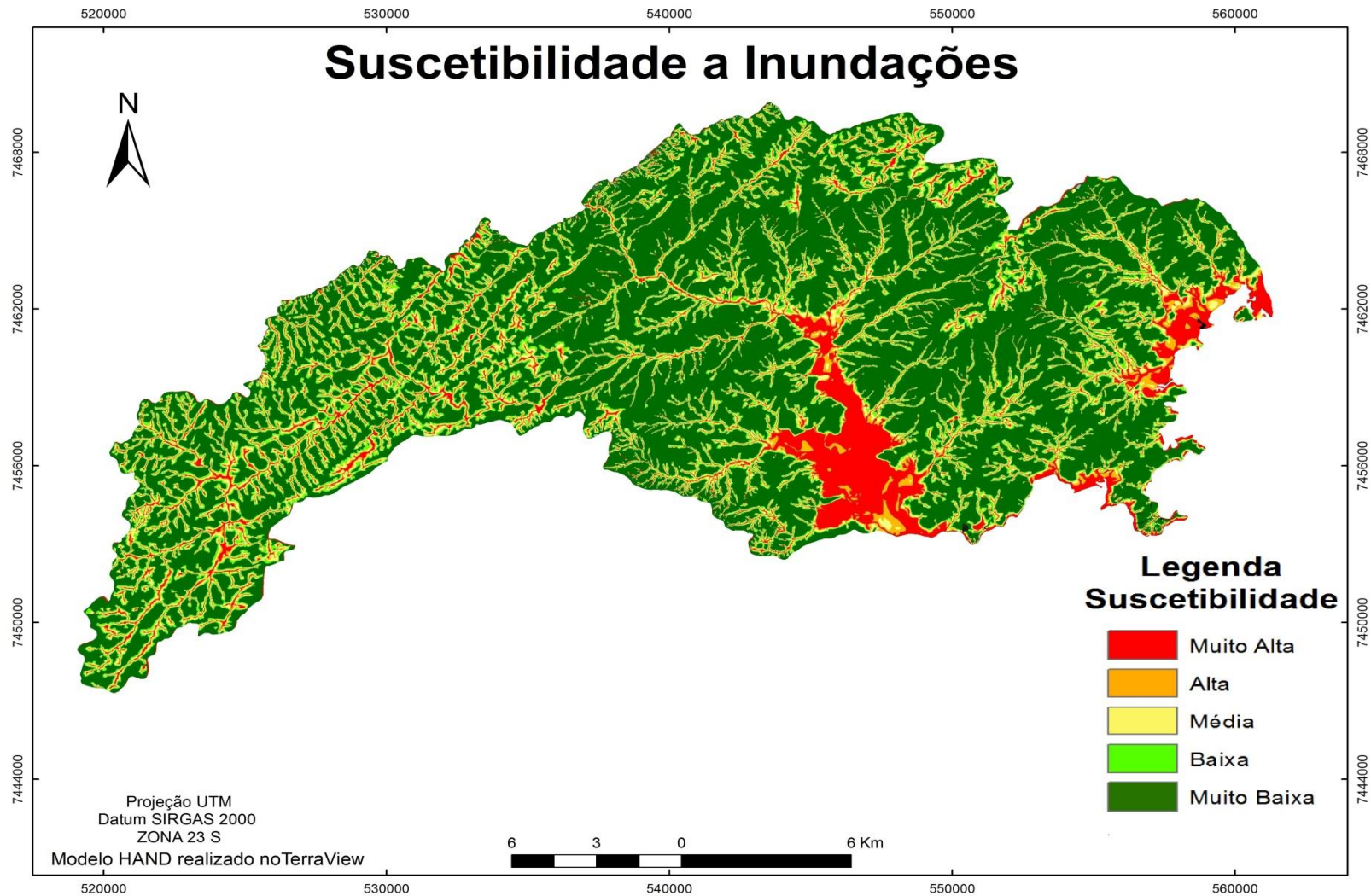


Figura 22: Mapa de Suscetibilidade a Inundações gerado pelo modelo HAND.

Assim como nos outros mapas resultantes, também foi calculada a área das classes de suscetibilidade para o produto do modelo HAND, a partir do processo de assinatura no SAGA/UFRJ, gerando a tabela 11.

Tabela 11: Áreas referentes às classes de suscetibilidade do HAND.

Suscetibilidade	ÁREA (Km ²)
Muito Alta	40
Alta	23,6
Média	48,7
Baixa	59,3
Muito Baixa	262,9
TOTAL:	434,5

5.4 Validação

Através dos dados contendo os históricos de inundações, disponibilizados por um agente da Defesa Civil de Angra dos Reis, foi possível a realização do processo de validação dos mapeamentos de suscetibilidade a inundações. O mapa abaixo (figura 23) apresenta a localização dos pontos de inundação na área de estudo.

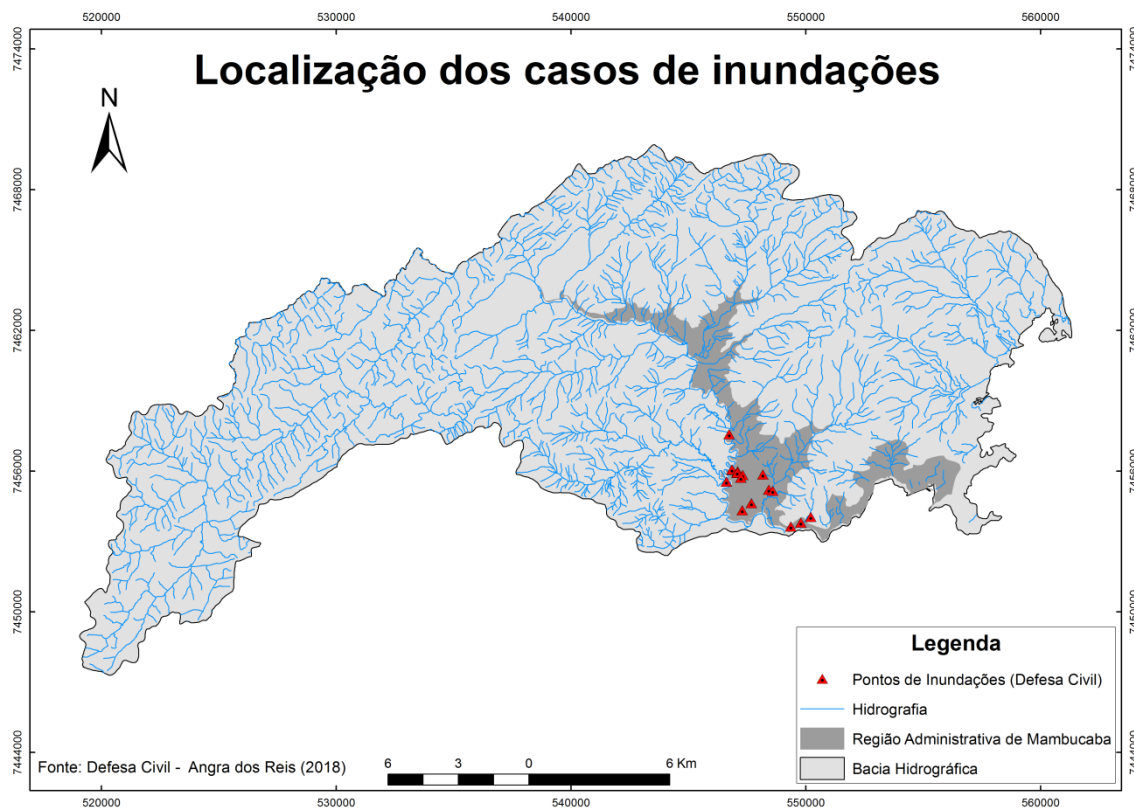


Figura 23: Localização dos casos de inundações registrados pela Defesa Civil de Angra dos Reis (DEFESA CIVIL, 2018).

De acordo com os cálculos propostos acerca da validação por meio Índice de Acerto Ponderado, obtiveram-se os resultados percentuais para cada um dos modelos avaliativos experimentados nesta pesquisa, conforme pode ser visto abaixo.

Com base nos cálculos mostrados acima e na tabela 5 que apresenta os grupos, pesos e justificativas, foi elaborada a tabela 12, mostrando a taxa de acerto de cada modelo metodológico referente às inundações na área de estudo, baseando-se nos dados da Defesa Civil de Angra dos Reis para este processo de validação.

Tabela 12: Cálculos dos índices de acertos ponderados.

HAND				
Grau de Suscetibilidade	Casos	Peso	Pontuação	% TOTAL
Muito Alta	14	3	42	0.77
Alta	3	2	6	0.16
Média	0	1	0	0
Baixa	0	-2	0	0
Muito Baixa	1	-3	-3	0.06
TOTAL	18		45	1

Avaliação Ambiental				
Grau de Suscetibilidade	Casos	Peso	Pontuação	% TOTAL
Muito Alta	15	3	45	0.83
Alta	2	2	4	0.11
Média	1	1	1	0.06
Baixa	0	-2	0	0
Muito Baixa	0	-3	0	0
TOTAL	18		50	1

Taxa de Acerto	
Total de Pontos	45
Pont. Máxima	54
Pont. Mínima	-54
IAP - Índice de Acerto	0.91

***IAPhand: $(45 + 54)/(54+54) =$**

0,91 = 91%

Taxa de Acerto	
Total de Pontos	50
Pont. Máxima	54
Pont. Mínima	-54
IAP - Índice de Acerto	0.96

***IAPava: $(33 + 54)/(54+54) =$**

0,8 = 80%

Álgebra de Mapas				
Grau de Suscetibilidade	Casos	Peso	Pontuação	% TOTAL
Muito Alta	0	3	0	0
Alta	15	2	30	0.83
Média	3	1	3	0.17
Baixa	0	-2	0	0
Muito Baixa	0	-3	0	0
TOTAL	18		33	1

Taxa de Acerto	
Total de Pontos	33
Pont. Máxima	54
Pont. Mínima	-54
IAP - Índice de Acerto	0.8

***IAPálgebra: $(50 + 54)/(54+54)$**

= 0,96 = 96%

Para uma análise comparativa entre os modelos avaliativos a tabela 13 foi criada, abordando os valores percentuais das classes de suscetibilidade dos modelos avaliativos gerados. Para isto, as classes muito alta e muito baixa, presentes nos mapas de suscetibilidade produzidos pelo modelo HAND e pela Avaliação Ambiental, foram unidas às classes alta e baixa, respectivamente.

Tabela 13: Percentuais referentes às classes de suscetibilidade dos modelos avaliativos de inundação.

Suscetibilidade	Avaliação Ambiental	Álgebra de Mapas	HAND
Alta	8,5%	6,7%	14,6%
Média	89,3%	71%	11,2%
Baixa	2,2%	22,3%	74,2%

6. CONCLUSÕES

Conforme foi abordado no presente trabalho, por meio dos dados analisados acerca da área de estudo, o crescimento demográfico e o conseqüente avanço da urbanização têm sido fatores motivadores para a ocorrência de desastres naturais nesta região em vista das condições naturais que este ambiente apresenta.

Para a realização deste estudo foram feitas análises descritivas e qualitativas dos variados aspectos da área de estudo, como o tipo de solo, relevo e a influência da cobertura vegetal. Dessa forma, as características vegetativas, geomorfológicas e também a influência da Serra do Mar nos padrões de chuvas, juntamente com as transformações sucedidas na bacia hidrográfica por meio do desmatamento, ocupação de áreas inapropriadas e forte processo de urbanização, demonstraram como o ambiente em análise é suscetível a riscos consideráveis de inundações.

A comparação dos três modelos avaliativos utilizados neste trabalho comprovou a Região Administrativa de Mambucaba como um local de risco notável aos episódios de inundação devido à sua alta suscetibilidade por conta de seus fatores naturais e também antrópicos. O processo metodológico de análise dos acertos e erros gerados pelos mapas de suscetibilidade à inundação, com base nos dados que apresentam um

histórico de casos na área em estudo, possibilitou a validação do uso dos modelos aplicados.

Pôde-se observar por meio dos modelos que a bacia delimitada tem maior suscetibilidade à inundação nas áreas de planícies flúviomarinhas, onde a declividade é muito baixa e que também têm apresentado um intenso processo de expansão urbana, ampliando ainda mais a ocorrência de casos de inundação. Os solos predominantes nesses locais também são um fator condicionante à ocorrência desses eventos.

Todavia, através do processo de assinatura realizado no SAGA/UFRJ para a obtenção do cálculo da área das classes de suscetibilidade dos mapas oriundos dos modelos de avaliação de inundações, foi possível perceber que nos mapas de suscetibilidade a inundações, gerados pelos processos de álgebra de mapas e de avaliação ambiental apresentaram maior parte da bacia hidrográfica com suscetibilidade média a inundações. O mapa gerado pelo modelo HAND, diferentemente dos demais, apresentou grande parte da bacia com suscetibilidade muito baixa a inundações.

Os modelos metodológicos de análise a inundações identificaram grande parte dos bairros da Região Administrativa de Mambucaba com grau de suscetibilidade significativo à inundação (figura 24), na qual a comparação entre os três processos metodológicos se mostra relevante. Sendo assim, mesmo com o uso de parâmetros distintos no processamento de cada modelo, os resultados se apresentam semelhantes.

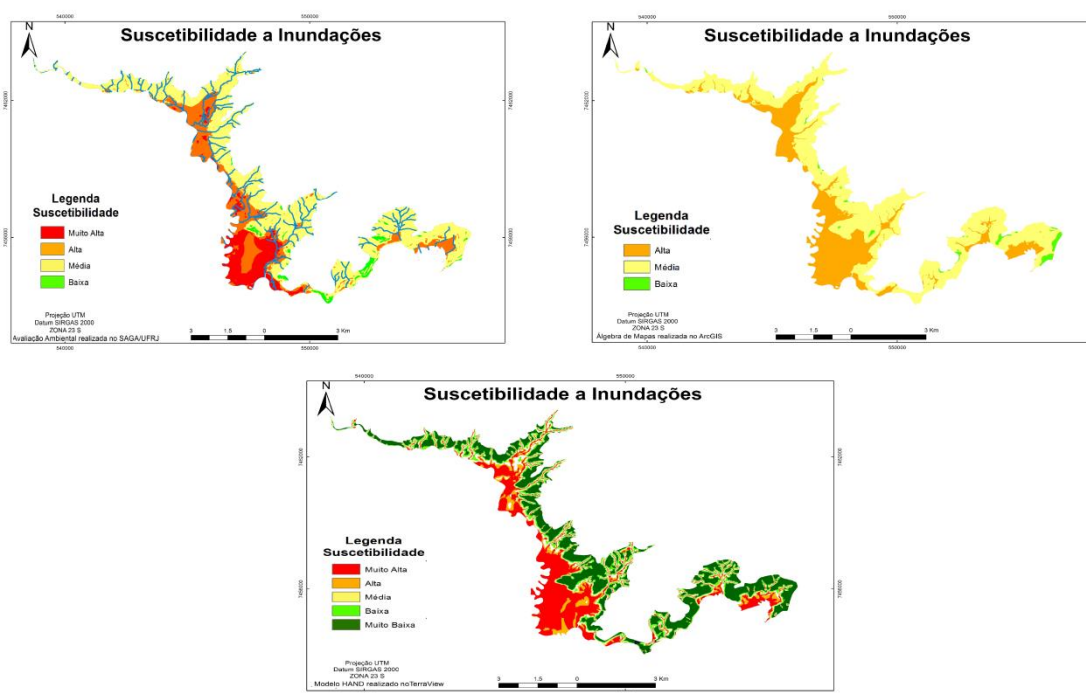


Figura 24: Relação entre a suscetibilidade a inundações nos bairros da Região Administrativa de Mambucaba, gerada pelos 3 modelos avaliativos utilizados.

O maior número de casos de inundações registrados na Região Administrativa de Mambucaba, segundo os dados da Defesa Civil, está localizado no bairro Parque Mambucaba. Isso porque esse bairro é desenvolvido em uma planície flúviomarina, apresentando áreas de brejo, várzea e mangue. Grande parte dessa área tem como tipo de solo o Neossolo Flúvico, que em geral ocorre em ambientes com tais características. Além deste, também existem locais com Latossolo Vermelho-Amarelo, que é associado a ambientes bem drenados e a relevos planos, suave ondulados ou ondulados (SANTOS et al., 2013).

É de grande relevância frisar que além dos fatores naturais que possibilitam a alta incidência de chuvas na região em estudo, conforme foram citados ao longo do texto, e também das características ambientais vigentes na área, pôde-se observar que a Região Administrativa de Mambucaba se encontra em grande vulnerabilidade a eventos naturais. De acordo com os dados explicitados da Defesa Civil de Angra dos Reis, a maioria dos bairros apresenta um grande número de construções em áreas consideradas de risco, desrespeitando muita das vezes as áreas de preservação permanente.

Essa evolução da urbanização que tem se desenvolvido na área em estudo, caracterizado pela precarização de instrumentos de infraestrutura e por uma expansão não planejada, demonstra ambientes com altos riscos a desastres naturais de inundação, ou seja, eventos que causem prejuízos significativos a um grupo social. Dessa forma, nota-se que esse processo de ocupação desordenada vigente na Região Administrativa de Mambucaba influencia diretamente na intensidade desses eventos, partindo do ponto que a materialização dos riscos está ligada à vulnerabilidade dessas áreas ao evento.

O processo de validação dos modelos por meio do Cálculo de Índice de Acerto Ponderado de cada mapa de suscetibilidade à inundação a fim de verificar a qualidade dos mapeamentos, demonstrou índices satisfatórios, com 80%, 91% e 96% de acertos respectivamente para os processos de álgebra de mapas, HAND e avaliação ambiental. Dessa forma, nota-se a grande precisão dos resultados obtidos no processo de validação da metodologia deste trabalho.

A metodologia do presente trabalho com aporte de ferramentas de Geoprocessamento apresentou grande importância na avaliação de desastres naturais de inundação, mediante a comparação dos resultados gerados com base em diferentes fatores. O modelo HAND teve influência da altimetria em sua geração, a avaliação ambiental foi pautada nos pesos de parâmetros ambientais categóricos e a álgebra de mapas foi processada por meio do somatório de parâmetros contínuos.

Dessa maneira, foi mostrado como o uso de SIG auxiliou no estudo de suscetibilidade a inundações na área e também pode colaborar na gestão dos riscos, através da análise por meios e dados distintos, originando assim resultados significantes. Ademais, pode-se também agregar fatores socioeconômicos no estudo de desastres naturais, não tratando apenas de características físico-ambientais da área, mas buscando também analisar a influência da vulnerabilidade social no estudo de riscos a desastres naturais.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Lutiane Queiroz de. **Riscos ambientais e vulnerabilidades nas cidades brasileiras: conceitos, metodologias e aplicações**. São Paulo: Coleção PROPG Digital (UNESP), 2012.

AMARAL, Rosângela.; RIBEIRO, Rogério. Inundação e Enchentes. In: TOMINAGA, L. K. et al. **Desastres Naturais: Conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009.

Ávila, B. T.; Almeida Neto, J. O.; Felipe, M. F. Suscetibilidade morfométrica a inundações nas bacias hidrográficas tributárias do rio do Peixe, Zona da Mata de Minas Gerais. **Revista Formação (online)**, Vol. 1; n. 24, p. 153-181. 2017.

BARBOSA, F. A. R. **Medidas de Proteção e Controle de Inundações Urbanas na Bacia do Rio Mamanguape/PB**. 2006. 115f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal da Paraíba.

BARBOSA, Zileny Nelson Tavares; OLIVEIRA, N. W.; ALVES, R. P. Uso de geotecnologias para mapeamento de áreas de riscos Estudo de Caso: Angra dos Reis-RJ. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2011.

BARROSO, L. V.; ABDO, O. E.; XAVIER DA SILVA, J. Geoprocessamento aplicado à percepção ambiental na região Lagunar do Leste Fluminense. In: XAVIER DA SILVA, J.; ZAIDAN, R. T. **Geoprocessamento & Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Betrand Brasil, 2011. p. 113-145.

BECK, Ulrich. **Sociedade de risco: rumo a uma nova modernidade**. São Paulo: Editora 34, 2010.

BESSA JÚNIOR, Oduvaldo; DOUSTDAR, Neda Mohtadi; CORTESI, Luiz Antonio. Vulnerabilidade de municípios do Paraná aos riscos de desastres naturais. **Caderno IPARDES-Estudos e Pesquisas**, v. 1, n. 1, p. 82-100, 2011.

BITAR, Omar Yazbek. **Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações-1: 25.000: nota técnica explicativa**. IPT; CPRM, 2014.

BÖHNER, J.; SELIGE, T. Spatial prediction of soil attributes using terrain analysis and climate regionalisation. **Göttinger Geographische Abhandlungen**, vol. 115, p. 13-28, 2006.

BUARQUE, D. C., FAN, F. M., PAZ, A. R., COLLISCHONN, W. Comparação de métodos para definir direções de escoamento a partir de modelos digitais de elevação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 14, n. 2, p. 91-103, 2009.

CASTRAVETȚ, T. (2011). Middle Prut plain's erosion susceptibility evaluation. **GEOREVIEW: Scientific Annals of Stefan cel Mare University of Suceava**. Geography Series, 20(1), 115-120.

CASTRO, A. L. C. de. **Manual de desastres**. v.1, Brasília, 2003

CARVALHO, C. S.; MACEDO, E. S.; OGURA, A. T. (Org.). Mapeamento de riscos em encostas e margem de rios. Brasília: Ministério das Cidades; IPT. 2007. Disponível em https://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNPU/Biblioteca/PrevencaoErradicao/Livro_Mapeamento_Enconstas_Margens.pdf > Acessado em 08/04/2020.

CARVALHO FILHO, A. de; LUMBRERAS. J. F.; WITTERN. K. P.; LEMOS, A. L.; SANTOS, R. D. dos; CALDERANO FILHO. B.; MOTHCI, E. P.; ITURRI LARACH, J. O.; CONCEIÇÃO, M. da; TAVARES. N. P.; SANTOS, H. G. dos; GOMES. J. B. V.; CALDERANO, S. B.; GONÇALVES, A. O.; MARTORANO, L. G.; SANTOS, L. C. de O; BARRETO, W. de O.; CLAESSEN, M. E. C.; PAULA, J. L. de; SOUZA, J. L. R. de; LIMA, T. da C.; ANTONELLO, L. L.; LIMA, P. C. de; OLIVEIRA, R. P. de; AGLIO, M. L. D. **Levantamento de reconhecimento de baixa intensidade dos solos do estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos (Rio de Janeiro, RJ). 2003. Contém texto e mapa colorido. Escala 1:250.000. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. 32). 2003.

CONFALONIERI, U. E. C. Variabilidade climática, vulnerabilidade social e saúde no Brasil. **Revista Terra Livre**, São Paulo, ano 19, v. 1, n. 20, p. 193-2004. jan./jul.2003.

Conrad, O.; Bechtel, B.; Bock, M.; Dietrich, H.; Fischer, E.; Gerlitz, L.; Wehberg, J.; Wichmann, V.; Böhner, J. (2015). **System for automated geoscientific analyses (SAGA)** v. 2.1. 4. Geoscientific Model Development Discussions, 8(2).

CORREIA, E. F. G.; RIBEIRO, G. P.; BAPTISTA, A. C. Modelagem Hidrológica da Bacia Hidrográfica do Rio Bengalas, Nova Friburgo, RJ, utilizando o potencial de geotecnologias na definição de risco à inundação. **Revista Brasileira de Cartografia**,

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Carta de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundação**. Município de Angra dos Reis. Brasília, 2014

D'ANTONA, Álvaro de Oliveira.; CARMO, Roberto Luiz. do. **Dinâmicas demográficas e ambiente**. Campinas: NEPO – UNICAMP, 2011.

DEFESA CIVIL – Angra dos Reis. **Cadastramento de moradores em áreas de risco**, 2019. Disponível em: < <https://www.angra.rj.gov.br/> > Acessado em: 17/07/2020.

DEFESA CIVIL – Angra dos Reis. **Fotos aéreas das inundações ocorridas em 2010 nos bairros Parque Mambucaba e Parque Perequê**. 2010.

EM-DAT. The International Disasters Database. **Desastres Naturais ocorridos no período de 1960-2020**. Disponível em: < <https://public.emdat.be/>> Acessado em 13/05/2020.

FARIA, A. L. L. de; SILVA, J. X.; GOES, M. H. de B. Análise ambiental por geoprocessamento em áreas com susceptibilidade à erosão do solo na bacia hidrográfica do Ribeirão do Espírito Santo, Juiz de Fora (MG). **Caminhos de Geografia**, v. 4, n. 9, p. 50-65, 2003.

FREITAS, F. P. **Mapeamento Participativo na Identificação das Áreas de Risco à Inundação no bairro Parque Mambucaba, Angra dos Reis/ RJ**. 2018. 87f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

GIRÃO, Ítalo Renan Ferreira; RABELO, Davi Rodrigues; ZANELLA, Maria Elisa. Análise teórica dos conceitos: Riscos Socioambientais, Vulnerabilidade e Suscetibilidade. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 4, p. 71-83, 2018.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Plano de Manejo: Parque Nacional da Serra da Bocaina**. Disponível em: < <http://www.icmbio.gov.br/parnaserradabocaina/extras/62-plano-de-manejo-e-monitorias.html>> Acessado em: 07/09/2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico - Setores Censitários (Bairros) do Brasil na escala 1:250.000**, 2010. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/> Acessado em: 21/08/2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Série Relatórios Metodológicos: Áreas Urbanizadas do Brasil**, 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/apps/areas_urbanizadas/> Acessado em: 07/09/2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Base cartográfica vetorial contínua do estado do Rio de Janeiro na escala 1:25.000 - BC25_RJ**, 2018.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Geomorfologia na escala 1:250.000**, 2019. Disponível em: < ftp://geoftp.ibge.gov.br/> Acessado em: 11/03/2020.

ICMBIO. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Plano de Manejo da Estação Ecológica de Tamoios**. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/esectamoios/destaques/16-plano-de-manejo/48-plano-de-> Acessado em: 07/09/2019.

INEA. Instituto Estadual do Ambiente. **Plano Estadual de Recursos Hídricos do Rio de Janeiro**, 2014. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/Portal/Agendas/GESTAODEAGUAS/InstrumentosdeGestodeRecHid/PlanosdeBaciaHidrografica/index.htm#ad-image-0> Acessado em: 25/06/2020.

INEA. Instituto Estadual do Ambiente. **Unidades Hidrológicas de Planejamento na escala 1:50.000**, 2014. Disponível em: < http://inloco.mprj.mp.br/ > Acessado em: 05/02/2020.

INEA. Instituto Estadual do Ambiente. **Uso e cobertura da terra na escala de 1:25.000**, 2018. Disponível em: <www.inea.rj.gov.br/portageoinea> Acessado em: 11/03/2020.

HUGGETT, R. J. **Fundamentals of geomorphology**. 2. ed. Abingdon: Routledge; New York: Routledge, 2007.

HUTCHINSON, M. F. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. **Journal of Hydrology**, 106, p. 211-232. 1989.

Kobiyama, M.; Mendonça, M.; Moreno, D. A.; Marcelino, I. P. V. O.; Marcelino, E. V.; Gonçalves, E. F.; Brazetti, L. L. P.; Goerl, R. F.; Moller, G. S. F.; Rudorff, F. **M. Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos**. Curitiba: Organic Trading, 2006.

MAINDMENT, D. **Arc Hydro GIS for water resources**. Redlands, California-USA: ESRI Press, 2002. 203p.

MAFFRA, C. Q. T.; MAZZOLA, M. As razões dos desastres em território brasileiro. In: SANTOS, R. F. dos S. **Vulnerabilidade ambiental: desastres naturais ou fenômenos induzidos?** Brasília: MMA, 2007. p. 96-106.

MARAFON, G. J.; FEVRIER P. V. R.; CORREA, R. S. O uso das geotecnologias na análise socioespacial. In: MARAFON, G. J. et al. **Pesquisa Qualitativa em Geografia: reflexões teórico-conceituais e aplicadas**. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2013. p. 513-531

MARCELINO, E. V. **Mapeamento de áreas susceptíveis a escorregamento no município de Caraguatatuba (SP) usando técnicas de sensoriamento remoto e SIG**. 2003. 218f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

MARCELINO, Emerson Vieira. Desastres naturais e geotecnologias: conceitos básicos. **Caderno didático**, v. 1, p. 34, 2008.

MARINO, T. B. **Metodologia para tomadas de decisão no âmbito de riscos sócio-ambientais em áreas urbanas: Desmoronamentos e enchentes em assentamentos precários na Bacia do Córrego Cabuçu de Baixo-SP**. 149f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo.

MEDEIROS, C. N.; SOUZA, M. J. N. Mapeamento dos Sistemas Ambientais do Município de Caucaia (CE) utilizando Sistema de Informação Geográfica (SIG): Subsídios para o Planejamento Territorial (Mapping of the Environmental Systems of the Municipality of Caucaia (CE) using Geographic Information System: Subsidies for Territorial Planning). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 1, p. 025-040, 2015.

MELLO FILHO, J. A.; XAVIER DA SILVA, J. Geoprocessamento aplicado à segurança e à qualidade de vida na região da Tijuca (Rio de Janeiro, RJ). In: XAVIER DA SILVA, J.; ZAIDAN, R. T. **Geoprocessamento & Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Betrand Brasil, 2011. p. 253-289.

MENDONÇA, Francisco. Riscos, vulnerabilidade e abordagem socioambiental urbana: uma reflexão a partir da RMC e de Curitiba. **Desenvolvimento e Meio ambiente**, v. 10, 2004.

MENGUE, V. P.; SCOTTÁ, F. C.; SILVA, T. S.; FARINA, F. (2016) - Utilização do Modelo HAND para mapeamento das áreas mais suscetíveis à inundação no Rio Uruguai. **Pesquisas em Geociências**, IG/UFRGS, Porto Alegre, RS, v.43, n.1, p.41-53.

MOMO, M. R.; PINHEIRO, A.; SEVERO, D. L.; CUARTAS, L. A.; NOBRE, A. D. (2016) - Desempenho do modelo HAND no mapeamento de áreas suscetíveis à inundação usando dados de alta resolução espacial. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, RS, v.21, n.1, p.200-208.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. **Clima e excepcionalismo: conjecturas sobre o desempenho da atmosfera como fenômeno geográfico**. Florianópolis: Ed. UFSC, 1991.

MORAES, L. A. F.; SANTOS, R. L. C. Aplicação de técnicas de geoprocessamento na avaliação de impactos ambientais. In: **Jornada do Programa de Capacitação Interna do CETEM**. Rio de Janeiro: CETEM, 2007.

MOREIRA, I. C.; XAVIER DA SILVA, J.; POLIVANOV, H.; GOES, M. H. B.; ZAIDAN, R. T. Geoprocessamento aplicado à definição de áreas para instalação de usinas termelétricas e seus principais impactos e riscos ambientais. In: XAVIER DA SILVA, J.; ZAIDAN, R. T. **Geoprocessamento & Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Betrand Brasil, 2011. p. 201-251.

NASCIMENTO, M. C. **Contribuição metodológica para seleção de indicadores de vulnerabilidade socioambiental por meio das geotecnologias à Região Metropolitana de Maceió**. 2016. 214f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista.

NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; HODNETT, M. G.; RENNÓ, C. D.; SILVEIRA, A.;

WATERLOO, M. J.; SALESKA, S. (2011) - Height Above the Nearest Drainage, a hydrological relevant new terrain model. **Journal of Hydrology**, v.404, n.1-2, p:13-29.

PINHEIRO, A. Enchente e Inundação. In: SANTOS, R. F. dos S. **Vulnerabilidade ambiental: desastres naturais ou fenômenos induzidos?** Brasília: MMA, 2007. p. 10-12.

POLETO, L. J. C., SILVA, C. H. C., RIBEIRO JÚNIOR, S., VIEIRA, C. A. O., SANTOS, A. P. Validação de modelo digital de elevação hidrológicamente consistente (MDEHC). **II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**. 2008.

RENNÓ, C. D.; NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; SOARES, J. V.; HODNETT, M. G.; TOMASELLA, J.; WATERLOO, M. J. (2008) - HAND, a new terrain descriptor using SRTMDEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. **Remote Sensing of Environment**, v.112, p.3469-3481.

Rodriguez, F., Maire, E., Courjault-Rad'e, P., Darrozes, J. The Black Top Hat function applied to a DEM: A tool to estimate recent incision in a mountainous watershed (Estibère Watershed, Central Pyrenees). **Geophysical research letters**, v. 29, n. 6, p. 9-1-9-4, 2002.

SAITO, S. M. **Estudo analítico da suscetibilidade a escorregamentos e quedas de blocos no maciço central de Florianópolis-SC**. 133 f. Tese (Mestrado em Geografia) - Programa de pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

SAITO, S. M. **Desastres Naturais: conceitos básicos**. Trabalho apresentado na I Escuela de Primavera Sobre Soluciones Espaciales para el Manejo de Desastres Naturales y Respuestas de Emergencias y Inundaciones. Brasil: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2008.

SAITO, Silvia Midori; SAUSEN, Tania Maria; LACRUZ, Maria Silvia Pardi; MADRUGA, Roberta; LIMA JUNIOR, Edgard da Rosa. Avaliação dos desastres naturais ocorridos no Rio Grande do Sul em 2008. **XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR**, 2011.

SALGADO, C. M.; DE OLIVEIRA PEIXOTO, M. N.; DE MOURA, J. R. da S. Caracterização espaço-temporal da chuva como subsídio à análise de episódios de enchentes no município de Angra dos Reis, RJ. **Geosul**, v.22, n.44, p. 7-26, 2007.

SANTOS, E. D. S. **Análise morfométrica como suporte a identificação de áreas suscetíveis a inundação e escorregamento no município de São Luiz do Paraitinga, SP.** 2019. 62f. Monografia (Graduação em Geologia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B., eds. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 3.ed. Brasília, Embrapa, 2013. 353p.

SAUSEN, Tania Maria; DA SILVA NARVAES, Igor. DESASTRES NATURAIS E GEOTECNOLOGIAS: INUNDACAO – **CADERNO DIDATICO No. 7.** INPE. São José dos Campos, v. 13, p. 03.28-11.24, 2013.

SOUZA, Lucas Barbosa; ZANELLA, Maria Elisa. Percepção de riscos ambientais: teoria e aplicações. **Fortaleza: Edições UFC,** 2009.

STUMBO FILHO, L. M.; PEREIRA, E. G. S.; RICHTER, M. Análise da ocupação urbana e da percepção dos moradores frente à infraestrutura local no loteamento Parque Mambucaba em Angra dos Reis - RJ. **Revista Tamoios**, v. 14, n. 1, 2018

THOMAZIELLO, S. Uso da terra e sua influência sobre a qualidade ambiental. In: SANTOS, R. F. dos S. **Vulnerabilidade ambiental: desastres naturais ou fenômenos induzidos?** Brasília: MMA, 2007. p. 96-106.

TOBIN, G.A; MONTZ, B.E. **Natural hazards: explanation and integration.** New York: The Guilford Press, 1997. 388p.

TOMINAGA, Lúcia Keiko. Desastres Naturais: Por que ocorrem? In: TOMINAGA, L. K. et al. **Desastres Naturais: Conhecer para prevenir.** São Paulo. Instituto Geológico, 2009.

TUCCI, C. E. M. Plano diretor de drenagem urbana: princípios e concepção. **Revista brasileira de recursos hídricos**, v. 2, n. 2, p. 5-12, 1997.

TUCCI, C. E. M. Inundações urbanas. **Porto Alegre: ABRH/RHAMA**, v. 11, 2007.

TUCCI, C.E.M.; BERTONI, J.C. (2003). **Inundações Urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos.

VEYRET, Yvette. (Org.). **Os Riscos: O homem como agressor e vítima do meio ambiente**. São Paulo: Editora: Contexto, 2007.

XAVIER DA SILVA, Jorge. Geoprocessamento em estudos ambientais: uma perspectiva sistêmica. **Geomática: modelos e aplicações. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica**, p. 23-52, 2007.