

UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC

CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

LUANA PASINI MIGUEL

**GEOPROCESSAMENTO E A ABORDAGEM MULTICRITERIAL PARA
DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS COM SUSCETIBILIDADE DE INUNDAÇÃO NO
MUNICÍPIO DE TUBARÃO (SC)**

CRICIÚMA

2016

LUANA PASINI MIGUEL

**GEOPROCESSAMENTO E A ABORDAGEM MULTICRITERIAL PARA
DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS COM SUSCETIBILIDADE DE INUNDAÇÃO NO
MUNICÍPIO DE TUBARÃO (SC)**

Trabalho de Conclusão do Curso, apresentado para obtenção do grau de Engenharia Ambiental no Curso de Engenharia Ambiental da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC.

Orientador: Prof. MSc. Jader Lima Pereira

CRICIÚMA

2016

LUANA PASINI MIGUEL

**GEOPROCESSAMENTO E A ABORDAGEM MULTICRITERIAL PARA
DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS COM SUSCETIBILIDADE DE INUNDAÇÃO NO
MUNICÍPIO DE TUBARÃO (SC)**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela Banca Examinadora para obtenção do Grau de Engenheira Ambiental no Curso de Engenharia Ambiental da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, com Linha de Pesquisa em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Criciúma, 28 de novembro de 2016.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Jader Lima Pereira - Mestre - (UNESC) - Orientador

Prof. Gustavo José Deibler Zambrano - Mestre - (UNESC)

Prof. Jóri Ramos Pereira - Mestre - (UNESC)

Aos meus pais, Eloir e Joceli, e meu irmão Jeferson, pelo incentivo aos estudos e amor dedicado.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço aos meus pais, Eloir de Brida Miguel e Joceli Pasini Miguel, por terem me mostrado a importância dos estudos, e pela confiança depositada, sempre com palavras de carinho e incentivo.

Ao meu irmão Jeferson Miguel, pelo apoio nas inúmeras vezes que precisei, também por confiar na minha capacidade.

Ao meu namorado Fábio Nascimento Zanella, pelas palavras de incentivo e carinho durante toda minha graduação, principalmente durante a realização deste trabalho.

Ao querido professor orientador do presente trabalho, Jader Lima Pereira, por todo o conhecimento, paciência e dedicação depositada neste trabalho. Pela sua disposição em contribuir para o crescimento do estudo e sanar minhas dúvidas a qualquer momento.

Ao professor Álvaro José Back, por ter apresentado a oportunidade de estágio que é relacionado a este trabalho. Também pelo incentivo e conhecimento doado, durante os últimos dois anos de parceria no projeto de pesquisa. Fica minha gratidão por ter depositado sua confiança na minha capacidade.

Ao Rafael Marques a Fundação Municipal de Meio Ambiente de Tubarão (FUNAT) e a equipe do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) por terem me acolhido no projeto da Macrodrenagem de Tubarão, proporcionando aprendizado e experiências profissionais.

Aos colegas de trabalho na Secretaria de Proteção e Defesa Civil de Tubarão, por terem dado suporte ao meu trabalho, pelos momentos aprendizados e de descontração.

E finalmente, aos amigos, colegas e profissionais que estiveram presentes nos cinco anos de graduação, tornando esta fase incrível e de memórias inesquecíveis. Que possamos permanecer com os laços conquistados.

A todos que de alguma forma contribuíram para a minha vida acadêmica e não foram aqui mencionados, ficam meus agradecimentos.

“Para fugir ou para buscar. Os fugitivos cedo ou tarde descobrem que seus problemas são de natureza geográfica.”

Érico Veríssimo

RESUMO

Os desastres naturais causados por eventos extremos de precipitação causam significativas consequências para a população envolvida, bem como, a falta de planejamento do espaço ocupado e do conhecimento das áreas com suscetibilidade ambiental tem acarretado em prejuízos e perdas nas cidades. Tendo isso, o presente trabalho tem como objetivo, desenvolver e validar um modelo para a identificação de áreas predispostas a sofrerem inundações no município de Tubarão (SC). O mapeamento das áreas com suscetibilidade de inundação, baseou-se na aplicação de técnicas de geoprocessamento, apoiado em um método que conta com o Processo Analítico Hierárquico (AHP), que conforme proposto por Saaty, parte de uma abordagem baseada no processo de decisão hierárquica multicriterial. Os critérios adotados para a análise foram a altimetria, a declividade, uso do solo e pedologia. A validação foi realizada a partir da comparação pareada entre o modelo de suscetibilidade e o mapa de inundação do evento de meio de 2010, feito por meio do levantamento de campo com moradores das áreas atingidas. A suscetibilidade apresentada no município foi dividida em cinco classes, a classe de maior abrangência territorial foi a de muito alto nível de suscetibilidade, com 42,44% do território municipal. As áreas de nível de alta suscetibilidade representam 8,02%, com baixa e muito baixa suscetibilidade tem-se 34,17 e 5,34% respectivamente. Essencialmente as características morfométricas de extensas áreas de baixas altitudes e relevo plano são determinantes da suscetibilidade de inundação. Em geral, o município apresenta vastas áreas com baixo escoamento superficial, baixa infiltração e ainda, nas áreas mais baixas incluindo o bairro da Madre, a influência da maré. O ferramental metodológico permitiu o julgamento das variáveis e minimizou as falhas durante o processo, resultando em um mapeamento satisfatório, porém, para uma análise em escala de maior detalhe é necessário conhecer a área de estudo e aprimorar o modelo. O resultado do trabalho mostra a necessidade de se considerar as áreas com suscetibilidade de inundação como requisito fundamental do planejamento da cidade. O trabalho levanta a importância de planejar o ordenamento das cidades e dos projetos de saneamento para que se diminua ou cesse as perdas e prejuízos decorrentes das inundações.

Palavras-chave: Eventos extremos de precipitação. Planejamento Urbano. Processo Analítico Hierárquico. Sistemas de Informações Geográficas.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Representação de eventos de precipitação extremos | 20 |
| Figura 2 - Estrutura do processo AHP | 32 |
| Figura 3 - Fluxo das atividades a serem desenvolvidas | 37 |
| Figura 4 - Localização de Tubarão | 38 |
| Figura 5 - Bairros atingidos inundação de maio de 2010 | 44 |
| Figura 6 - Fluxograma da metodologia utilizada..... | 46 |
| Figura 7 - Mapa da inundação de maio de 2010 | 56 |
| Figura 8 - Detalhamento das manchas de inundação de 2010 | 57 |
| Figura 9 - Proporção das classes altimétricas em rela o às suas respectivas áreas | 58 |
| Figura 10 – Mapa hipsométrico da área de estudo | 60 |
| Figura 11 - Proporção das classes de declividade em rela o às suas respectivas áreas. | 61 |
| Figura 12 - Mapa de Declividade da área de estudo..... | 62 |
| Figura 13 - Proporção das classes de pedologia em rela o às suas respectivas áreas | 63 |
| Figura 14 - Mapa de solos da área de estudo | 64 |
| Figura 15 - Proporção das classes de uso do solo em rela o às suas respectivas áreas | 65 |
| Figura 16 - Mapa de usos do solo da área de estudo | 67 |
| Figura 17 - Mapa de suscetibilidade de inundação da área de estudo | 69 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Valores de IR proposto por Saaty | 34 |
| Tabela 2 - Classificação e pesos do mapa hipsométrico | 48 |
| Tabela 3 - Classificação e pesos do mapa de declividade | 49 |
| Tabela 4 – Classificação e pesos do mapa de declividade | 49 |
| Tabela 5 - Classificação e pesos do mapa de uso e ocupação do solo | 50 |
| Tabela 6 - Matriz de comparação pareada..... | 51 |
| Tabela 7- Determinação dos pesos estatísticos..... | 52 |
| Tabela 8 - Reclassificação da suscetibilidade | 53 |
| Tabela 9 - Dados de campo | 55 |
| Tabela 10 – Índice Kappa | 72 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP - *Analytic Hierarchy Process* (Processo Analítico Hierárquico)
AMUREL - Associação dos Municípios da Região Lagunar
ANA - Agência Nacional das Águas
Censipam - Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia
CONPDEC - Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil
CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GPS - *Global Positioning System* (Sistema de Posicionamento Global)
IBGE - Instituto de Geografia e Estatística
IDW - Ponderação do Inverso da Distância
IPH - Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul
IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas
MDT - Modelo Digital do Terreno
MMA - Ministério do Meio Ambiente
PMRR - Plano Municipal de Redução de Risco
PMT - Plano Diretor Municipal de Tubarão
PNPDEC - Política Nacional de Proteção e Defesa Civil
PPDC - Plano de Contingência ou Preventivo da Defesa Civil
RH9 - Bacia Hidrográfica do Rio Tubarão e do Complexo Lagunar
SAD69 - *South American Datum of 1969* (Datum Sul Americano 1969)
SCN - Sistema Cartográfico Nacional
SDS - Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável
SGB - Sistema Geodésico Brasileiro
SIG - Sistemas de Informações Geográficas
SINPDEC - Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil
SIRGAS2000 - Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
UFPR - Universidade Federal do Paraná
UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UTM - Universal Transversal de Mercator
ZEE - Zoneamento Ecológico Econômico

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 12 |
| 2 REFERENCIAL TEÓRICO..... | 14 |
| 2.1 PLANEJAMENTO AMBIENTAL NO GERENCIAMENTO DE ÁREAS DE SUSCETIBILIDADE | 14 |
| 2.2 ÁREAS DE RISCO..... | 15 |
| 2.2.1 Medidas estruturais e não estruturais..... | 16 |
| 2.3 EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO..... | 18 |
| 2.3.1 Panorama nacional..... | 21 |
| 2.3.2 Medidas de gestão de eventos extremos..... | 22 |
| 2.4 GEOPROCESSAMENTO..... | 24 |
| 2.4.1 Sistema de Informações Geográficas (SIG) | 24 |
| 2.4.1.1 Análise espacial | 25 |
| 2.4.1.2 Álgebra de mapas | 26 |
| 2.4.2 Sistema Geográfico de Referência (SGR) | 26 |
| 2.4.3 Geoprocessamento e recursos hídricos | 27 |
| 2.4.3.1 Mapeamento de áreas susceptíveis a inundação | 28 |
| 2.4.3.2 Fatores ambientais condicionantes de inundações..... | 29 |
| 2.5 MÉTODO DE DECISÃO HIERARQUICA MULTICRITERIAL | 30 |
| 2.5.1 Estrutura do método AHP..... | 31 |
| 2.5.1.1 Estruturação da hierarquia | 32 |
| 2.5.1.2 Julgamento comparativo | 32 |
| 2.5.1.3 Síntese de prioridades..... | 34 |
| 3 METODOLOGIA | 36 |
| 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS | 37 |
| 3.1.1 Histórico de inundações na área de estudo | 39 |
| 3.1.2 Aspectos físicos | 40 |
| 3.1.2.1 Clima | 40 |
| 3.1.2.2 Geologia e geomorfologia | 41 |
| 3.1.2.3 Pedologia | 41 |
| 3.1.2.4 Cobertura do solo | 42 |
| 3.2 COLETA E ANÁLISE DE DADOS DA INUNDAÇÃO DE 2010..... | 43 |

| | |
|--|-----------|
| 3.2.1 Dados primários | 43 |
| 3.2.1.1 Mapeamento da inundação de maio de 2010 | 44 |
| 3.2.2 Dados secundários | 45 |
| 3.3 MAPA DE SUSCETIBILIDADE ÀS INUNDAÇÕES PELO MÉTODO AHP | 46 |
| 3.3.1 Definição dos critérios ambientais e justificativas..... | 46 |
| 3.3.1.1 Altitude | 47 |
| 3.3.1.2 Declividade..... | 47 |
| 3.3.1.3 Uso do solo | 47 |
| 3.3.1.4 Tipo de solo..... | 47 |
| 3.3.2 Mapeamento e valoração dos critérios | 48 |
| 3.3.2.1 Mapa hipsométrico | 48 |
| 3.3.2.2 Mapa de declividade..... | 49 |
| 3.3.2.2 Mapa de solos | 49 |
| 3.3.2.3 Mapa de uso e ocupação do solo..... | 50 |
| 3.3.3 Análise Hierárquica Multicriterial (AHP)..... | 51 |
| 3.3.4 Elaboração do mapeamento de suscetibilidade de inundação..... | 52 |
| 3.3.5 Validação do modelo pelo Índice Kappa | 53 |
| 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS..... | 55 |
| 4.1 MAPA DA INUNDAÇÃO DE 2010..... | 55 |
| 4.2 ANÁLISES DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS | 58 |
| 4.3 MODELO AHP | 68 |
| 4.4 INDICE KAPPA | 71 |
| 4.5 MEDIDAS DE GESTÃO DE ÁREAS COM RISCO DE INUNDAÇÃO | 73 |
| 5 CONCLUSÃO | 74 |
| REFERÊNCIAS..... | 76 |
| APÊNDICES | 84 |
| APÊNDICE A - Quantitativo das classes influentes a suscetibilidade de inundação | 85 |

1 INTRODUÇÃO

A crescente urbanização e as mudanças promovidas pelo rápido desenvolvimento da sociedade acarretaram em permanentes mudanças no ambiente natural. Em decorrência disso, temos os desastres naturais causando significativas consequências para a população. Alguns aspectos como o uso indevido do solo, remoção da cobertura vegetal, assoreamento dos corpos hídricos e a ocupação de áreas indevidas, interferem diretamente nos processos naturais, desencadeando cenários de impactos emergentes (SANTOS, 2015). Associado a isso, a falta de planejamento das áreas com suscetibilidade ambiental tem aumentado os prejuízos e perdas nas cidades.

Entre os desastres naturais, os fenômenos de inundações constituem, desde os tempos antigos, um dos impactos mais importantes sobre a sociedade. Isso ocorre por que muitas cidades brasileiras se desenvolveram as margens dos rios, e hoje se tem um cenário de ocupação do leito maior por grupos habitacionais com maior vulnerabilidade social.

Como resposta a estes quadros históricos surgiu o planejamento ambiental, que para este cenário, visa garantir o desenvolvimento das cidades sem comprometer a integridade da população. Mais recentemente, novas técnicas de apoio à tomada de decisões vêm sendo difundidas de maneira a obter resultados mais rápidos e eficientes. O geoprocessamento é uma ferramenta essencial para a gestão pública no planejamento do espaço e para a adoção de medidas relacionadas às áreas de suscetibilidade de inundação.

O Rio Tubarão apresentou alguns episódios por eventos extremos de precipitação, destacando-se o ocorrido em 1974, que deixou marcas históricas para a cidade. O histórico de eventos de inundação do município faz com que seja necessária a realização de um planejamento do espaço ocupado, de forma a reconhecer as áreas com suscetibilidade de inundações, bem como, a proposição e adoção de medidas estruturais e não estruturais que podem ser adotadas para minimizar de forma eficiente os efeitos dos eventos.

Desta forma, o presente trabalho propõe-se identificar as áreas com suscetibilidade de inundação para o município de Tubarão, por meio da ferramenta ArcGis® e apoiado em um método que conta com uma abordagem baseada no

processo de decisão hierárquica de multicritérios ambientais. As modelagens das dinâmicas hidrológicas e de inundação aliadas as técnicas de geoprocessamento associada às inter-relações das variáveis ambientais possibilitam a análise de áreas com suscetibilidade de inundação, viabilizando ações voltadas às políticas públicas.

Assim sendo, o objetivo principal deste trabalho é elaborar por meio da utilização de técnicas de geoprocessamento apoiado por uma abordagem multicriterial um modelo para delimitação das áreas com suscetibilidade de inundação no município de Tubarão (SC).

Neste contexto, para ratificar o presente trabalho que se insere no campo de atuação de Engenharia Ambiental, na linha de pesquisa “Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental”, foram propostos também os objetivos específicos, a saber: a) Levantar as bases cartográficas disponíveis; b) Levantar os pontos impactados pela inundação de 2010 em Tubarão; c) Realizar o mapeamento da ocupação do solo no período de 2010; d) Identificar e analisar os critérios ambientais a serem utilizados para a geração do modelo; e) Testar a eficiência do modelo correlacionando os seus resultados com as áreas atingidas pela inundação de 2010 e; f) Propor medidas/ações voltadas a políticas públicas para a gestão de área de risco.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 PLANEJAMENTO AMBIENTAL NO GERENCIAMENTO DE ÁREAS DE SUSCETIBILIDADE

A natureza sempre existiu porque se manteve equilibrada ao longo das décadas. Os problemas ambientais hoje enfrentados são decorrentes da intervenção humana, provenientes de uma ocupação inadequada aliada aos fatores econômicos. O crescimento rápido e sem nenhum controle proporcionou a configuração da maioria das cidades atuais, com graves problemas ambientais, econômicos e na infraestrutura, degradando a qualidade de vida da população. Tucci (2008) afirma que a qualidade de vida para as pessoas só é possível com um ambiente conservado, garantindo harmonia do homem e do meio ambiente.

A base legal do planejamento territorial e ambiental está apresentada pela Constituição Federal de 1988, no seu artigo 225:

[...] incumbe ao poder público definir, em todas as unidades da Federação, espaços territoriais e seus componentes a serem especialmente protegidos, sendo a alteração e a supressão permitidas somente através de lei, vedada qualquer utilização que comprometa a integridade dos atributos que justifiquem sua proteção.

O desenvolvimento das cidades é um grande desafio, o rápido crescimento dos centros urbanos torna o desafio ainda maior (CASSILHA, G.; ASSILHA, S., 2009). As autoras relatam que a segregação social e a pobreza estão diretamente ligadas à degradação ambiental, onde essa degradação está relacionada diretamente as enchentes, deslizamentos e poluição das águas, torna as condições insalubres de qualidade de vida.

O processo de planejamento urbano é definido por Honda et al. (2015) com propósito de ordenar, articular e equipar o espaço e determinar os usos e funções de cada área. O planejamento ambiental urbano deve envolver fundamentos interdisciplinares, embora na prática isso não aconteça. Todos os planos ligados à qualidade de vida no processo de urbanização das cidades, tais como saneamento básico, moradia, transporte e mobilidade constituem instrumentos de planejamento ambiental (MMA, 2016). O Ministério do Meio Ambiente ainda define como os principais instrumentos de planejamento ambiental, o Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE), o Plano Diretor Municipal, o Plano de Bacia

Hidrográfica, o Plano Ambiental Municipal, a Agenda 21 Local e o Plano de Gestão Integrada da Orla.

O planejamento do uso e ocupação do espaço nas cidades brasileiras, por meio do Plano Diretor Urbano, não tem considerado aspectos de drenagem urbana, ocasionando em grandes perdas e transtornos para a sociedade perante desastres naturais causados por frequentes inundações (TUCCI, 1999).

2.2 ÁREAS DE RISCO

A crescente urbanização e as mudanças recorrentes promovidas pela sociedade acarretaram em permanentes alterações nos ecossistemas naturais. A dificuldade de acesso às áreas acessíveis para moradia, associada ao desinteresse dos poderes públicos, leva a um cenário de ocupação de áreas indevidas, submetendo a população aos riscos presentes (ECKHARDT, 2008). O Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) em 2007 reforça ainda, que os fatores econômicos, políticos, sociais e culturais contribuem para o avanço destes quadros.

O conceito de risco está associado às incertezas e a exposição ao perigo, gerando perdas e prejuízos materiais, econômicos e humanos, podendo ser desencadeado por fatores de ordem natural ou associado à ação humana (CASTRO; PEIXOTO; RIO, 2005). Desta forma, Castro, Peixoto e Rio (2005, p. 12) os autores definem risco como a “probabilidade de ocorrência de processos no tempo e no espaço, não constantes e não determinados, e à maneira como estes processos afetam (direta ou indiretamente) a vida humana”.

O IPT (2007, p. 26) descreve as áreas de risco como “área passível de ser atingida por fenômenos ou processos naturais e/ou induzidos que causem efeito adverso”. Estas áreas, segundo Campos do Jordão (2006) são predominantemente ocupações de fundo de vales ou encostas. As pessoas que habitam esses locais estão sujeitas à danos a integridade física, perdas materiais e patrimoniais. Os elementos em risco podem ser a população, prédios, construções, atividades econômicas, serviços públicos, outros tipos de infraestrutura e valores do meio ambiente (MACEDO; BRESSANI, 2013, p. 27).

Alguns aspectos, como a retirada da cobertura vegetal, o assoreamento de corpos hídricos, a ocupação das áreas de maior declividade e das planícies

fluviais, aumentam a impermeabilização, a quantidade e velocidade do escoamento superficial, interferindo diretamente nos processos naturais, desencadeando os cenários conhecidos de impactos e riscos ambientais emergentes (SANTOS, 2015, p. 76).

O IPT (2007, p. 26) traz as definições de risco, vulnerabilidade e suscetibilidade ambiental como sendo:

Vulnerabilidade é o grau de perda para um dado elemento, grupo ou comunidade dentro de uma determinada área passível de ser afetada por um fenômeno ou processo. A **suscetibilidade** indica a potencialidade de ocorrência de processos naturais e induzidos em uma dada área, expressando-se segundo classes de probabilidade de ocorrência. E o **risco** a relação entre a possibilidade de ocorrência de um dado processo ou fenômeno, e a magnitude de danos ou consequências sociais e/ou econômicas sobre um dado elemento, grupo ou comunidade. Quanto maior a vulnerabilidade, maior o risco. (Grifo do autor).

Desta forma o risco está associado aos impactos que uma determinada área de suscetibilidade ambiental oferece a um determinado grupo vulnerável. No gerenciamento das áreas com risco, segundo IPT (2007), têm-se dois fundamentos principais, o primeiro fundamento, é a previsão, que busca identificar onde e quando poderão ocorrer os desastres; o segundo fundamento, é o da prevenção, que tem por objetivo adotar medidas visando impedir ou minimizar os impactos recorrentes. Borges et al. (2015) relata sobre a importância do estabelecimento do planejamento das áreas de risco, pois por meio deste, são designadas medidas de controle como zoneamento, e o uso e ocupação do solo. Conforme os autores, a delimitação de áreas com risco de enchentes, inundações, e erosões, além de obras de drenagem, constituem importantes ações que visam minimizar os danos causados pelos fenômenos citados.

2.2.1 Medidas estruturais e não estruturais

As medidas de previsão e prevenção de desastres naturais, segundo Tucci (2005, p. 129) podem ser classificadas como estruturais e não estruturais. Apesar de distintas, estas medidas devem ser realizadas de forma integrada (PISANI; BRUNA, 2011).

As medidas estruturais conforme Tucci (2005) envolvem o Plano de cada sub-bacia urbana, de acordo com sua geografia e fluxo atual, além de medidas de

engenharia para prevenção e proteção contra inundações. Outros autores definem como medidas estruturais aquelas que englobam obras de engenharia, como exemplo, contenção em taludes, diques, barragens, entre outros (MARCHIORI; SANTORO, 2009, p. 164). As medidas estruturais podem ser classificadas como intensivas ou extensivas. A primeira são aquelas ações que atuam diretamente no corpo d'água, como a construção de diques e muros de contenção, enquanto as medidas extensivas são aquelas direcionadas a alterações na bacia do corpo hídrico, tais como, obras de microdrenagem (ZAHED FILHO; MARTINS; PORTO, 2012).

A adoção de medidas estruturais para minimizar os efeitos de cheias, alagamento e inundações mostrou no decorrer da história ser incompleta e aos poucos cresceu a percepção que esta postura não era eficaz contra esses eventos, fazendo-se necessário outras medidas além de obras de engenharia (ZAHED FILHO; MARTINS; PORTO, 2012). Em geral as medidas estruturais geram maiores custos em relação às não estruturais, essa que utiliza de tecnologias mais brandas e apresenta bons resultados (IPT, 2007).

Segundo Tucci (2005) as principais medidas não estruturais voltadas ao planejamento urbano pluvial são aquelas que abrangem as legislações, regulamentações e gestão dos serviços urbanos relacionados com áreas susceptíveis a inundação e redes de drenagem. Para Pisani e Bruna (2011) as medidas não estruturais tem caráter extensivo, onde as ações podem atingir toda a bacia, podem ainda, abranger medidas institucionais, administrativa ou financeira, visando minimizar os impactos e adaptar moradores a conviverem sob condições de eventos extremos. Um dos mais importantes instrumentos não estruturais, segundo os autores Zahed Filho, Martins e Porto (2012) é o Plano Diretor Municipal, que estabelece diretrizes para adequação da ocupação do espaço, o planejamento e desenvolvimento do município.

Segundo Florianópolis (2007), o Plano Municipal de Redução de Risco (PMRR) é uma ferramenta não estrutural de diagnóstico e planejamento, instituído pela Ação de Apoio à Prevenção de Riscos em Assentamentos Precários no âmbito do Programa de Urbanização, Regularização e Integração de Assentamentos Precários do Ministério das Cidades. O referido documento é um instrumento que contempla diversas diretrizes e técnicas gerenciais de processos ligados aos riscos

(FLORIANÓPOLIS, 2007). O Plano propõe medidas estruturais e não estruturais considerando estimativas de custo, os critérios de priorização e a compatibilização com outros programas nas três esferas de governo (FLORIANÓPOLIS, 2007; ALHEIROS, 2006). O PMRR inclui uma avaliação no sistema de Defesa Civil Municipal, que deve de maneira integrada aos demais setores públicos e a população interessada elaborar um Plano de Contingência ou Preventivo da Defesa Civil (PPDC). Conforme os autores, o PPDC tem por objetivo propor uma ferramenta de ação em situações de riscos às equipes técnicas municipais, reduzindo a possibilidade de perdas econômicas, sociais e ambientais (MACEDO; OGURA; SANTORO, 2006).

O IPT (2007, p.136) afirma que as ações de gerenciamento de áreas com risco seriam mais eficazes se amparadas por leis correlatas. Atualmente existem diversas leis, no entanto, não existem normas técnicas que permitam a efetiva implantação destas leis e as atividades da Defesa Civil, por exemplo. O autor defende ainda a importância do conhecimento de processos naturais possíveis, permitindo a previsão do seu acontecimento, o que possibilita o estabelecimento de Planos de Alerta e de Contingência.

O planejamento e a gestão das bacias hidrográficas são fundamentais para o desenvolvimento urbano, assegurando um ambiente de qualidade e sem graves problemas com inundações, alagamentos, enxurradas ou cheias. A legislação brasileira de uso e ocupação do solo, não sendo devidamente cumprida pelos municípios, necessita de medidas não estruturais para complementar a ação da legislação e das medidas estruturais, no combate a desastres naturais de natureza hidrológica (ZAHED FILHO; MARTINS; PORTO, 2012). Em todos estes processos, têm-se a importância do apoio dos governos municipais, além de uma equipe capacitada e uma população educada e/ou informada sobre os riscos que estão expostos.

2.3 EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO

Muitas das cidades brasileiras apresentam uma série de problemas associados a eventos de chuva extremos. Segundo Tucci (2008, p. 99), estes problemas ocorrem por falhas ou inexistência de infraestrutura urbana, decorrentes do rápido crescimento populacional ocorrido a partir dos anos 70. Agravando este cenário, destacam-se as metrópoles, que possuem uma característica típica, uma vez que nestes grandes centros, encontram-se uma série de núcleos habitacionais de baixa renda ocupando as áreas de risco (IPT, 2007).

Cajazeiro (2012, p. 24) explana que:

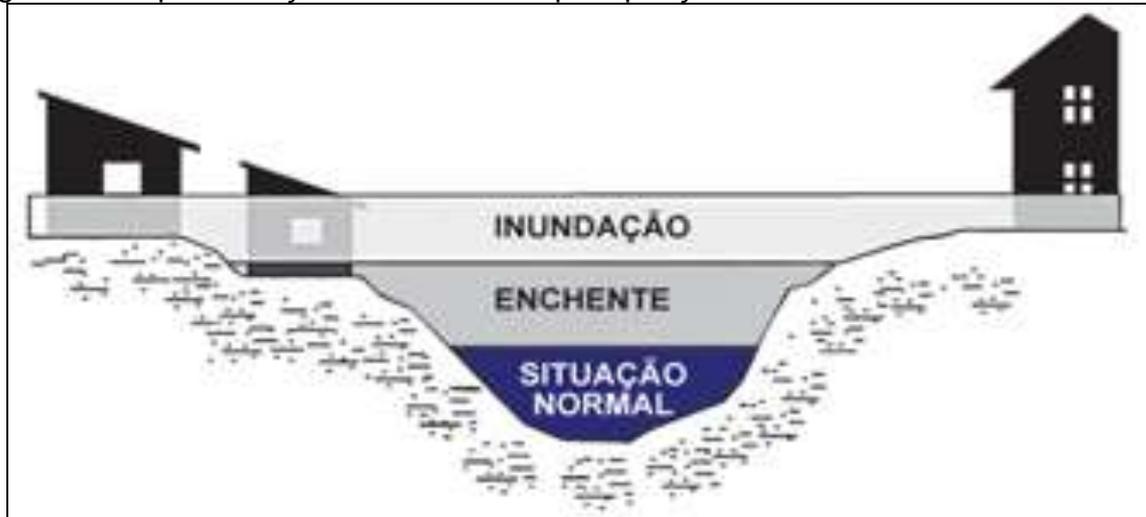
Os rios possuem uma configuração natural que reflete o comportamento variável de suas águas frente às oscilações de vazão. Os cursos fluviais possuem um nível de escoamento de suas águas nos períodos de estiagem que se restringe ao leito vazante. O leito maior, por sua vez, recebe sazonalmente águas fluviais de transbordamento durante as inundações e se caracteriza por ser uma área que comumente possui ocupações antrópicas, o que pode gerar transtornos socioeconômicos e riscos à vida humana.

Neste contexto, o IPT (2007, p. 96) define como áreas de risco de enchentes e inundações as áreas marginais dos cursos d'água que são ocupados irregularmente pela população em condições precárias de infraestrutura. Nas cidades os problemas da drenagem urbana envolvem processos hidrológicos de enchentes e inundações, que são ligadas diretamente aos cursos de água naturais; e os processos de alagamentos e enxurradas, que ocorrem por deficiências no sistema de drenagem urbana, que não necessariamente estão ligadas aos processos de natureza fluvial (IPT, 2007, p. 97).

Os termos alagamento, inundação, enxurrada, cheia e enchente, têm sido muitas vezes empregados como sinônimos, no entanto, possuem significados diferentes. Dessa forma, o IPT (2007) define enchente ou cheia como a elevação temporária do nível da água de um rio ou canal devido ao aumento da vazão, enquanto, a inundação é o processo de extravasamento das águas do canal de drenagem para as áreas marginais, devido ao aumento da vazão, atingindo a planície de inundação, várzea ou leito maior do rio. Quando ocorre deficiência no sistema de drenagem havendo um acúmulo momentâneo de água em uma área têm-se os alagamentos (IPT, 2007). O autor também define como enxurrada quando ocorre um escoamento superficial em alta velocidade, concentrado e com alta energia de transporte.

A Figura 1 apresenta uma representação de inundação, enchente e enxurrada elaborada pelo IPT (2007).

Figura 1 - Representação de eventos de precipitação extremos



Fonte: IPT, 2007.

Segundo Cajazeiro (2012), os fenômenos de chuva extremos constituem, desde os tempos antigos, um dos impactos mais importantes sobre a sociedade. A magnitude de uma inundação e as consequências para a população podem ser agravadas por influências de fatores naturais e antrópicos. Amaral e Ribeiro (2009) destacam dentre estes fatores, a distribuição e intensidade da precipitação, da taxa de infiltração de água da chuva no solo, do grau de saturação do solo e das características morfométricas e morfológicas da bacia de drenagem. Assim, a disposição de resíduos nas margens dos cursos de água, a impermeabilização do solo por asfaltos e construções, a retificação, canalização e o assoreamento altera a dinâmica natural do rio, acentuando estes problemas (AMARAL; RIBEIRO, 2009).

O número de habitantes afetados por estes processos é elevado, pois envolvem efeitos diretos e indiretos sobre a população. Dentre os efeitos diretos têm-se os óbitos por afogamento, destruição de casas e perdas materiais, entre os efeitos indiretos destacam-se as doenças transmitidas pela água contaminada (IPT, 2007).

2.3.1 Panorama nacional

O Brasil está se tornando urbano em razão da pressão econômica, as zonas urbanas, que são basicamente de habitação e consumo, em uma constatação de Tucci (2008) abrigam 83% da população brasileira. O autor afirma ainda que o desenvolvimento urbano criou padrões de concentração urbana, após o período de geração de regiões metropolitanas e pólos urbanos, iniciou-se um processo de desconcentração urbana em direção à periferia, comumente localizadas em áreas indevidas. O alto desenvolvimento de centros urbanos no Brasil tem aumentado significativamente a ocorrência de inundações, na produção de sedimentos e na degradação da água e outros recursos naturais (TUCCI, 1997, p. 3).

O planejamento urbano ocorre apenas para a população de renda média e alta, as áreas de risco são invadidas pela população de renda baixa, sem nenhum planejamento, ocorrendo frequentemente mortes e perdas materiais em períodos de chuva intensa (TUCCI, 2005). A ocupação crescente de áreas impróprias ou de risco é preocupante. Segundo dados da Universidade Federal de Santa Catarina (2013) os desastres naturais têm potencial de crescimento.

O artigo 21 no inciso 28 da Constituição expressa que compete a União “planejar e promover a defesa permanente contra calamidades públicas, especialmente secas e inundações”. Com a implantação da Política Nacional de Recursos Hídricos, por meio da Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997, o Plano Nacional de Recursos Hídricos também a Legislação de Saneamento Ambiental nº 11.445 de 5 de janeiro de 2007 proporcionou ao Brasil evoluir em termos de gestão de recursos hídricos, mas ainda é precário na gestão de áreas vulneráveis a eventos pluviiais extremos (TUCCI, 2008, p. 110).

Em 10 de abril de 2012 decretou-se uma importante Lei de providências contra desastres naturais, a Lei nº 12.608 que instituiu a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), que dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC) e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil (CONPDEC), “autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres e dá outras providências”.

Segundo o Parágrafo Único da Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012:

A PNPDEC deve integrar-se às políticas de ordenamento territorial, desenvolvimento urbano, saúde, meio ambiente, mudanças climáticas,

gestão de recursos hídricos, geologia, infraestrutura, educação, ciência e tecnologia e às demais políticas setoriais, tendo em vista a promoção do desenvolvimento sustentável.

Esta Lei que se apoia estrategicamente e tecnicamente para a prevenção e diminuição de perdas estabelecidas por desastres naturais, aponta que é dever da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios de tomar as decisões e fazer cumprir as medidas necessárias à redução dos riscos de desastres.

Recentemente um importante trabalho de mapeamento de áreas de risco dos municípios brasileiros vem sendo realizado em parceria com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas, o Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia (Censipam), a Universidade Federal do Paraná (UFPR) e o Instituto de Geografia e Estatística (IBGE). O levantamento abrange 300 municípios até janeiro de 2016, e tem como objetivo “cartografar áreas suscetíveis a movimentos gravitacionais de massa e inundação, classificadas como alto, médio e baixo, relacionadas, principalmente, com movimentos de massa e inundações, em municípios brasileiros priorizados pelo Governo Federal” (CPRM, 2016).

2.3.2 Medidas de gestão de eventos extremos

Têm-se os sistemas convencionais de drenagem como a medida mais utilizada no mundo na gestão de águas pluviais, no entanto, este sistema não se mostra eficaz para impedir inundações e, conseqüentemente, danos ambientais e sociais (ZAHED FILHO; MARTINS; PORTO, 2012, p.10). Conforme Pisani e Bruna (2011), as medidas de mitigação de danos causados pelos eventos extremos de precipitação necessitam de estudos multidisciplinares, que envolvam arquitetura e urbanismo, planejamento urbano, engenharia civil e hidráulica, meio ambiente, meteorologia, geologia, geografia, sociologia, psicologia, comunicação social, todas as áreas integrando-se para propor medidas eficazes.

Tucci (1995) afirma que a administração pública não está preparada tecnicamente e financeiramente para controlar os impactos gerados pelas enchentes, sendo que os recursos hídricos ainda são tratados de forma isolada, sem nenhuma inter-relação no seu controle. Com frequência ocorrem episódios de perdas ocasionados por eventos extremos de precipitação, que em sua ocorrência mobilizam a população, a imprensa e os governos municipais, estaduais e federais,

com medidas ditas como emergenciais sendo tomadas, no entanto, passado algum tempo o assunto é esquecido, e nenhuma ação preventiva é tomada (PISANI; BRUNA, 2011). Hora e Gomes (2009) complementam afirmando que a falta de conhecimento, o desinteresse, a falta de uma política e controle de inundações tem aumentos às perdas sociais, econômicas e culturais.

Além disso, a legislação acerca dos impactos ambientais gerados pelo homem sobre o meio ambiente não contempla a prevenção e o controle de enchentes, e a obrigatoriedade dos municípios realizarem o Plano Diretor Urbano na sua maioria não envolve o planejamento de áreas com risco de inundação. O plano diretor de drenagem urbana e o planejamento das áreas de risco devem ser estabelecidos de maneira correlata e eficiente, pois a partir deles que se podem tomar decisões de controle e prevenção destes cenários, principalmente, em relação aos agravamentos decorrentes da urbanização (BORGES et al., 2015).

Como dito anteriormente, os desastres causados por eventos de chuvas extremos podem ser combatidos, seja diminuindo sua ocorrência por medidas estruturais, ou por meio da redução de perdas com a adaptação a estes episódios, através das medidas não estruturais (ZAHED FILHO; MARTINS; PORTO, 2012). As principais medidas de gestão, de caráter não estrutural, são do tipo preventiva. Conforme Tucci (2005, p. 69) estas medidas são: previsão e alerta de inundação, zoneamento de áreas de risco de inundação, seguro e proteção individual contra inundação.

O Sistema de Previsão de Alerta tem como finalidade antecipar a população, avisando e tomando medidas para reduzir as perdas (TUCCI, 2005, p. 69). O zoneamento conforme Tucci (1997) é necessário para preparar um mapa de áreas susceptíveis as inundações, visando delimitar as áreas de ocupação regulares e irregulares, minimizando futuras perdas em face de desastres naturais. Tucci (2005, p. 75) explana ainda sobre o zoneamento e mapeamento de áreas de risco afirmando que para este documento ser utilizado, beneficiando a população, deve ser integrada a legislação municipal, quando planejado os loteamentos, construções e habitações, a fim de garantir a sua observância.

2.4 GEOPROCESSAMENTO

A definição de geoprocessamento é trazida por Rosa (2013) como um conjunto de tecnologias destinadas à coleta e o tratamento de informações referenciadas espacialmente na superfície terrestre. O geoprocessamento surgiu com a criação da tecnologia da informática. Até então as análises da distribuição geográfica das cidades e de todas as coisas era feita por meio de mapas desenhados no papel, restringindo qualquer análise e integração de dados mais avançados (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 1999). Com as tecnologias automáticas surgiram diversas ferramentas de coleta, armazenamento, manipulação e análise de dados espaciais, a partir deste avanço surgiu o que foi chamado de geoprocessamento (RÉUS, 2010, p. 44).

A importância do uso do processamento de dados espaciais vem com a carência de informações adequadas para a tomada de decisões sobre os problemas urbanos, rurais e ambientais que a população enfrenta, apresentando-se ainda como uma tecnologia de custo relativamente baixo (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 1999). Existe a demanda de conhecimento de como os recursos naturais se distribuem no tempo e espaço e como interagem com os seres humanos, para tanto precisam ser qualificados, quantificados, georreferenciados, mapeados e analisados de maneira integrada (MATTOS; MIRANDA, 1997).

Pinheiro et al. (2009) revela que o geoprocessamento é uma ferramenta de análise e integração de informações, aliado ao uso de indicadores é um instrumento indispensável na gestão dos recursos hídricos.

2.4.1 Sistema de Informações Geográficas (SIG)

Segundo Aspiazú e Brites (1989 apud SANTOS; LOUZADA; EUGÊNIO, 2010) o SIG é um conjunto de técnicas empregadas na integração e análise de dados provenientes das mais diversas fontes, como imagens fornecidas por satélites, mapas, cartas climatológicas, censos e outros. É auxiliado por computador para adquirir, armazenar, manipular e analisar os dados geográficos. Os referidos sistemas formam um ambiente de inteligência que dá suporte à complexos

processos de decisão, permitindo a análise de indicadores, com base em dados geográficos das mais diversas áreas do conhecimento (PINHEIRO et al., 2009).

Os dados utilizados no SIG são divididos em dois grupos, segundo Rocha (2000). O primeiro são os dados gráficos, espaciais ou geográficos, que são aqueles que apresentam a forma e a posição do elemento na superfície terrestre; o segundo grupo de dados são os não gráficos, alfanuméricos ou descritivos, que fornecem os atributos dos elementos.

As informações espaciais podem ser representadas de dois formatos de dados, vetoriais e *raster*, os dados vetoriais podem ser representados por pontos, linhas e polígonos, estes elementos gráficos são memorizados a partir das coordenadas e os dados geométricos usados na representação; os dados *raster* são memorizados pela criação de uma grade, na qual, cada célula desta matriz é um *pixel*, associado às informações alfanuméricas que representam um atributo (PARANHOS; LASTORIA; TORRES, 2008).

Com a evolução desta geotecnologia existe um grande número de Sistemas de Informações Geográficas, cada qual, com características diferenciadas de estrutura de dados, modelos de banco de dados, sistemas de análises, dentre outros. Apesar de finalidades diferentes apresentam na sua maioria os mesmos módulos, sendo: Sistemas de Aquisição e Conversão de Dados; Banco de Dados Espaciais de Atributos; Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados; Sistema de Análise Geográfica; Sistema de Geoprocessamento de Imagens; Sistema de Modelagem Digital de Terrenos; Sistemas de Análises estatísticas; Sistemas de Apresentação Cartográfica (ROCHA, 2000).

2.4.1.1 Análise espacial

Em 1990, quando ocorreu uma consolidação da tecnologia de geoprocessamento, com uma ferramenta de tomada de decisões, diversas empresas e instituições governamentais iniciaram investimento neste meio, agregando diversas funções no mesmo sistema, entre elas, a análise espacial (ROSA, 2013).

Existe ainda hoje uma carência de dados geográficos disponíveis que permitam uma base cartográfica consistente. A análise espacial é uma importante

ferramenta, pois vem possibilitando a geração de informações que constituem uma base de dados primordiais de apoio ao planejamento urbano (ROSA, 2013). A análise espacial é feita a partir da modelagem e análise de padrões espaciais e de relação entre a base de dados (PINA; SANTOS, 2000). Essa análise possibilita a geração de novas informações a partir de um conjunto de dados já estabelecidos, por isso é considerada importante na geração de informações espaciais.

2.4.1.2 Álgebra de mapas

Um exemplo de aplicação do SIG, que será utilizada para a elaboração dos mapas relativos ao desenvolvimento deste trabalho, é a álgebra de mapas. Esta ferramenta proporciona a geração de novas informações a partir do cruzamento de diferentes dados, podendo chegar a um novo mapa (PARANHOS; LASTORIA; TORRES, 2008). As ferramentas de álgebra de mapas fazem a combinação de mapas pré-existentes por meio da matemática de *layers*, a modelagem ocorre de acordo com várias operações matemáticas (ROCHA, 2000). Desta forma, a partir do instrumento, tem-se o processamento de novas informações, de acordo com a base de dados estabelecida.

2.4.2 Sistema Geográfico de Referência (SGR)

Uma figura ou objeto representativo de informações da superfície terrestre permite sua localização em função das coordenadas tridimensionais. Estas coordenadas necessitam de um sistema geodésico de referência para sua determinação (IBGE, 2016).

A Terra tem duas representações conhecidas da sua superfície, a superfície de nível - Geóide e a superfície de referência - Elipsóide (ROCHA, 2000). Conforme o autor, Geóide é a superfície de nível usada para representar o formato da Terra, enquanto o Elipsóide, conforme o sugere o nome, é formado a partir de uma elipse rotacionada em torno do seu semieixo menor.

Se um determinado Elipsóide estiver posicionado próximo à superfície da Terra, formando um encaixe, fica definido a *Datum* Geodésico. Rocha (2000) diz que o *Datum* é o local que melhor se aproxima de um encaixe. O autor ainda relata que o

Datum brasileiro a qual está referida à rede geodésica é o *South American Datum of 1969* (SAD69), sendo a melhor adaptação para o continente sul-americano. Para tanto a partir de 2005 por meio do Decreto nº 5334 se estabeleceu as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional, desta forma em 25 de fevereiro de 2005 foi assinada a Resolução nº 01/2005 que estabelece o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS2000) como o novo Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) e para o Sistema Cartográfico Nacional (SCN) (IBGE, 2005). Os sistemas de concepção dos *Data* são diferentes, a orientação do SAD69 é topocêntrica, enquanto a orientação do SIRGAS2000 é geocêntrica, em resposta a esta diferença, tem-se uma diferença de aproximadamente 65m horizontais em relação ao mesmo ponto (IBGE, 2016).

Conforme descrito anteriormente, à superfície da Terra não é plana. Desta forma, é necessário atribuir um sistema de coordenadas que melhor represente o espaço. A projeção Universal Transversal de Mercator (UTM) é usada desde a Segunda Guerra Mundial, quando foi produzida em grande escala pelo Instituto de Cartografia do Exército Americano (ROCHA, 2000, p. 32). O autor fala que a principal vantagem da projeção UTM é permitir a representação de grandes áreas da superfície terrestre sobre um plano, sem haver significativas deformações. É uma projeção cilíndrica, que compreende apenas uma parcela da superfície, esta parcela é chamada de fuso ou zona, que é representado por um número ou pela longitude do meridiano central (ROCHA, 2000).

2.4.3 Geoprocessamento e recursos hídricos

Os problemas sociais, econômicos e ambientais decorrentes de eventos extremos de precipitação que são agravados pela falta de infraestrutura urbana e pelo crescimento desordenado das cidades, podem ser minimizados. Segundo Borges et al. (2015), os estudos da área por meio de Sistemas de Informações Geográficas são primordiais e fazem parte da etapa inicial de minimização dos impactos, usados para levantamento e análise espacial da realidade representada.

Pinheiro et al. (2009) afirma que a tecnologia SIG tem ganhado espaço como ferramenta no planejamento ambiental e, ressalta ainda, que tem forte adesão na gestão dos recursos hídricos. Conforme Eckhardt (2008, p. 36) um dos grandes

ganhos da integração dos SIG nos estudos dos recursos hídricos é a capacidade de obter e analisar as informações espacialmente, o suprimento de dados para modelos de simulação e sistemas de suporte à decisão.

O estudo das informações de geologia, geomorfologia, uso do solo, tipo do solo, hidrografia, delimitações de sub-bacias, zoneamentos existentes, sistema viário, áreas verdes, declividades são primordiais para tomada de decisões no planejamento ambiental. Deve-se considerar que estes fatores estão em constante modificação, quando utilizados em formato de mapas devem passar por um processo de atualização (PINHEIRO et al., 2009). O autor complementa que quanto mais completa e de maior qualidade forem às informações, maior confiabilidade poderá ter o diagnóstico.

Segundo o Borges et al. (2015):

Um plano diretor de drenagem urbana pode ser elaborado com auxílio de técnicas de geoprocessamento para a identificação da área a ser estudada [...] uma ferramenta essencial para auxiliar a gestão pública no planejamento do espaço, para que logo em seguida adote as medidas necessárias para o controle dos riscos existentes.

Pinheiro et al. (2009) reafirma o potencial da utilização das geotecnologias no planejamento ambiental e gestão dos recursos hídricos, pois garante o caráter democrático da decisão, uma vez que permite assimilar um grande volume de informações, que na prática estão relacionadas na sua totalidade, proporcionando mesmo aos leigos no assunto compreender e tomar as decisões. Portanto, a utilização dos Sistemas de Informações Geográficas é vista como uma proposta de articulação do processo de integração entre o planejamento ambiental e a gestão dos recursos hídricos.

2.4.3.1 Mapeamento de áreas susceptíveis a inundação

Estudos direcionados ao mapeamento de áreas de risco são de fundamental importância, pois tem grande influência nos processos de redução, amenização ou até eliminação de situações de risco, fornecem subsídios da execução de Planos Diretores, Planos de Ações Preventivas a desastres (CRISTO, 2002).

Uma área com susceptibilidade de ser atingida por uma inundação significa que existe uma predisposição natural à ocorrência de um evento. Desta

forma, um mapa de susceptibilidade de inundação apresenta os elementos que levam a esta predisposição, definindo os potenciais de ocorrência para cada área (PROCHMANN, 2014, p. 35). Segundo Eckhardt (2008), o mapeamento das áreas inundáveis é obtido a partir da elaboração de uma carta de inundação, onde as áreas inundadas em uma determinada seção fluviométrica são representadas, apresentando o nível de água e zonas atingidas.

A cartografia tem ganhado destaque na identificação e diagnóstico de áreas de suscetibilidade ambiental, tendo como proposta a combinação de dados e informações de aspectos geológicos, geomorfológicos e de uso do solo, portanto, conhecimentos físicos, ambientais e sociais, para uma análise integrada na elaboração dos mapas de riscos (HORA; GOMES, 2009).

2.4.3.2 Fatores ambientais condicionantes de inundações

A aplicação do geoprocessamento no diagnóstico de áreas de risco tem sido bastante explorada em diversas cidades brasileiras, surgindo então metodologias que têm como base a combinação de dados de aspecto significativo neste diagnóstico (HORA; GOMES, 2009). Independentemente da quantidade de chuva existem fatores cruciais que podem determinar diretamente as cotas alcançadas em uma inundação, estes critérios agravantes dos alagamentos ou cheias são a altitude, declividade, uso da terra e tipo de solo (SANTOS, 2010). No estudo de Prochmann (2014), o modelo alimentado com estes mesmos critérios foi utilizado na determinação das áreas com suscetibilidade aos eventos extremos de precipitação, mostrando resultados eficazes.

Hora e Gomes (2009) afirmam que os elementos condicionantes de cheias, inundações ou alagamento de modo geral abrangem informações referentes a aspectos geológicos (litologia), geomorfológicos (declividade, hipsometria) e de uso do solo (tipologias de ocupação, tipos de vegetação, dentre outros). Conforme os autores, estes são os fatores determinantes de regiões com probabilidade de inundações, na ocorrência de altos índices fluviométricos em um curso período de tempo.

De maneira a justificar a importância destes fatores na delimitação de áreas inundáveis Magalhães et al. (2011) e Prochmann (2014) afirmam que a

altitude devido a lei da gravidade direciona a água para as regiões mais baixas, assim quanto maior a altitude menor é a probabilidade de inundação. A declividade do terreno influencia no escoamento superficial, de forma que áreas mais planas têm maior probabilidade de acúmulo de água. Enquanto o tipo de solo reflete a capacidade de infiltração e o escoamento superficial da água, no entanto, muitas vezes tem-se o mesmo solo para toda a área de estudo, não sendo necessário considerar este fator (MAGALHÃES et al., 2011). Os autores trazem ainda a importância do controle do uso do solo, sendo este fator relacionado à infiltração da água no solo, áreas com maior impermeabilidade tendem a acumular mais água por mais tempo, reconsiderando a importância de haver um Plano Diretor Urbano eficaz, com um zoneamento bem elaborado.

Em conformidade aos autores já relatados, os eventos extremos de precipitação estão relacionados com uma série de fatores condicionantes, assim o mapeamento de suscetibilidade é uma etapa indispensável para a gestão de riscos e planejamento e uso do solo, contribui também como uma ferramenta de apoio a medidas de prevenção (PINTO; PASSOS; CANEPARO, 2015).

2.5 MÉTODO DE DECISÃO HIERARQUICA MULTICRITERIAL

A análise multicritério é definida como uma técnica que combina diversos fatores intrínsecos, pré-definidos criteriosamente, que funcionam como atributos mutuamente correlacionados, em que todos influenciam individualmente e, em conjunto, no resultado final (PINTO; PASSOS; CANEPARO, 2015). Desta forma, diversos trabalhos têm utilizado desta técnica a fim de criar modelos que permitam a delimitação de áreas de potencial risco. Os autores afirmam que este método utiliza de uma análise estatística, “pois apresenta critérios de combinação com padrões mensurados e parte do pressuposto que a correlação entre os condicionantes de instabilidade das vertentes explica a distribuição destes processos no espaço”.

Neste contexto, é possível utilizar a Avaliação Multicritério integrada aos SIG, permitindo a agregação de inúmeras variáveis, favorecendo a tomada de decisões complexas, para gerar uma simulação de áreas com suscetibilidade ou risco ambiental, a partir da combinação de condicionantes destes cenários (PINTO; PASSOS; CANEPARO, 2015).

Dentre os diversos métodos de análise multicriterial, pode-se destacar o método de Análise Hierárquica (AHP) proposta por Thomas Saaty (1987, apud PROCHMANN, 2014). Dentre os vários métodos de inferência espacial com o objetivo de facilitar uma interpretação, a maioria utiliza de análises individuais. Desta forma, a integração dos dados através da técnica AHP permite definir melhor os problemas em estudos (CARDOZO; HERRMANN, 2011). É um método multicriterial utilizado para definir a hierarquia de importância e comparação pareada destes fatores (BORGES et al., 2015).

O método combina os diversos critérios atribuindo-lhes pesos e ponderando a participação individual no processo, resultando em pesos finais de importância relativa para cada critério. É estruturado para auxiliar a lidar com decisões complexas, identificando as melhores alternativas e determina as prioritárias (PINTO; PASSOS; CANEPARO, 2015, p. 131). No procedimento os fatores são comparados dois-a-dois, e um critério de importância pré-definida relacionada estes dois fatores (PROCHMANN, 2014, p. 37).

Segundo Borges et al. (2015), o método AHP aliado às técnicas de geoprocessamento é uma ferramenta eficiente, que pode ser usada para a estruturação de problemas e na tomada de decisões, muito importante para auxiliar a gestão pública no planejamento do espaço. Para Magalhães et al. (2011), o modelo AHP de mapeamento é satisfatório para a determinação de áreas com risco de inundação, afirma ter grande aplicabilidade, entretanto por ser um estudo qualitativo, o modelo sofre influência do pesquisador quando é atribuído os pesos para cada fator.

2.5.1 Estrutura do método AHP

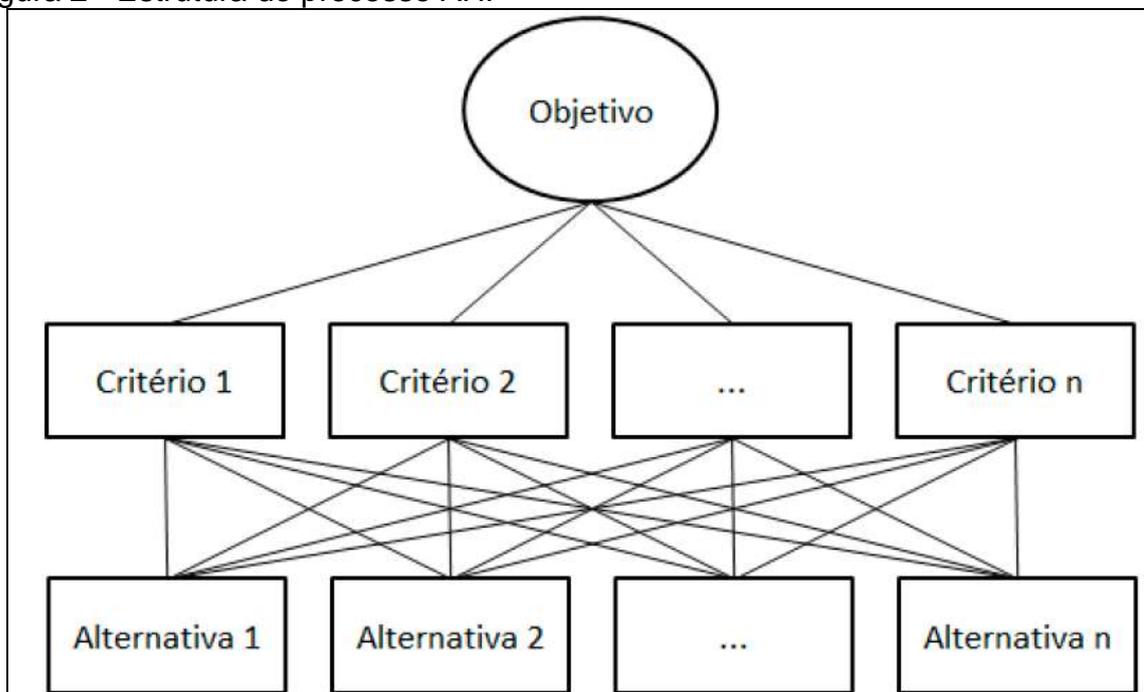
A aplicação é dividida em três diferentes etapas (SAATY, 1987 apud PROCHMANN, 2014), sendo elas:

- Estruturação da hierarquia (decomposição do problema);
- Julgamentos comparativos;
- Síntese das prioridades.

2.5.1.1 Estruturação da hierarquia

O objetivo nesta etapa é sintetizar todas as informações que são condições de contorno no modelo, que são importantes para a tomada de decisão final. Nesta primeira etapa o problema será decomposto durante o processo, os níveis são os seguintes: 1) Objetivo Principal; 2) Critérios; 3) Subcritérios (opcional) e 4) Alternativas. Conforme a estrutura apresentada na Figura 2.

Figura 2 - Estrutura do processo AHP



Fonte: PROCHAMANN, 2014.

Esta etapa tem como objetivo principal fornecer uma linguagem clara para a compreensão do evento a ser modelado. Para tanto são criados os critérios e subcritérios que compõem a estrutura do modelo (PROCHMANN, 2014, p. 38).

2.5.1.2 Julgamento comparativo

Esta etapa consiste no julgamento comparativo dos fatores, considerada crucial, pois é nesta etapa que o autor interfere na pesquisa. Aqui os pesos de cada fator são atribuídos conforme sua relevância sobre a decisão entre as opções.

Estas comparações são feitas por quatro axiomas propostos por Saaty (1990), conforme Quadro 1 a seguir:

Quadro 1 - Axiomas das comparações pareadas do método AHP

| | |
|-----------------------------|---|
| Comparação recíproca | Esse axioma aponta que a matriz de comparação elaborada é formada por pares de comparações recíprocas, ou seja, se A é x vezes mais preferíveis que B, B é 1/x mais preferível que A. O objetivo é obter uma escala de dominância relativa (ou ordem) das alternativas comparadas. |
| Homogeneidade | A homogeneidade é essencial para efetuar comparações significativas, como a mente não consegue comparar elementos discrepantes. Caso esse axioma não seja atendido, os elementos devem ser reestruturados de forma a pertencerem a grupos homogêneos, que possuam uma mesma ordem de magnitude. |
| Independência | O peso de cada critério deve ser independente das alternativas consideradas. |
| Expectativa | Supõe-se que o modelo englobe todos os critérios e alternativas necessárias, ou seja, uma estrutura hierárquica completa. |

Fonte: Adaptado de Saaty, 1990.

Saaty (1990) prevê uma escala de importâncias geral, que classifica a relação entre os elementos pareados por intensidade de importância, de 1 a 9, que pode ser aplicado para diversos temas de estudo.

O Quadro 2 a seguir mostra de maneira adaptada às definições da escala de importância elaborada por Saaty.

Quadro 2 - Escala de prioridades proposta por Saaty (1990)

| Intensidade da Importância | Definição | Descrição |
|-----------------------------------|--|---|
| 1 | Importância equivalente | As duas alternativas têm a mesma influencia no objetivo |
| 3 | Pequena importância sobre a outra | Uma alternativa tem pequena relevância sobre a outra |
| 5 | Grande importância sobre a outra | Uma alternativa tem grande relevância sobre a outra |
| 7 | Importância muito grande sobre a outra | Uma alternativa tem pequena relevância muito forte sobre a outra |
| 9 | Importância absoluta | A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza |
| 2, 4, 6, 8 | Valores intermediários | Valores que intermediam as demais opções |

Fonte: Adaptado de Saaty (1990).

A classificação traz as definições absolutas para 1, 3, 5, 7, e 9 e ainda valores intermediários intercalados, desta forma permite uma representação bastante detalhada. Esta escala ainda pode ser adaptada, conforme a necessidade do estudo.

2.5.1.3 Síntese de prioridades

Prochmann (2014, p.40) refere-se a esta etapa conforme o autor do modelo cita em (1991):

Esta etapa consiste na obtenção dos vetores de prioridade. O processo da alteração dos pesos de cada critério é realizado dividindo-se os elementos de cada coluna pela soma daquela coluna (normalização), e posteriormente somando-se os elementos em cada linha resultante e dividindo-se esta soma pelo número de elementos na linha.

Em casos de muitas variáveis ambientais, onde ocorrem muitas comparações par-a-par, podem ocorrer inconsistência nos resultados, assim é necessário à verificação da consistência dos vetores julgados (PROCHMANN, 2014, p. 41). O modelo assume um limite de inconsistência aceitável de 0,10, fazendo necessária a reconsideração dos valores, caso resultando um valor superior ao estabelecido (PROCHMANN, 2014).

A razão de consistência pode ser calculada através da equação:

$$RC = \frac{IC}{IR}$$

onde: *IC* é o Índice de Consistência e *IR* é o Índice de Consistência Randômico. O IC mede o quanto o autovalor máximo (λ_{\max}) da matriz se afasta da ordem (*n*) dessa matriz e pode ser calculado pela equação a seguir:

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{(n - 1)}$$

O IR foi obtido por Saaty por métodos experimentais com base na escala fundamental. O experimento resultou na Tabela 1, onde o IR é obtido de acordo com a ordem das matrizes de comparação.

Tabela 1 - Valores de IR proposto por Saaty

| Ordem | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-------|------|-----|------|------|------|------|------|------|
| IR | 0,58 | 0,9 | 1,12 | 1,24 | 1,32 | 1,41 | 1,45 | 1,49 |

Fonte: Saaty, (1991 apud PROCHMANN, 2014).

Desta forma, tem-se uma metodologia para verificação da classificação dos critérios condicionantes de inundações, adotadas pelo pesquisador. Assim um meio de comparar as alternativas e determinar a melhor.

3 METODOLOGIA

A utilização do geoprocessamento para a identificação de áreas com suscetibilidade ambiental tem sido bastante utilizada. Com vistas a contribuir para a gestão da problemática das inundações ocorridas ao longo da história do município de Tubarão (SC). O presente trabalho propõe-se a utilizar o Sistema de Informações Geográficas como uma ferramenta de apoio a decisão no planejamento ambiental. Desta forma, o estudo enquadra-se na linha de pesquisa “Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental”.

O trabalho é de natureza aplicada, pois segundo (GERHARDT; SILVEIRA, 2009, p. 35) tem o objetivo de gerar conhecimentos para práticas que visem à solução de um problema que envolve interesses locais. A abordagem da análise de dados relacionados às inundações será tratada de forma quantitativa, pois conforme Fonseca (2002, p. 20) este tipo de análise está centrada na objetividade, onde a realidade é compreendida com base em dados coletados, com auxílio de equipamentos.

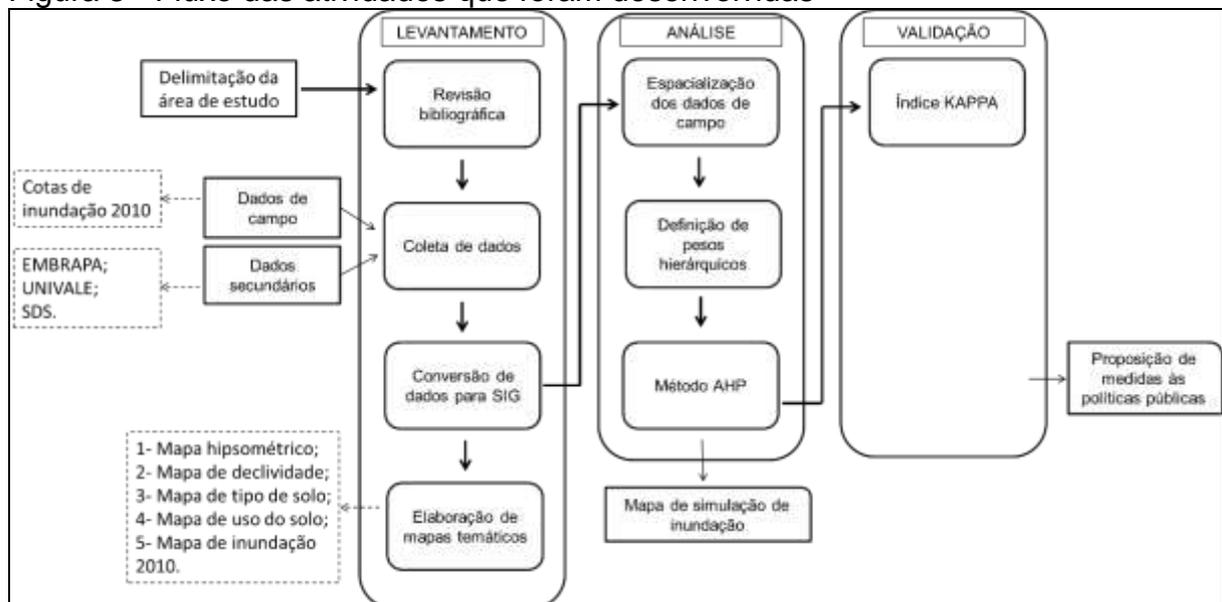
Com relação aos objetivos, a pesquisa caracteriza-se por Pesquisa Exploratória e Descritiva. Exploratória, porque segundo Gil (2002) “têm como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a constituir hipóteses [...] ainda o aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições”; e Descritiva porque busca o conhecimento das relações entre variáveis, podendo ir, além disso, relacionando a natureza desta relação, sendo assim uma pesquisa Descritiva que se aproxima da Exploratória, proporcionando uma nova visão do problema.

Desta forma, a metodologia adotada neste trabalho buscou proporcionar o desenvolvimento e a validação de um modelo de identificação de áreas com suscetibilidade de inundação, com base em técnicas de geoprocessamento apoiado em um método que conta com uma abordagem baseada no processo de decisão hierárquica multicriterial (AHP), proposto por Saaty (1987, apud PROCHMANN, 2014). Utilizou-se as modelagens das dinâmicas hidrológicas de inundação aliadas as técnicas de geoprocessamento e associada às inter-relações de variáveis ambientais condicionantes destes cenários para a identificação destas áreas.

A dinâmica estabelecida para o alcance do objetivo proposto foi delimitada a partir dos trabalhos de diversos autores, como: Hora e Gomes (2009); Santos, Louzada e Eugenio (2010); Cardozo e Herrmann (2011); Magalhães et al. (2011); Prochmann (2014); Borges et al. (2015); Pinto, Passos e Caneparo (2015).

A partir do embasamento teórico obtido, delimitou-se o plano de trabalho para alcançar os objetivos propostos. O fluxo de desenvolvimento do trabalho, com as etapas principais, está apresentado na Figura 3.

Figura 3 - Fluxo das atividades que foram desenvolvidas



Fonte: Autora, 2016.

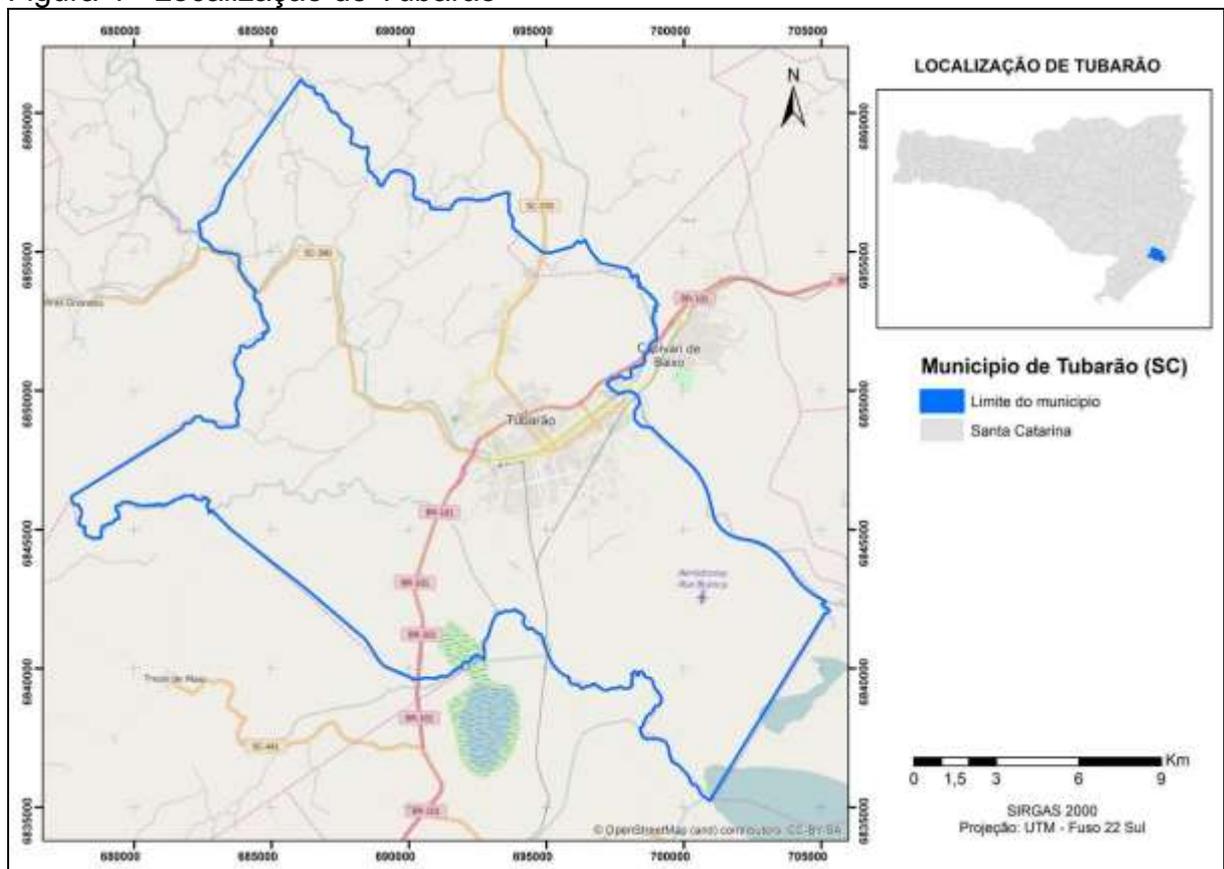
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS

A área de estudo do presente trabalho compreende o município de Tubarão, Santa Catarina, com maior enfoque na área urbanizada, sendo estes os locais de perdas em ocorrências de inundações. A delimitação da área de estudo foi realizada com base no histórico de grandes inundações ocorridas na cidade, com destaque aos eventos ocorridos em 23 de março de 1974 e, mais recentemente, em maio de 2010. Também, devido a atual discussão de medidas que visam reduzir os impactos decorrentes de grandes volumes fluviométricos, a discorrer pelo andamento do projeto de macrodrenagem, que está sendo elaborado pelo Instituto

de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

O município de Tubarão encontra-se situado no sul do estado de Santa Catarina a uma latitude de 28°28'00" Sul e a uma longitude de 49°00'25" Oeste, como apresentado na Figura 4. Próximo ao mar, a serra e a fontes de águas termais. O município apresenta altitudes variando entre 2 e 569m acima no nível do mar, e uma altitude média de 9m. Possui uma população de 97.235 habitantes, distribuída em uma área de aproximadamente 301km² (IBGE, 2010), sendo 64km² em área urbana e 236km² em área rural (IPH, 2016).

Figura 4 - Localização de Tubarão



Fonte: Autora, 2016

O município integra à Associação dos Municípios da Região Lagunar (AMUREL). Está inserido na Região Hidrográfica RH9 do Estado de Santa Catarina, Bacia Hidrográfica do Rio Tubarão e do Complexo Lagunar. Dividido pelo Rio Tubarão, o principal curso de água do município, que cruza a cidade de sul a leste, desembocando na Lagoa Santo Antônio, em Laguna.

O Rio Tubarão possui seu canal de escoamento com uma secção média de 115m de largura, sua profundidade varia de 2 a 10m e sua vazão é em média de 5,2m³/s. Outros rios que cortam o município de Tubarão são o Capivari, Corrêas, Rio do Pouso, Alto Pedrinhas, Caruru, Ilhota, Congonhas (IPH, 2016).

3.1.1 Histórico de inundações na área de estudo

No Sul do estado de Santa Catarina eventos extremos de precipitação são mais frequentes, portanto mais catastróficos. Isso ocorre, de acordo com Mathias, Varella e Gonçalves (2015) devido sua localização, por influência de frentes climáticas de transição entre massas polares e tropicais, onde o choque de temperaturas e volume das massas cria condições favoráveis à geração de chuvas perenes e torrenciais.

O Plano de Contingência (2014) explana sobre as principais ameaças e vulnerabilidade apresentada pelo município, identificando como cenários os riscos de inundação, risco de queda ou rolamento e alagamentos em áreas planas e baixas. Destacando o objeto deste trabalho, os eventos extremos de precipitação, têm-se os desastres mais representativos da história em 07 de novembro de 1880, 25 de setembro de 1897, 07 de maio de 1928. A partir de 1974 é possível identificar registros nos Decretos Municipais que se seguem:

a) Decreto n° 267 de 24/03/1974, declara estado de calamidade pública em todo o território do Município, em virtude da Enchente que atingiu drasticamente a Cidade de Tubarão.

b) Decreto n° 1.762/97 de 03/02/1997 determina situação de emergência - Inundação;

c) Decreto n° 2.004 de 04/02/2001 declara em situação anormal, caracterizada como situação de emergência, a área do município afetada por enchente;

d) Decreto n° 2.054 de 02/10/2001 declara em situação anormal, caracterizada como situação de emergência, a área do município afetada por enchente;

e) Decreto n° 2.284/2004 de 14/09/2004 declara em situação anormal áreas do território do município, caracterizada como situação de emergência;

f) Decreto nº 2.599 de 07/01/2009 declara em situação anormal, caracterizada como situação de emergência, áreas do município afetadas por enxurradas e inundações bruscas;

g) Decreto nº 2.689 de 12/05/2010 declara situação anormal caracterizada de emergência por enchente;

O evento base para a validação do modelo de suscetibilidade de inundação do presente trabalho foi decretado emergência em 12 de maio de 2010, as informações de caracterização do desastre que seguem, são de responsabilidade da Secretaria Municipal de Proteção e Defesa Civil, e foram retiradas do Relatório da Defesa Civil no Período de 08/05/2010 a 12/05/2010:

- Evento: Chuva intermitente com intensidade de moderada a forte por alguns momentos no período de 08/05/2010 a 12/05/2010;
- Código: CODAR NE.HIG. 12.301;
- Denominação: Enchentes ou inundações graduais;
- Nível e porte do desastre: Nível III – Grande porte.

Conforme Plano de Contingência Municipal de Proteção e Defesa Civil (2014) durante o evento o Rio Tubarão atingiu a cota máxima de 5,30m, inundando e alagando grande parte da cidade. O número de pessoas afetadas chegou a 40.000 e um prejuízo de 2.100.000 mil reais.

3.1.2 Aspectos físicos

3.1.2.1 Clima

Conforme descrito no Plano Diretor Municipal de Tubarão (PMT), executado pelo Consórcio Hardt-Engemin (2010) a cidade insere-se em uma região de clima subtropical úmido, com verões quentes e invernos com temperaturas amenas, enquadrado como Cfa na classificação de Koeppen. A temperatura média máxima anual de 23,6°C, sendo janeiro o mês mais quente e julho o mais frio. A área estudada ainda conforme o Plano Diretor Municipal, está sob influência do Anticiclone Semifixo do Atlântico Sul, proporcionando as temperaturas mais ou menos elevadas e alta umidade específica, o estado atmosférico é característico de estabilidade. Os ventos sopram predominantemente nordeste (NE).

Os índices de precipitação pluviométrica são bastante elevados, variam entre 1.100 e 1.300mm por ano. A máxima registrada para 24 horas foi de 160mm (HARDT-ENGEMIN, 2010).

3.1.2.2 Geologia e geomorfologia

Para caracterizar as feições geomorfológicas de Tubarão foram consultadas as bases cartográficas do Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil executado pela CPRM (2000) na escala de 1:250.000 e da base topográfica da EPAGRI (2004) na escala de 1:50.000. Conforme o Plano Diretor Municipal o Rio Tubarão é um dos principais agentes naturais que influencia diretamente na formação do relevo do município (HARDT-ENGEMIN, 2010).

De modo geral o relevo da cidade pode ser definido como, montanhoso nas suas elevações, em contraste as diversas planícies de acumulações. Sendo as elevações encontradas nas regiões oeste e noroeste e as planícies na região leste. No território encontra-se a Unidade Geomorfológica da Serra do Tabuleiro e Unidade Geomorfológica da Planície Costeira, o primeiro apresenta o domínio morfoestrutural complexos e o segundo, depósitos sedimentares cenozóicos.

Cerca de 84% do município de Tubarão é caracterizado por uma declividade de 0 - 30%, correspondendo a planície Costeira, as encostas e topos de morro com plano de relevo suaves. As encostas mais íngremes de declividades entre 30 e 46,6% representam em torno de 11,3% da área municipal, e 4,34% são os relevos mais montanhosos, com declividade superior a 46,6% (HARDT-ENGEMIN, 2010). O Plano Diretor de Hardt-Engemin (2010) descreve também a declividade do centro urbano de Tubarão, sendo a planície de inundação do Rio Tubarão, que em geral possui uma declividade entre 0 e 5%, ocorrendo algumas ondulações.

3.1.2.3 Pedologia

Conforme descrito pela EMBRAPA (2004) o complexo do Tabuleiro caracteriza-se pela grande complexidade petrográfica e estrutural, sendo constituídos por complexos GNÁISSICO-GRANÍTICOS e MIGMATÍTICOS, os solos

mais comumente relacionados a este tipo de terreno são o PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO, o PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO, LATOSSÓLICO e o CAMBISSOLO, todos argilosos. Os sedimentares CENOZÓICOS podem ser continentais ou litorâneos, de acordo com a EMBRAPA (2004, p. 13) os continentais consistem principalmente em depósitos aluvionares atuais e subatuais:

Estes depósitos estão relacionados com as seguintes unidades de solos: CAMBISSOLO textura argilosa, CAMBISSOLO GLEICO textura argilosa e PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO textura média/argilosa. Muitos dos depósitos aluvionares são constituídos por cascalheiros e areias em mistura com material SÍLTICO-ARGILOSO. Correspondem à cobertura das imensas planícies e vales, e estão relacionados com os solos GLEI Pouco Húmico, GLEI Húmico, Solos Aluviais e CAMBISSOLO GLEICO - todos eutróficos ou distróficos, argila de atividade alta ou baixa.

3.1.2.4 Cobertura do solo

Conforme disposto pela Lei complementar nº 87, de 20 de dezembro de 2013, que dispõem sobre o zoneamento do uso e ocupação do solo urbano de Tubarão, no seu art. 3º ficam definidos as classes de uso do solo, como: residencial, comercial, serviços, industrial e de preservação ambiental, sendo descritas como:

- I - Residencial: resultado da utilização da edificação para fins de moradia de uma ou mais famílias;
- II - Comercial: resultado da utilização da edificação para desempenho de atividade econômica caracterizada por uma relação de compra, venda ou troca de mercadorias;
- III - Serviços: resultado da utilização da edificação para desempenho de atividades caracterizadas pelo préstimo de mão-de-obra ou assistência de ordem técnica intelectual;
- IV - Industrial: resultado da utilização da edificação para desempenho de atividades econômicas caracterizadas pela transformação de matéria-prima em bens de consumo de qualquer natureza ou extração de matéria prima;
- V - Preservação ambiental: resultado da destinação do solo para fins de preservação do patrimônio natural, paisagístico e cultural.

De acordo com o mapa de uso do solo do Plano Diretor Municipal em escala de 1:55.000, os usos do solo mais representativos são: urbanização, centralizada principalmente em torno do Rio Tubarão; agricultura, caracterizada pelo plantio de arroz; pastagens em áreas mais planas; florestas nos pontos mais elevados; e em menores proporções as áreas de extração mineral, formações pioneiras e silvicultura. A cobertura vegetal é caracterizada por agricultura, pastagens e campos naturais, vegetação de várzea e restinga, florestas em estado inicial, médio e avançado de regeneração (HARDT-ENGEMIN, 2010).

3.2 COLETA E ANÁLISE DE DADOS DA INUNDAÇÃO DE 2010

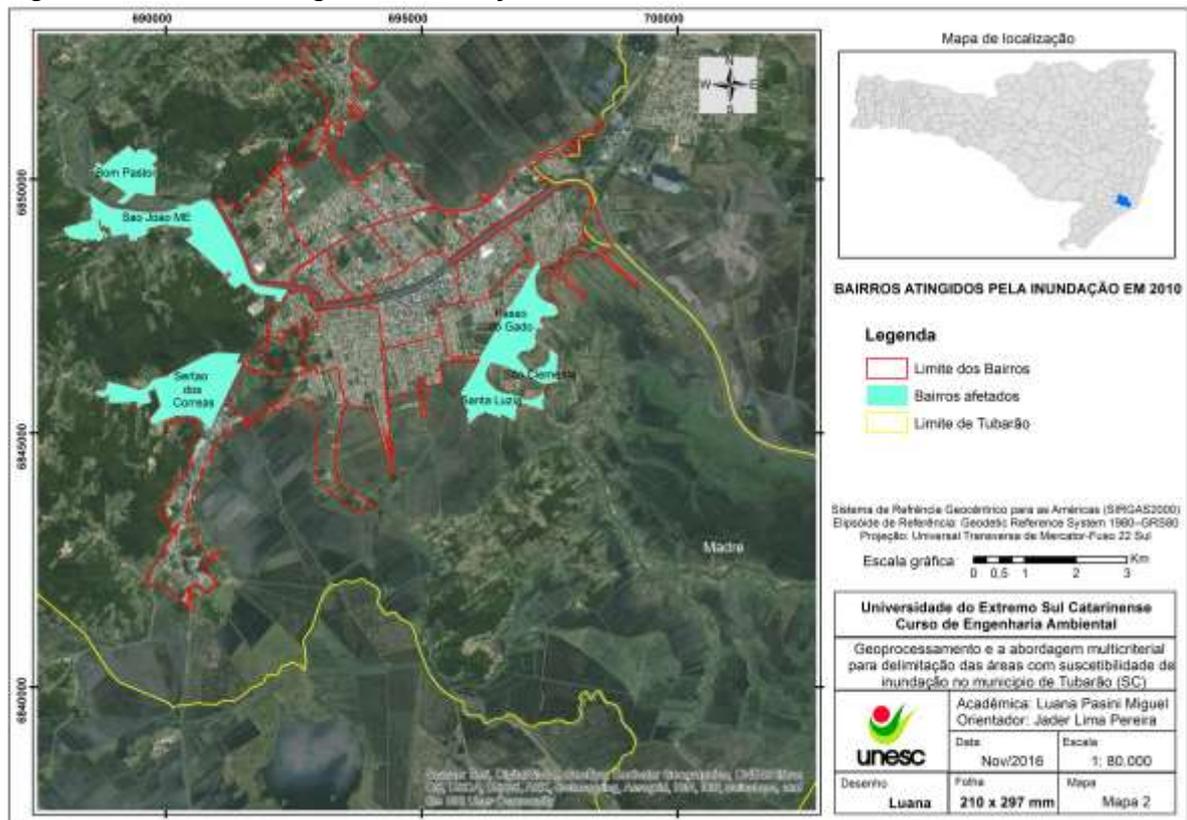
Esta etapa do trabalho a ser desenvolvido conta com três fases principais, sendo elas: i) coleta e levantamento de dados do evento de 2010; ii) a modelagem e análise destes dados e; iii) validação do modelo de simulação de inundações proposto.

3.2.1 Dados primários

A inundação ocorrida em maio de 2010 não foi representativa dentre as grandes inundações catastróficas já ocorridas na região, entretanto por ser a mais recente, apresenta as configurações do rio e do entorno mais próximas do que se tem atualmente. Sendo assim, a coleta de dados de campo foi proposta com a finalidade de validar o modelo de simulação de inundações utilizado. Foram levantados a partir de entrevistas com moradores das áreas atingidas, os pontos com as respectivas cotas de inundação do evento ocorrido em maio de 2010.

De maneira a delimitar previamente as áreas atingidas por inundação em 2010, foram analisadas as curvas de nível com distâncias de dois metros de distância, consultados relatórios elaborados pela Secretaria de Proteção e Defesa Civil de Tubarão e também o mapeamento de áreas de risco dos municípios brasileiros elaborados pelo Serviço Geológico Brasileiro (CPRM), sendo este último elaborado com base no evento do ano de 2010. A partir deste levantamento prévio, definiu-se os bairros atingidos pela inundação, sendo eles, São João (margem esquerda), Bom Pastor, Sertão dos Correias, Santa Luzia, São Clemente e a localidade rural Madre (Figura 5).

Figura 5 - Bairros atingidos inunda o de maio de 2010



Fonte: Autora, 2016.

A coleta de dados de campo foi realizada entre os meses de agosto e setembro, com auxílio de veículo e motorista disponibilizado pela Secretaria de Prote o e Defesa Civil de Tubarão. Com a utiliza o de GPS Garmin portátil foram marcados os pontos de inunda o com as correspondentes cotas de inunda o informadas por moradores.

3.2.1.1 Mapeamento da inunda o de maio de 2010

Os pontos coletados foram especializados com a ferramenta *feature to point* do software ArcGis . Depois de inseridos os pontos, foram acrescentados novos campos   tabela de atributos, com o nome dos bairros, nome do entrevistado e a cota de inunda o de 2010. Quando possível o levantamento dos pontos de inunda o de 1974 com os moradores, também foi feito, de modo a alimentar o banco de dados da última grande enchente que afetou o município.

Com as informações das cotas de inundação coletadas, iniciou-se a interpolação destes pontos, para gerar um novo conjunto de dados, criando uma superfície de elevação atingida pela água. Esta etapa da mesma forma que as posteriores, foram realizadas separadamente para cada área atingida, sendo assim, para cada bairro. A etapa foi processada com a ferramenta de interpolação pela Ponderação do Inverso da Distância (IDW), onde se calcula o valor de um ponto com base no valor médio entre os pontos mais próximos, para geração da matriz. A partir desta superfície foram criadas as áreas afetadas, com o cálculo da superfície com seu respectivo Modelo Digital do Terreno (MDT), onde a elevação de cada *pixel* for igual ou inferior à cota de inundação, diz-se que o mesmo está inundado. Esse cálculo foi realizado de forma automática, por meio da ferramenta *Raster Calculator*.

Em uma das quatro áreas atingidas pela inundação não foi possível aplicar a mesma metodologia, isso se deu pelo fato de não haver moradores nas mediações da área. Desta maneira para o bairro da Madre, foi estimado o valor médio e seu desvio padrão das cotas do terreno onde ocorreram inundação, conforme os dados coletados com moradores. Esse valor de 0,57cm foi adotado como inundado, gerando uma mancha a partir do MDT.

3.2.2 Dados secundários

A partir da definição da metodologia do trabalho, frente às necessidades de avaliar características físicas e espaciais da área em estudo, buscou-se criar uma base cartográfica, com base em diversas fontes. Os dados necessários à criação da base cartográfica estão elencados no Quadro 3.

Quadro 3 - Descrição dos dados secundários referentes ao município de Tubarão

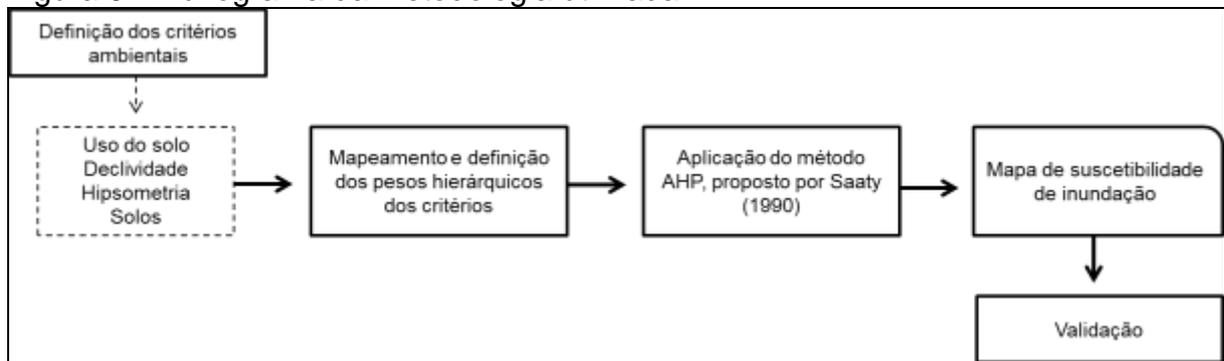
| Tipo | Dados | Fonte | DATUM | Formato |
|----------|------------------------------|---------------------|------------------|---------|
| Mapa | Mapa de solos de SC | Hardt-Engemin, 2010 | - | PDF |
| Mapa | Uso do solo | Do autor | UTM – SIRGAS2000 | SHP |
| Ortofoto | Imagem aérea do município | SDS | UTM – SIRGAS2000 | TIFF |
| Mapa | Áreas com risco no município | CPRM, 2016 | SAD69 | DWG |
| Mapa | Hidrografia do município | ANA | UTM – SIRGAS2000 | SHP |

Fonte: Autora, 2016.

3.3 MAPA DE SUSCETIBILIDADE ÀS INUNDAÇÕES PELO MÉTODO AHP

Para a elaboração do mapa de suscetibilidade de inundações a partir do método AHP foi necessário o cumprimento de algumas etapas, de acordo com a metodologia proposta por Saaty (1990). E, posteriormente, a realização de uma nova etapa de validação do modelo. A metodologia utilizada foi idealizado contemplando as etapas apresentadas na Figura 6.

Figura 6 - Fluxograma da metodologia utilizada



Fonte: Autora, 2016.

De modo geral a metodologia proposta por Saaty (1990) para obter uma estruturação hierárquica de decisão, conta com a classificação dos critérios ambientais, construção da matriz de comparação pareada destes critérios, priorização das alternativas e finalizando com a determinação das classes de suscetibilidade.

3.3.1 Definição dos critérios ambientais e justificativas

Diversos autores têm usado esta mesma metodologia para mapeamento de áreas suscetíveis a inundação, entre eles cita-se Hora e Gomes (2009), e Santos, Louzada e Eugenio (2010), Prochmann (2014). Estes autores afirmam que fatores determinados importantes que são condicionantes de inundações independente das condições fluviométricas são: altitude, declividade, uso do solo e tipo do solo.

3.3.1.1 Altitude

A altitude da área em estudo interfere na probabilidade de inundação de modo que, quanto maior a altitude menor chance de inundação, enquanto as áreas mais baixas sofrem influência da gravidade, influenciando o escoamento das águas para estas regiões. Assim, as áreas mais baixas das bacias tendem acumular a água da chuva.

3.3.1.2 Declividade

A declividade interfere na capacidade de acúmulo de água no solo, sendo as áreas planas mais propícias à inundação em relação às escarpadas. Influência ainda na velocidade de escoamento da água sobre o solo.

3.3.1.3 Uso do solo

O uso e ocupação do solo tendem a alterar as características naturais de permeabilidade do solo e escoamento superficial da água, sendo o fator relacionado à infiltração da água. As áreas mais impermeabilizadas tendem a acumular maior quantidade de água na superfície em contrapartida aumentam a velocidade do escoamento para as áreas de fluxo, enquanto áreas de vegetação, por exemplo, tendem a facilitar o processo de infiltração.

Em centros urbanos onde a vegetação é removida e redes de drenagem são estabelecidas, segundo Prochmann (2014) o escoamento superficial é antecipado, assim ocorre um aumento do volume do escoamento superficial e da vazão de pico. O autor esclarece que isso ocorre em bacias urbanas que possuem sistemas de drenagem eficientes.

3.3.1.4 Tipo de solo

Cada tipologia de solo apresenta diferentes capacidades de infiltração e retenção da água, essa capacidade está relacionada com alguns fatores como a porosidade e compactação do solo. Assim solos com menores capacidades de

infiltração e retenção tendem a gerar um maior escoamento superficial. Desta forma, em áreas que não apresentam variação dos tipos de solos, não é necessário considerar este critério, pois não se comporta como condicionante de inundações.

3.3.2 Mapeamento e valoração dos critérios

Nesta etapa consta a metodologia de geração dos mapas de critérios ambientais que contribuem para a ocorrência de inundações, apresentam-se também as subdivisões em classes destes critérios, atribuindo a estas, os valores de acordo com sua influência no fenômeno em estudo. Para tanto o software escolhido para o desenvolvimento e suporte do trabalho foi o ArcGis® versão 10.2.

Portanto, foram elaborados mapas temáticos com os dados batimétricos, de declividade, tipo e uso do solo, conforme metodologias descritas a seguir. Ainda, foram atribuídos os pesos para a cada classe de mapeamento, adotando uma escala de 1 a 10, sendo 10 o valor que tem maior influência e 1 de menor influência sobre a ocorrência de inundações. Os pesos foram adotados segundo os trabalhos de autores e associada às dinâmicas da área de estudos.

3.3.2.1 Mapa hipsométrico

O mapa hipsométrico conforme descrito por Prochmann (2014) é uma interpretação gráfica do relevo de uma determinada área, representa a variação da elevação do terreno com referência o nível médio do mar. A informação foi gerada a partir da análise de superfície do MDT, por meio da caixa de ferramentas *Spatial Analyst Tools*, com a conversão para *raster* e reclassificação. A variação altimétrica foi dividida em 10 classes, de acordo com a Tabela 2 a seguir:

Tabela 2 - Classificação e pesos do mapa hipsométrico

| Classes (m) | Peso |
|----------------|------|
| 0,1 – 5,00 | 10 |
| 5,01 – 15,0 | 8 |
| 15,01 – 50,0 | 5 |
| 50,01 – 150,0 | 2 |
| 150,01 – 300,0 | 1 |
| > 300,01 | 1 |

Fonte: Autora, 2016.

3.3.2.2 Mapa de declividade

A declividade está relacionada com o ângulo que o terreno apresenta em relação ao plano horizontal, podendo ser descrita em graus ou em porcentagem. Os dados de declividade foram obtidos a partir da análise de superfície do MDT, por meio da caixa de ferramentas *Spatial Analyst Tools*. A classificação foi realizada em seis intervalos, de acordo com EMBRAPA (1979, p. 27) conforme exposto na Tabela 3.

Tabela 3 - Classificação e pesos do mapa de declividade

| Classes | Descrição | Peso |
|-----------------|-----------------------|-------------|
| 0 – 3% | Plano | 10 |
| 3 – 8% | Levemente ondulado | 8 |
| 8 – 20% | Ondulado | 5 |
| 20 – 45% | Fortemente ondulado | 3 |
| 45 – 75% | Montanhoso | 1 |
| >75% | Fortemente montanhoso | 1 |

Fonte: Autora, 2016.

3.3.2.2 Mapa de solos

O mapa de solos ou pedológico consiste em apresentar a distribuição dos diferentes tipos de solos no município de Tubarão. Estas informações foram adquiridas com no mapa de solos do Plano Diretor Municipal em escala de 1:100.000 (HARDT-ENGEMIN, 2010).

Sendo esse arquivo disponibilizado apenas em PDF, foi necessária sua conversão para *Shapefile* (SHP). Para tanto, primeiro converteu-se o arquivo PDF em um arquivo de formato de imagem georeferenciada *Tiff* e a partir deste criou-se um SHP de polígonos. Os solos apresentados no território de Tubarão estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Classificação e pesos do mapa de declividade

| Solos | Peso |
|---------------------|-------------|
| ARGISSOLOS | 10 |
| CAMBISSOLOS | 4 |
| GLEISSOLOS | 8 |
| ORGANOSSOLOS | 5 |

Fonte: Autora, 2016.

Os respectivos pesos atribuídos estão relacionados ao grau de infiltração e retenção da água na superfície, sendo os solos que apresentam menor capacidade de infiltração aqueles que apresentam maiores influência no processo de inundação. Assim os ARGISSOLOS são aqueles mais apresentam influência sob as inundações.

3.3.2.3 Mapa de uso e ocupação do solo

O mapa de uso e ocupação do solo consiste em apresentar as tipologias de uso do solo, bem como, a distribuição destes usos no território do município. As informações foram adaptadas do PMT, onde foram apresentadas em uma escala de 1:100.000 com base no ano de 2005. O zoneamento realizado no Plano vem com uma proposta de regularizar o uso do solo, de modo a minimizar os prejuízos com os eventos extremos de precipitação (PMT 2010, p. 123).

De modo a aperfeiçoar as informações de uso e ocupação do solo foi realizado um novo mapa. Por meio da técnica de sensoriamento remoto, realizou-se a análise algorítmica para a classificação *pixel a pixel* de uma imagem LANSAT-8 (sensor OLI-TIRS) adquirida em 12 de junho de 2016. No ArcGis® esse procedimento ocorre pela ferramenta de Análise de Imagens, reclassificando a partir de amostras. O mapeamento do plano diretor foi utilizado como base para a criação das classes e para sua delimitação espacial foi realizado uma reclassificação de imagem. Os usos do solo foram classificados em vegetação arbórea, vegetação herbácea, solo exposto, massas de água, área urbana e agricultura. As valorações de cada tipo de uso de acordo com a capacidade de infiltração e escoamento da água estão apresentadas a seguir na Tabela 5.

Tabela 5 - Classificação e pesos do mapa de uso e ocupação do solo

| Usos | Peso |
|--------------------|------|
| Vegetação arbórea | 1 |
| Vegetação herbácea | 8 |
| Solo exposto | 7 |
| Massa d'água | 10 |
| Área urbana | 5 |
| Agricultura | 6 |

Fonte: Autora, 2016.

Analisando o mapa de usos do solo do município, observam-se duas subdivisões. A primeira a Leste das rodovias BR-101 e SC-438 predominam atividades agrícolas e onde se encontra a grande parte da área urbanizada, e a Oeste das rodovias predominam áreas com vegetação herbácea em menores proporções vegetação arbórea, silviculturas, agricultura e resquícios de urbanização (PMT, 2010).

3.3.3 Análise Hierárquica Multicriterial (AHP)

Posteriormente a reclassificação dos fatores ambientais em subfatores e adotado pesos de acordo com o grau de suscetibilidade a inundação, iniciou-se a etapa que consiste em criar uma escala de importância relativa entre os fatores. Santos, Louzada e Eugenio (2010) afirmam que esta etapa de atribuição dos valores, com base na escala de comparadores, é a fase mais importante durante processo de elaboração dos mapas de suscetibilidade de inundação, sendo que o modelo sofre influência direta do pesquisador, interferindo diretamente no resultado obtido.

De modo a definir a importância relativa dos critérios no que tange à susceptibilidade às inundações, realizou-se a comparação pareada dos critérios, utilizando a escala proposta já apresentada (Quadro 2), onde o valor 1 equivale ao mínimo, e 9 o máximo de importância de um fator sobre outro. Depois de atribuído valores correspondentes a hierarquização dos fatores, tem-se a análise par-a-par, conforme estabelecido na Tabela 6.

Tabela 6 - Matriz de comparação pareada

| Critério | Solos | Uso e ocupação do solo | Altitude | Declividade |
|-------------------------------|--------------|-------------------------------|-----------------|--------------------|
| Solos | 1 | 1/3 | 1/5 | 1/7 |
| Uso e ocupação do solo | 3 | 1 | 1/3 | 1/5 |
| Altitude | 5 | 3 | 1 | 1/4 |
| Declividade | 7 | 5 | 4 | 1 |

Fonte: Autora, 2016.

As informações da Tabela 6 são interpretadas conforme o Quadro 2, como exemplo da variável do uso e ocupação do solo e tipo de solos, diz-se que o uso e ocupação do solo tem pequena importância relativa sobre a variável de solos.

Para análises iguais a 1, diz-se que os graus de relevância entre as variáveis são iguais.

Com os valores de importância relativa dos critérios é possível encontrar o peso estatístico de cada variável. Além dos métodos computacionais esse peso pode ser calculado manualmente, por meio da divisão do valor de cada elemento e pela soma dos valores da coluna que pertence, o peso estatístico de cada critério é estabelecido pela média de cada linha, conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7- Determinação dos pesos estatísticos

| Critério | Solos | Uso e ocupação do solo | Altitude | Declividade | Pesos | Simbologia |
|-------------------------------|--------------|-------------------------------|-----------------|--------------------|--------------|-------------------|
| Solos | 1 / 16 | 0,33 / 9,33 | 0,2 / 5,53 | 0,14 / 1,59 | 0,0537 | P1 |
| Uso e ocupação do solo | 3 / 16 | 1 / 9,33 | 0,33 / 5,53 | 0,2 / 1,59 | 0,1151 | P2 |
| Altitude | 5 / 16 | 3 / 9,33 | 1 / 5,53 | 0,25 / 1,59 | 0,2394 | P3 |
| Declividade | 7 / 16 | 5 / 9,33 | 4 / 5,53 | 1 / 1,59 | 0,5918 | P4 |

Fonte: Autora, 2016.

Para verificar a confiabilidade dos valores adotados, utilizou-se através da ferramenta de planilha eletrônica do Microsoft Excel®, para realizar o cálculo de razão de consistência (RC) dos pesos estatísticos e dos cálculos relacionados a comprovação se o método AHP foi aceito. A razão de consistência encontrada foi de 0,07 assim a análise pode ser validada, comprovando que os pesos adotados são confiáveis.

3.3.4 Elaboração do mapeamento de suscetibilidade de inundação

Para a elaboração do mapa final de simulação das áreas com suscetibilidade de inundação, foi realizado a reclassificação da tabela de atribuídos dos mapas temáticos, de acordo com a valoração das subdivisões propostas para cada critério.

Os dados de cada célula do *raster* dos mapas temáticos foram capturados e processados algebricamente pela equação a seguir:

$$\frac{\text{Suscetibilidade}}{\text{a inundação}} = P_1 \times \text{pedologia} + P_2 \times \text{uso do solo} + P_3 \times \text{altitude} + P_4 \times \text{declividade}$$

Esta etapa é automatizada no ArcGIS® versão 10.2 pela *Raster Calculator* no menu *Spatial Analyst*, com o processando desta etapa, foi armazenado um novo arquivo *raster* que dá origem ao mapa de suscetibilidade. De modo a melhorar a interpretação dos dados, foi feito a reclassificação dos valores da tabela de atributos de acordo com a Tabela 8.

Tabela 8 - Reclassificação da suscetibilidade

| Valores | Classes |
|---------|-------------|
| 1 - 2 | Muito baixa |
| 2 - 4 | Baixa |
| 4 - 6 | Média |
| 6 - 8 | Alta |
| 8 - 10 | Muito alta |

Fonte: Autora, 2016.

O *raster* executado tem um tamanho de célula igual a 5x5m, apresenta na sua tabela de atributos valores que variam entre 1 e 10, sendo os valores mais próximos de 10 aqueles que apresentam maior suscetibilidade de inundação. A reclassificação foi realizada para 5 classes de suscetibilidade, onde foram relacionadas há muito baixa, baixa, média, alta e muito alta a suscetibilidade.

3.3.5 Validação do modelo pelo Índice Kappa

Para a validação do modelo proposto, a fim de chegar à verossimilhança entre o mapa gerado a partir do modelo, e o mapa obtido a partir das coletas de campo, foi utilizado o Índice Kappa para analisar a matriz de confusão. A matriz de confusão é expressa por meio da correlação das informações ditas como verdadeiras com os dados modelados, esse método só pode ser aplicado quando existir dados de referência (verdadeiros) confiáveis (PRINA; TRENTIN, 2015).

O Coeficiente Kappa pode ser definido como um método que associa duas bases de informações, a fim de testar o grau de concordância, confiabilidade ou precisão entre elas, sendo que a primeira base sempre é a verdadeira (KOTZ, 1983 apud PERROCA; GAIDZINSKI, 2003).

Para que a metodologia do Índice Kappa seja aplicável, de forma a ser uma análise pareada, as classes de suscetibilidade foram reduzidas para duas situações, os níveis de suscetibilidade entre 1 e 6 são aqueles que não oferecem condições de inundação, e os pesos a cima disso são ditos como predispostos a sofrerem a inundação.

A metodologia de validação conta inicialmente com a ferramenta ArcGis® (*Analysis Tools >> Overlay >> Intersect*), para obter a correlação existente entre os *pixels* do mapa verdadeiro e do mapa modelado. A partir desta etapa, a tabela de atributos foi editada em planilha eletrônica no Microsoft Excel®, com o objetivo de criar a matriz de confusão. Após a elaboração da matriz de confusão, procedeu-se a conversão da planilha eletrônica para um arquivo em formato “mdb” para leitura no Avaliador de Classificação de Imagens (AVACIM), um aplicativo foi elaborado por Prina, Trentin e Benedetti (2014) para obter os resultados a respeito do Índice Kappa.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

4.1 MAPA DA INUNDAÇÃO DE 2010

O mapa de inundação do evento de maio de 2010, apresentado na Figura 7, foi elaborado a partir de 115 amostras coletadas nos seis bairros atingidos. A Tabela 9 apresenta os resultados do trabalho de campo.

Tabela 9 - Dados de campo

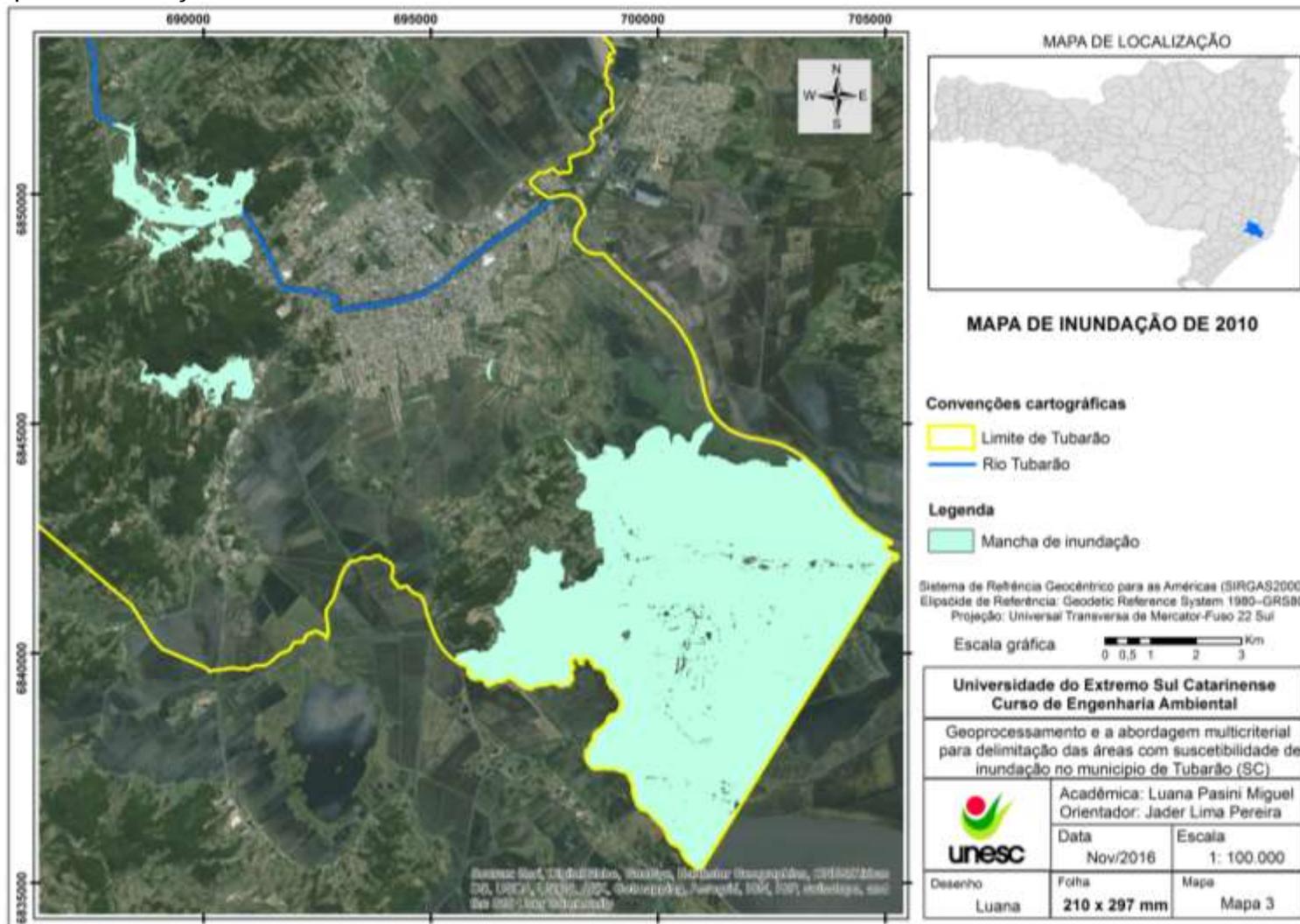
| Bairro | Área (km ²) | Levantamento de 2010 | | Levantamento de 1974 |
|---------------------|-------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| | | Nº de amostras de inundação | Nº de amostras de alagamento | Nº de amostras de inundação |
| São João | 2,19 | 4 | 28 | 1 |
| Bom Pastor | 0,82 | 38 | 1 | 2 |
| Sertão dos Correias | 1,88 | 16 | 2 | 1 |
| Passo do Gado | 0,86 | 7 | 0 | 0 |
| Santa Luzia | 0,77 | 7 | 0 | 2 |
| Madre | - | 12 | 0 | 8 |
| TOTAL | - | 84 | 31 | 14 |

Fonte: Autora, 2016.

Dentre os pontos coletados é de interesse direto para a análise neste trabalho os 84 pontos de inundação do ano de 2010. A partir destas cotas amostrais foi gerado a mancha de inundação apresentado no Mapa da inundação de maio de 2010 (Figura 7). Em áreas, onde, segundo os moradores, o volume de água superficial foi gerado por falha na rede de drenagem, os pontos foram identificados como alagamento e não fazem parte da análise de inundação. O mapa mostra que não houve inundação nos bairros São João e Passo do Gado, onde as amostras coletadas são de cota igual a 0, não interferindo na mancha.

A precipitação total entre os dias 08 e 13 de maio de 2010 foi de 333,80mm, que resultou na inundação e alagamento de parte da cidade. No total obteve-se uma área de 47,65km² de inundação 43 vezes maior do que o que foi apresentado para os mesmos bairros no mapeamento da CPRM, que foi de 1,09km². Neste evento obteve-se um resultado de 15,83% do território municipal inundado.

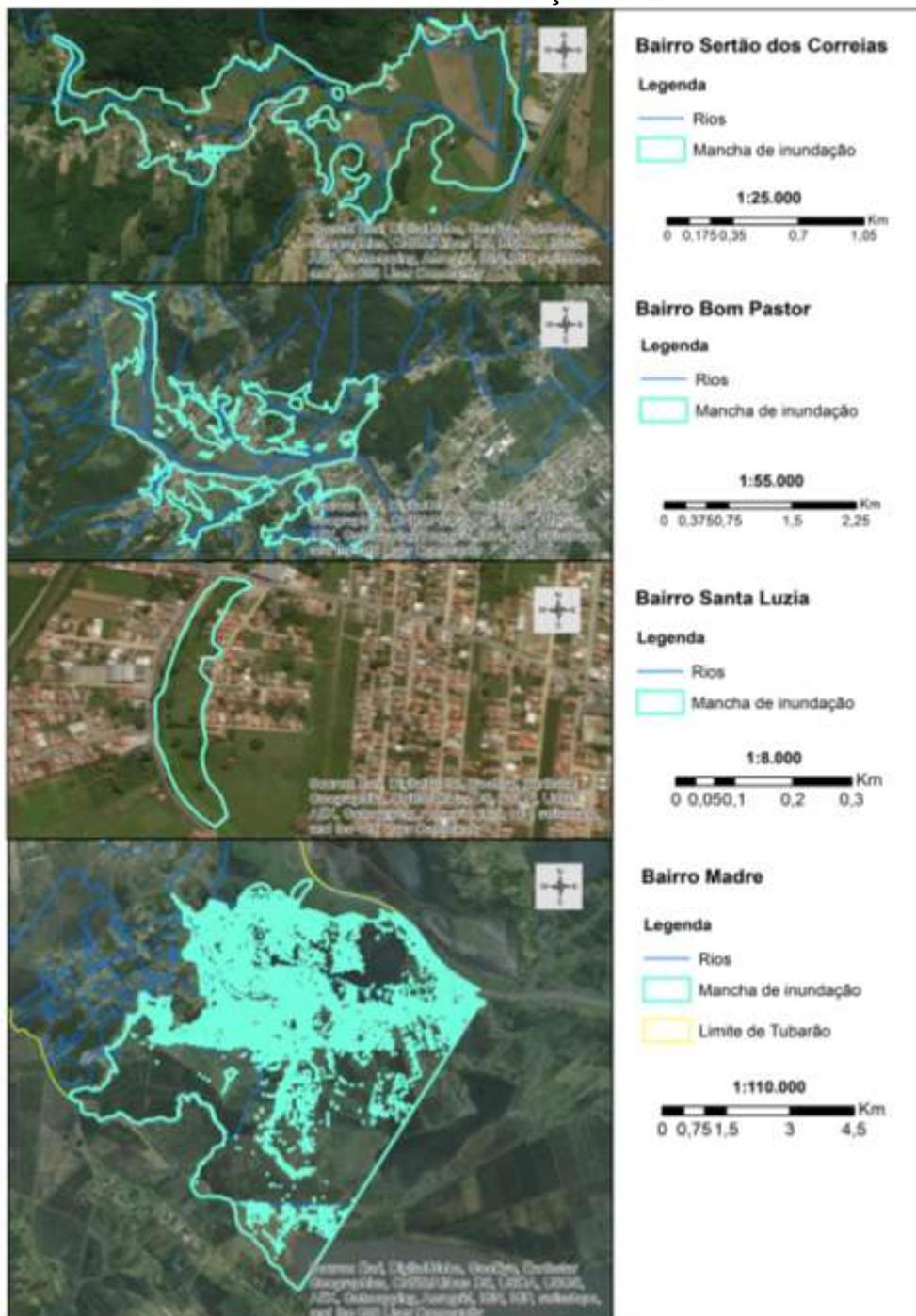
Figura 7 - Mapa da inunda o de maio de 2010



Fonte: Autora, 2016.

O bairro mais atingido foi a Madre com 43,33km² de área atingida, que representa 90,9% da área total inundado. Conforme melhor detalhado na Figura 8, o comportamento da inundação varia em virtude da altimetria do terreno, onde segundo os entrevistados a lâmina de água apresentou uma média de 0,50m de altura e uma cota máxima de 2m.

Figura 8 - Detalhamento das manchas de inundação de 2010



Fonte: Autora, 2016.

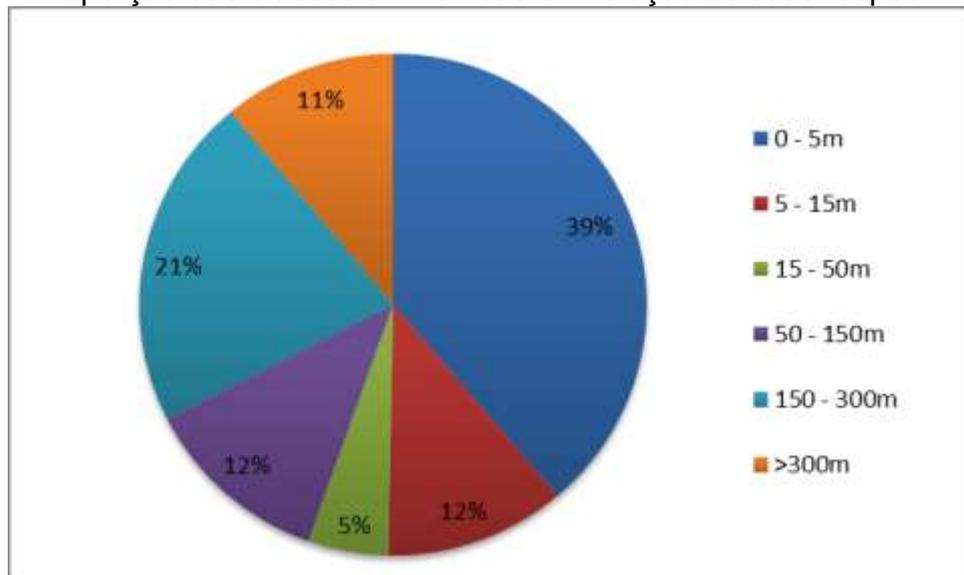
A macha de inundação apresentou-se nas áreas próximas às encostas de morros e áreas correspondentes a planície costeira, segundo o Plano Diretor de Hardt-Engemin (2010), o centro de Tubarão é descrito como a planície de inundação do Rio Tubarão pelo mesmo autor, sendo que esta foi atingida por alagamentos no evento.

4.2 ANÁLISES DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS

A classe altimétrica com maior abrangência territorial apresenta altitudes de 0 até 5m e compreende cerca de 117km² ou 39% do município, sendo a classe de altitude mais baixa que proporciona maior suscetibilidade de inundação, também caracterizada por apresentar as zonas urbanas e de agricultura, aumentando os riscos de perdas.

É possível observar por meio da Figura 9 que mais de 50% do município possui cotas abaixo de 15m, as áreas com cotas superiores a 150m são menores do que aquelas com até 5m de altitude. De modo a permitir a afirmação que Tubarão é um município baixo, com poucos picos de altitudes, situação topográfica favorável à ocorrência de inundações e/ou alagamentos, no PMT de 2010 esses locais são chamados de áreas de acúmulo, onde se encontra o cruzamento de baixas declividades e cotas altimétricas.

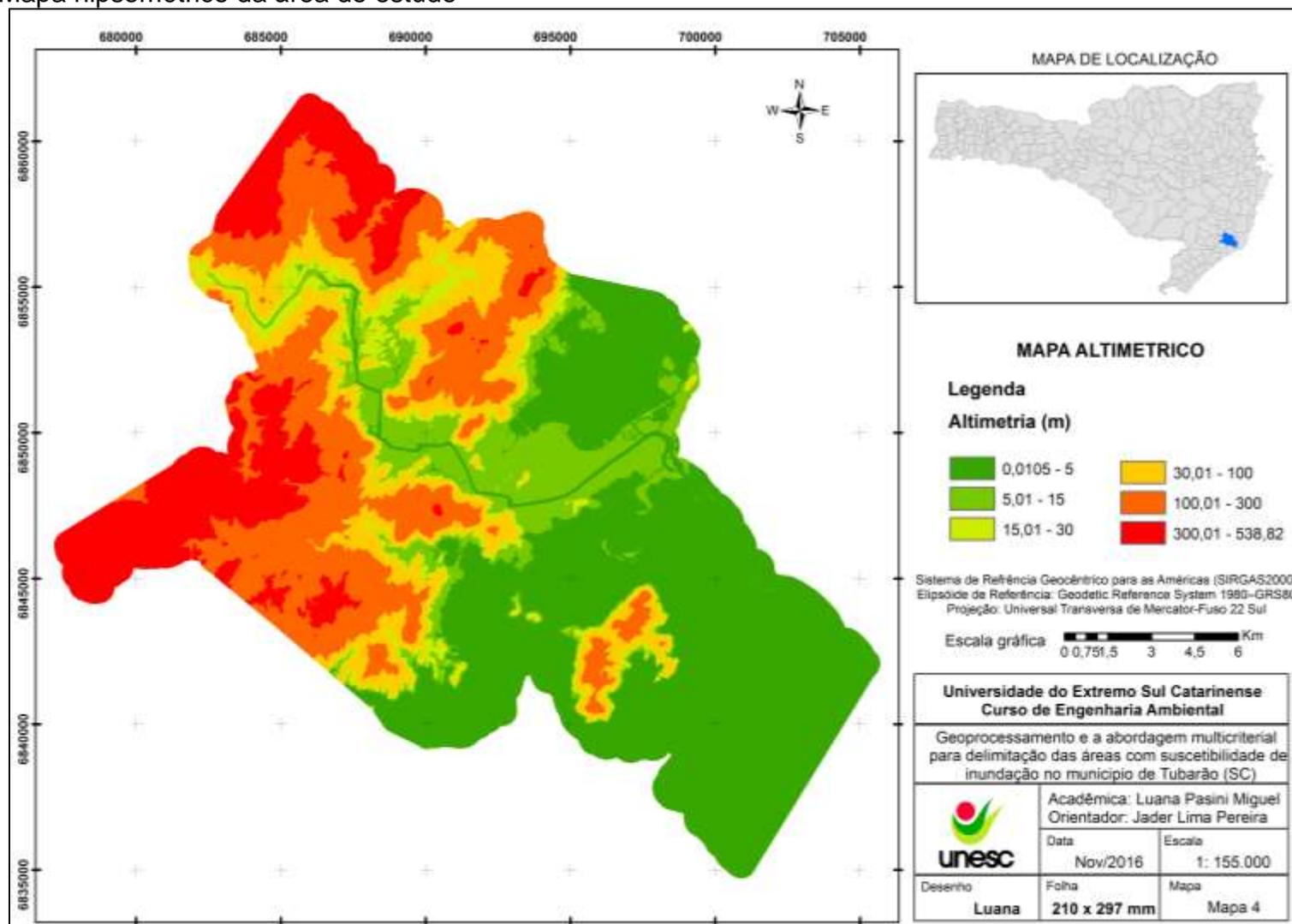
Figura 9 - Proporção das classes altimétricas em relação às suas respectivas áreas



Fonte: Autora, 2016.

O mapa da altimetria do município de Tubarão esta apresentado na Figura 10. Em escala de 1:155.000 e células de 5x5m, é possível observar o vasto território com baixas altitudes, localizado principalmente na região mais próxima ao litoral e entre as áreas montanhosas.

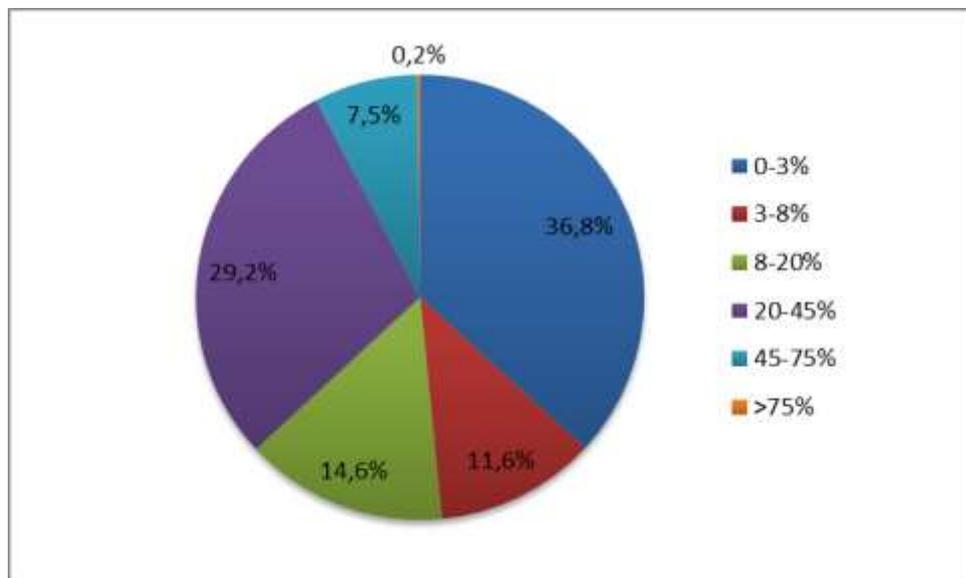
Figura 10 - Mapa hipsométrico da área de estudo



Fonte: Autora, 2016.

Conforme o mapa de declividade, apresentado na Figura 12, 36,8% do território de Tubarão, que correspondente a aproximadamente 110,9km² apresentou uma declividade variando entre 0 e 3%, consideradas planas. As áreas levemente onduladas, que apresentam declividade entre 3 e 8%, apareceram em 35km². A declividade que varia entre 8 e 20%, classificada conforme EMBRAPA (1979) como ondulada somam 44km², referentes a 14,6% do município. Já o terreno fortemente ondulado corresponde a 29,2% do território, totalizando 88Km². Áreas montanhosas, com o percentual de declive entre 45 e 75% apareceu em 22,5Km², cerca de 7,5% de Tubarão, enquanto as áreas fortemente montanhosas, com declividade superior a 75% são apresentadas em 0,6%, com aproximadamente 0,7Km² dos 301km² totais do município. A Figura 11 apresenta a proporção das classes em termos de área, de modo que os resultados obtidos estão de acordo com o que está explanado no Plano Diretor Municipal de Hardt-Engemin (2010), onde a planície costeira é caracterizada por uma declividade de 0 - 30% que representa 84% do município.

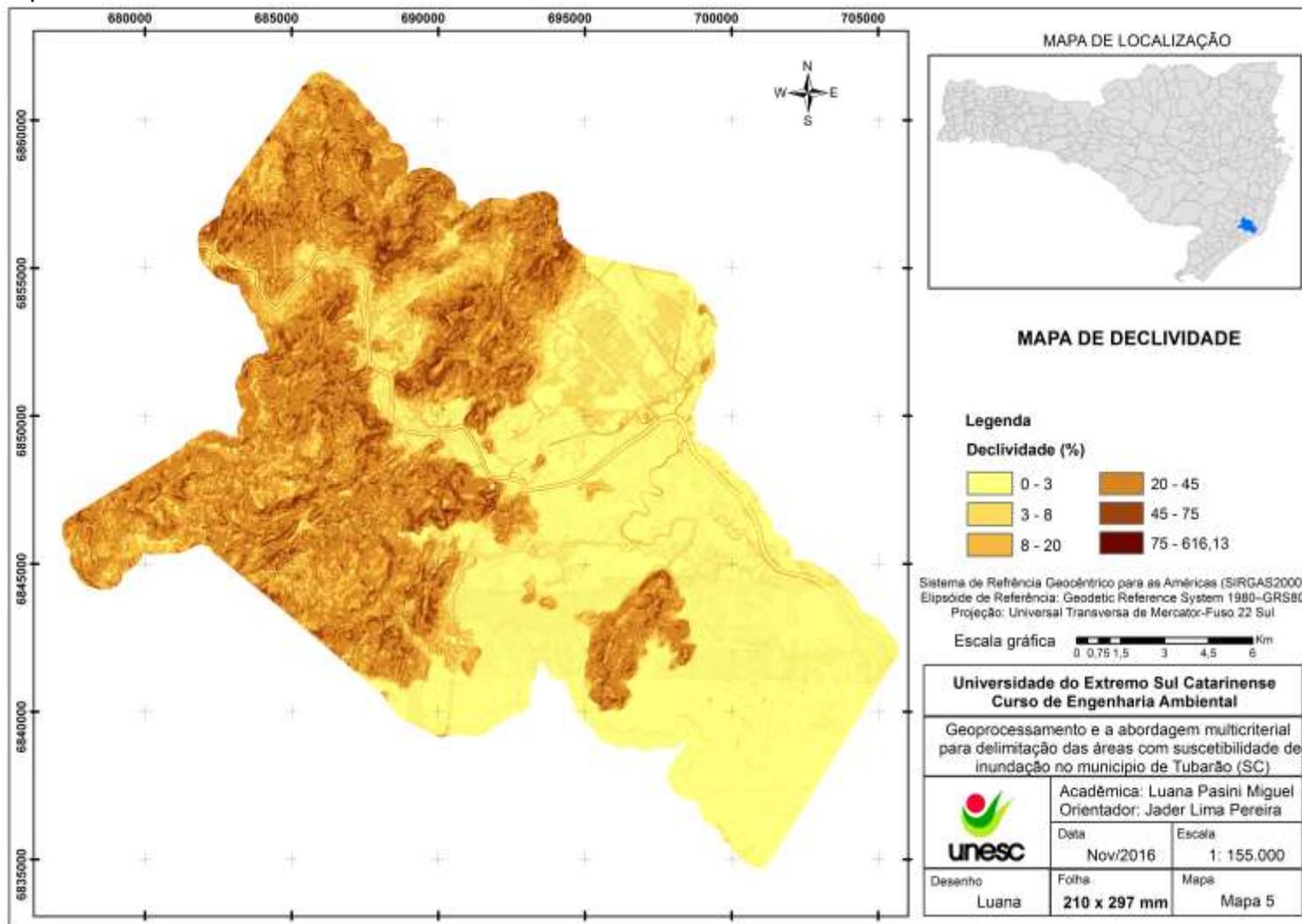
Figura 11 - Proporção das classes de declividade em relação às suas respectivas áreas.



Fonte: Autora, 2016.

Desta forma é possível afirmar que o relevo de Tubarão é caracterizado como plano, com áreas fortemente onduladas em regiões de morros, com raras áreas de declives abruptos, conforme pode-se observar no mapa a seguir (Figura 12). Sendo as elevações encontradas nas regiões oeste e noroeste e as planícies na região leste e sudeste, conforme o observado no PMT.

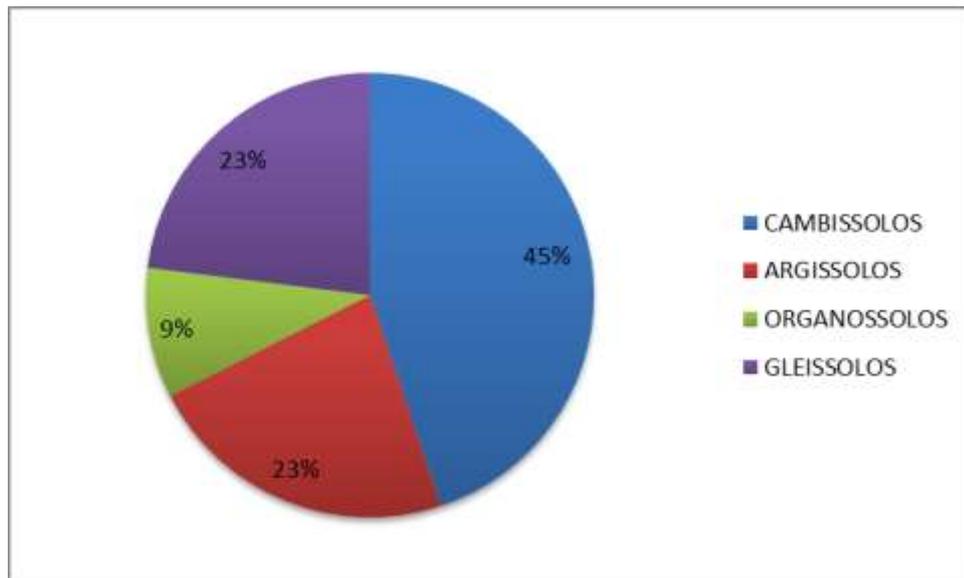
Figura 12 - Mapa de Declividade da área de estudo



Fonte: Autora, 2016.

Conforme a Figura 13, o solo do município apresentou uma variação entre quatro grupos pedológicos, sendo eles os CAMBISSOLOS com a porção de 45% da área do município, seguido pelos ARGISSOLOS e os ORGANOSSOLOS, onde cada um se estende por aproximadamente 69km² ou 23% da área total de Tubarão e em menor proporção os GLEISSOLOS com 28,5km² ou 9% da área.

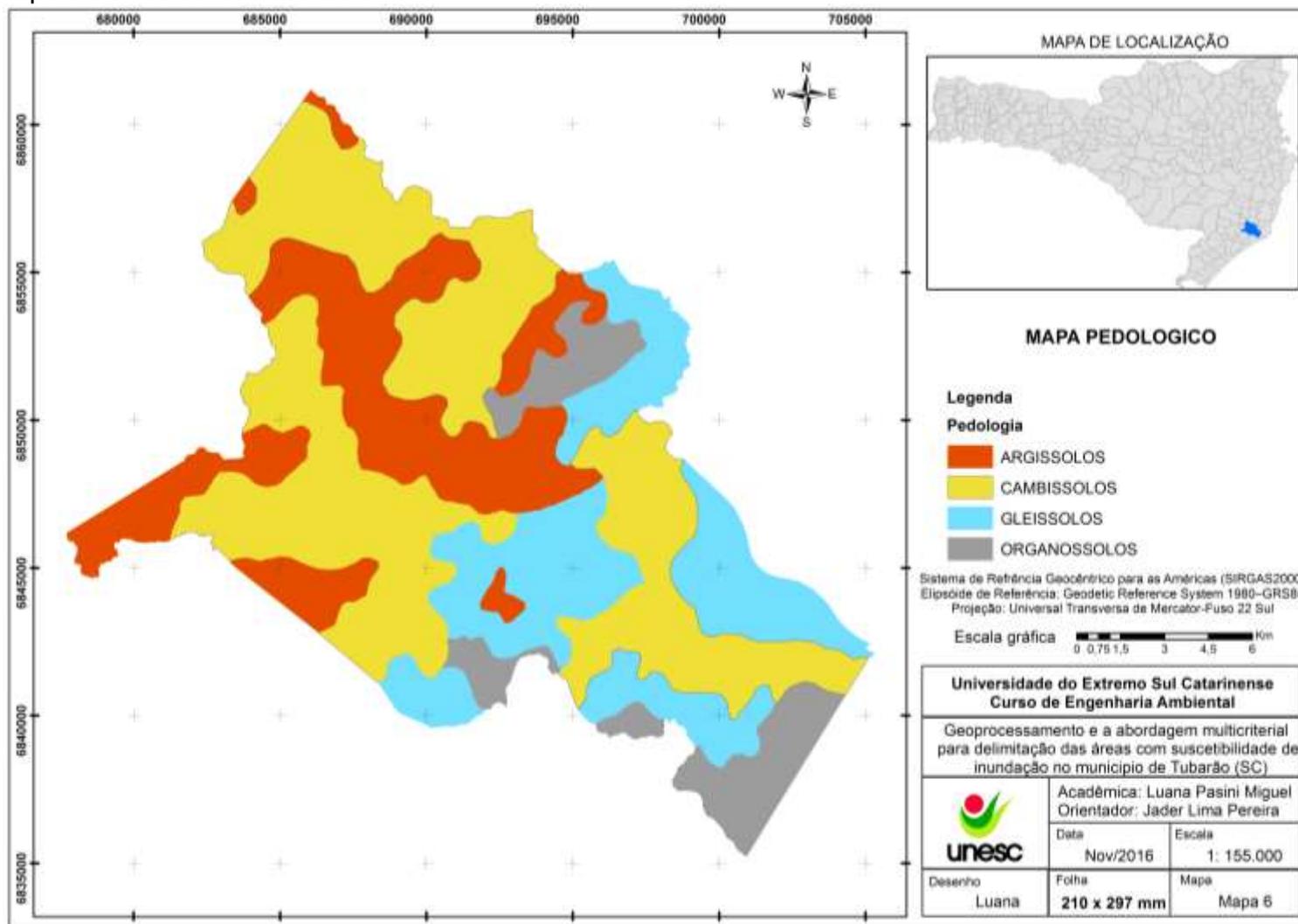
Figura 13 - Proporção das classes de pedologia em relação às suas respectivas áreas



Fonte: Autora, 2016.

Dentre os solos identificados na área de estudo, a classe com maior suscetibilidade a inundações são os ARGISSOLOS, em decorrência da baixa permeabilidade associada a estes (EMBRAPA, 1979). No entanto, este tipo de solo está associado às porções mais altas do município, onde existe o predomínio da vegetação arbórea. Seguido pelos GLEISSOLOS em termos de suscetibilidade de inundações, devido a ser um solo presente em áreas planas e encharcado por água (EMBRAPA, 2004), apresenta-se em 23% do solo municipal. A classe de solos de maior representatividade foi o CAMBISSOLOS, com 45% da área de estudo, este que apresenta segundo a EMBRAPA (1979, p. 29) capacidade moderada de drenagem. Os ORGANOSSOLOS apesar de condicionantes para a inundações, por ser um solo de drenagem deficiente (EMBRAPA, 1979) apresenta-se em pequena porção do município, cerca de 9% do território. O mapa de solos conforme elaboração do PMT (2010) pode ser analisado na Figura 14.

Figura 14 - Mapa de solos da área de estudo

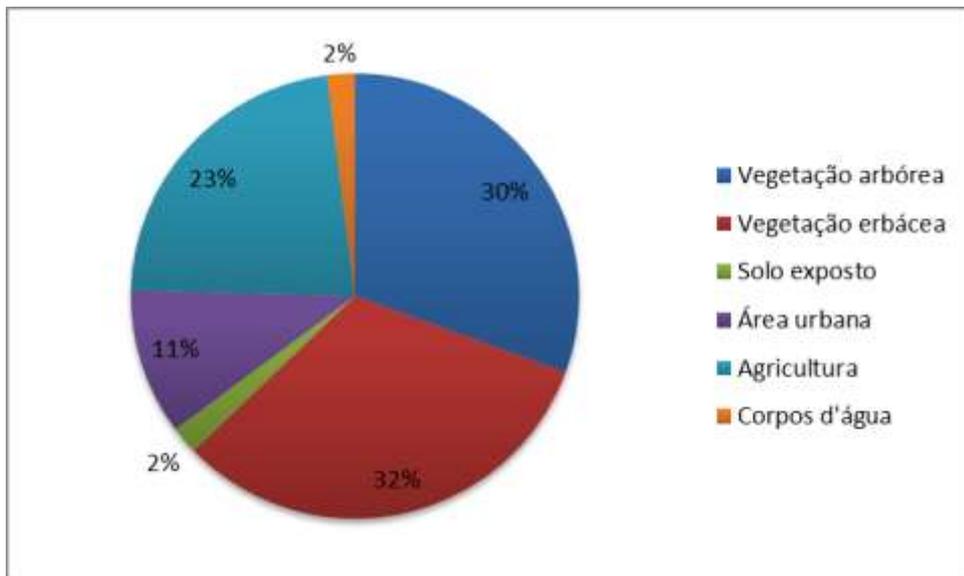


Fonte: Autora, 2016.

O uso do solo do município foi dividido em seis classes, destacando-se “a vegetação herbácea”, como o tipo de uso mais representativo, com 32% ou 97km², compreendendo as áreas de campo (pastagens), onde em geral são plantas de pequeno porte e arbustivas de caule não lenhoso (LINDMAN, 1906). Conforme pode ser analisado na Figura 16 estão apresentadas em vastas áreas de campos e entre as áreas de vegetação arbórea, onde a altitude é mais baixa.

A vegetação arbórea, o segundo uso do solo mais extenso em termos de área, cobre 30% do território, cerca de 92km² de solo. Este tipo de uso é caracterizado por apresentar fisionomia arbórea, constituída em sua maioria por florestas secundárias em diferentes estádios de regeneração natural, além de áreas com plantio de eucaliptus e pinus. As áreas com maiores expressividade desta classe estão presentes sobre as regiões fortemente onduladas, montanhosas e fortemente montanhosas (EMBRAPA, 1979). Estas porções da área de estudo, possuem difícil acesso, não oferecendo condições de crescimento urbano, sendo um dos fatores que permitem a conservação destas áreas. A Figura 15 a seguir mostra a proporção destas duas classes em relação aos outros usos do solo.

Figura 15 - Proporção das classes de uso do solo em relação às suas respectivas áreas



Fonte: Autora, 2016.

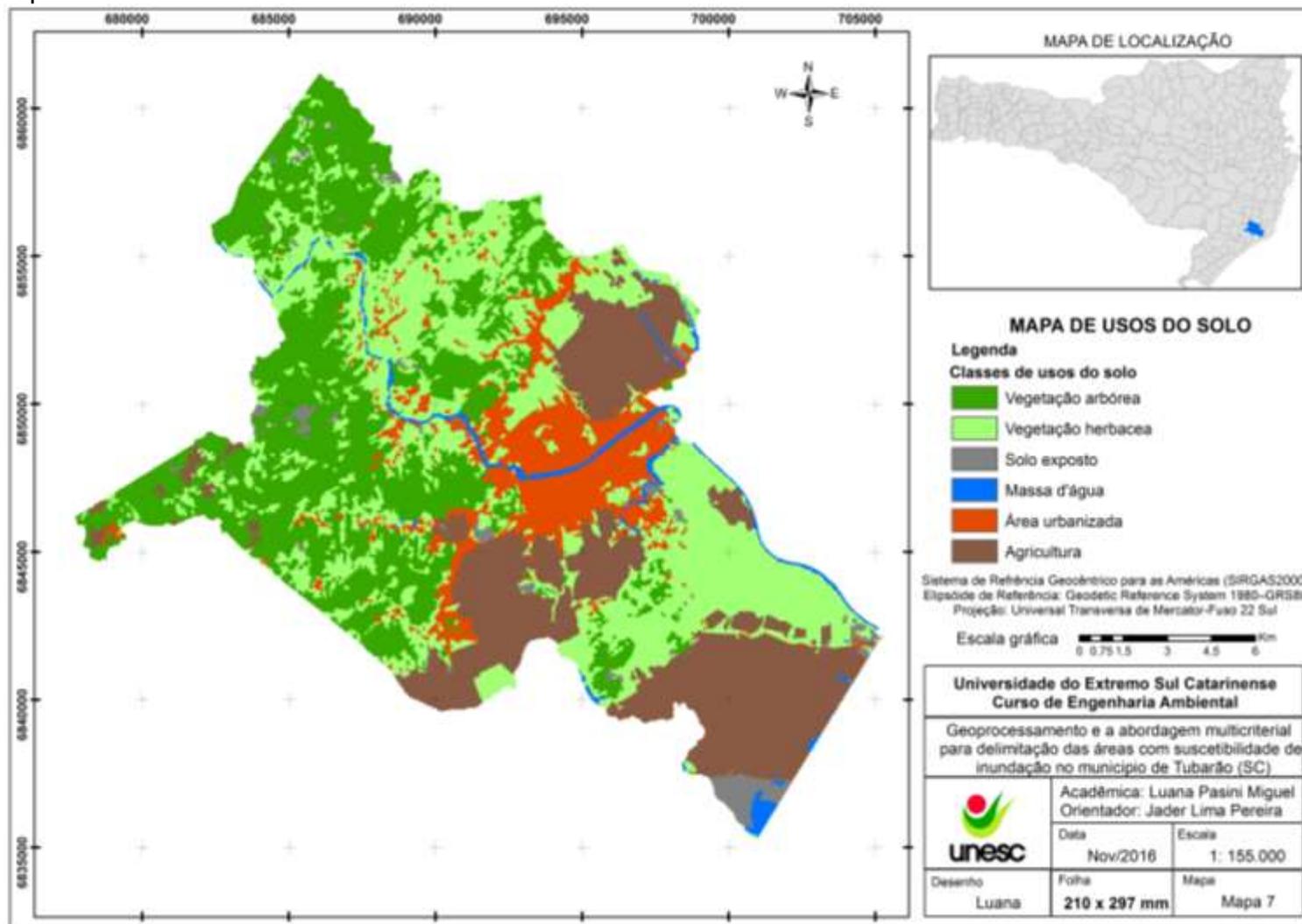
A agricultura também é um uso do solo bastante expressivo, com aproximadamente 68km² e 23% do solo. O principal cultivo é risicultura, essa prática que na região é comumente utilizada em solo encharcado, e associado as baixas

altimetrias e declividades onde estão implantadas, apresentam grande influência sobre a ocorrência de inundações.

O uso do solo para fins urbanos representam 11% e 32km² de Tubarão, este que apresenta uma alta taxa de impermeabilização e escoamento superficial, onde é dado como intermediária sua influência para a geração de inundação. A área urbana é composta por áreas comerciais, industriais e residenciais, sua maior porção, no centro da cidade, é dotada de uma rede de drenagem. Encontra-se principalmente as margens do Rio Tubarão, onde existem áreas com frequentes ocorrências de alagamentos, devido a falhas na microdrenagem.

Os demais usos são pouco recorrentes, tem-se 6km² de massas de água e 6km² de solo exposto sem nenhum tipo de cobertura, cada um representa 2% do total, para ambos são atribuídos altos pesos em relação a sua influência no modelo de suscetibilidade de inundação. A distribuição de cada uso pode ser observado na Figura 16, onde está representado em uma escala de 1:155.000 e o tamanho do *pixel* de 30x30m.

Figura 16 - Mapa de usos do solo da área de estudo



Fonte: Autora, 2016.

4.3 MODELO AHP

A suscetibilidade de ocorrer inundação devido às características ambientais foi dividida em cinco classes, sendo elas: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta, conforme apresenta o Quadro 4.

Quadro 4 - Classes de suscetibilidade

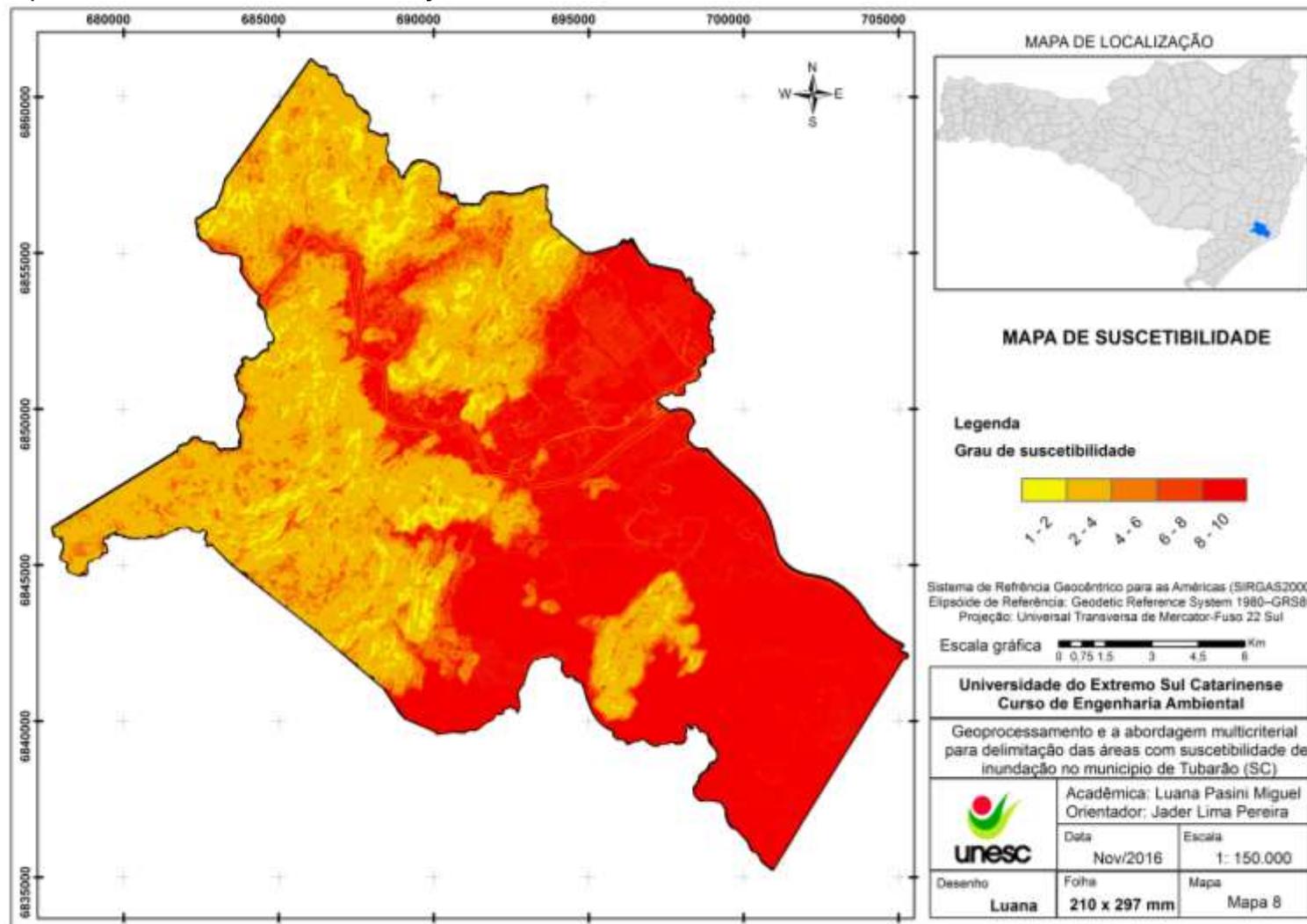
| Classes | Intervalo | Área (km²) | Percentual (%) |
|--------------------|------------------|------------------------------|-----------------------|
| Muito baixa | 1 - 2 | 16,13 | 5,34 |
| Baixa | 2 - 4 | 103,12 | 34,17 |
| Média | 4 - 6 | 30,24 | 10,02 |
| Alta | 6 - 8 | 24,20 | 8,02 |
| Muito alta | 8 - 10 | 128,78 | 42,44 |

Fonte: Autora, 2016.

As classes estão associadas ao grau de suscetibilidade que o modelo considera, variam entre 1 e 10, quando mais próximo de 10 maior a predisposição a ocorrência do evento. Analisando os dados da área de estudo, apresentou 42,44% da sua extensão como área de grau muito alto de suscetibilidade. As áreas de grau de alta suscetibilidade representam 8,02%. Com uma suscetibilidade média foram 30,24km², correspondente a 10,02% da área. Com baixa e muito baixa suscetibilidade tem-se 34,17 e 5,34% respectivamente. A distribuição destas áreas pode ser analisada na Figura 17.

Essencialmente as características morfométricas de extensas áreas de baixas altitudes e relevo plano foram determinantes da suscetibilidade de inundação que cerca de 50% do município está exposto, isso ocorre por que conforme Prochmann (2014) apresentam a maneira como ocorre a infiltração e escoamento da água da chuva, especialmente em eventos de precipitação máxima. Associado a isso se tem as classes de cobertura do solo e pedologias que em menores proporções também influenciam os eventos. Isso por que em geral, o município apresenta vastas áreas com baixo escoamento superficial, baixa infiltração e ainda, nas áreas mais baixas incluindo o bairro da Madre, a influência da maré. O mapa a seguir (Figura 17) demonstra o arranjo de áreas suscetíveis para a área de estudo com *pixel* de 5x5m.

Figura 17 - Mapa de suscetibilidade de inunda o da área de estudo



Fonte: Autora, 2016.

Conforme o mapa de suscetibilidade ambiental gerado a partir do método de análise hierárquica multicriterial, observa-se que as áreas de muito alta suscetibilidade estão voltadas principalmente para a região sudeste da área de estudo, onde a altimetria e declividade que são os fatores mais influentes no modelo, apresentam seus valores muito baixos. A mesma característica é apresentada nos trabalhos de Magalhães et al. (2011) e Prochmann (2014). Observa-se o predomínio de 83,18% de declividade inferior a 3%, e 15,68% para a declividade entre 3 e 8%. A altitude de até 5m aparece em 83,18% das áreas com alta suscetibilidade.

Quanto à pedologia, os GLEISSOLOS que apresentam maior influência sobre a suscetibilidade, aparecem em 46,50% da área, os demais grupos pedológicos apresentam proporções relativamente homogêneas.

Os usos variaram entre todas as classes, destacando os 46,41 e 33,30% da agricultura e vegetação herbácea, respectivamente. A área que cada classe apresenta nos níveis de suscetibilidade podem ser analisadas com maior detalhe no Apêndice A.

É importante ressaltar que apesar da área urbana estar associada ao alto nível de suscetibilidade de inundação, tem-se associada a ela, maiores problemas recorrentes de alagamentos do que de inundações. O Rio Tubarão que está relacionado em grande parte, às inundações desta área, apresenta uma cota relativamente superior à área construída, havendo seu transbordamento somente em eventos de maiores proporções. Deve-se destacar a falha no planejamento da microdrenagem e do crescimento urbano de Tubarão. A partir das perspectivas atuais, estes danos causados pelos alagamentos só podem ser minimizados ou evitados por meio de medidas estruturais, que otimize a rede de drenagem urbana implantada.

Na classe de alta suscetibilidade, têm-se as cotas altimétricas mais distribuídas que a classe de muito alta suscetibilidade. As cotas com até 5m e de 5 a 15m, representam 35,79 e 38,30% da área, respectivamente. Observou-se ainda o aumento da presença da terceira classe altimétrica, de 15 a 50m, com 12,57% da área. A declividade predominante foi a levemente ondulada, de 3 a 8% de inclinação, com 49,11%, seguido pela ondulada com 35,63% da área. Relacionada às áreas mais onduladas apresentadas na classe, tem-se os ARGISSOLOS com maior evidencia, presente em 35,85% da área e a vegetação herbácea com 42,47%

do território, seguido pelos usos urbanos e de cultivo ou agricultura, com 25,93 e 23,96%. Apesar dos usos serem predispostos a sofrerem inundação o fator usos dos solos é cinco vezes menos influente que a declividade e duas vezes menos influente do que a altimetria, isso leva a diminuir consideravelmente sua influência no modelo.

Em geral obteve-se uma relação inversa de quanto maior a altimetria e declividade, menor a suscetibilidade de inundação. A altimetria mais abrangente na classe de média suscetibilidade foi dentro da margem de 15 e 50m de cota, já na baixa suscetibilidade tem-se a faixa de 150 a 300m como a mais expressiva. O mesmo ocorre para a declividade, onde se observou 67,45% de terreno ondulado e 77,84% de terreno fortemente ondulado, para média e baixa suscetibilidade, na ordem apresentada.

Para as áreas de muito baixa suscetibilidade, onde, a partir dos eventos de chuvas máximas históricas, pode-se afirmar que a inundação é improvável, obteve-se o mesmo segmento das demais classes. As áreas de altitudes superiores a 150m somam juntas 82,66% da totalidade do território da classe, a declividade é em 86,64% montanhoso, levando em consideração que o município tem uma fração pequena de áreas fortemente montanhosas, mas que estas áreas estão totalmente inclusas na classe onde a probabilidade de inundação é praticamente nula. Associadas as áreas altas, tem-se a presença em 95,83% de CAMBISSOLOS, e uma cobertura vegetal em 97,25% de vegetação arbórea. Considerando a valoração entre as variáveis de uso do solo, declividade e altimetria a influência dos CAMBISSOLOS nessa classe fica praticamente nula. Isso ocorre porque a pedologia foi classificada entre os demais fatores como aquele que menos influência na suscetibilidade a inundação, o peso da declividade que é o principal fator chega a ser onze vezes maior, desta forma a classificação dos solos contribuirão pouco para o resultado.

4.4 INDICE KAPPA

O índice Kappa, como já era esperado, resultou em um valor relativamente baixo, 16% de aderência do modelo (Figura 8) sobre a mancha de inundação de maio de 2010 (Figura 3). A relação de omissão e inclusão das amostras estão explanadas na Tabela 10.

Tabela 10 – Índice Kappa

| Real / Modelo | Não inunda | Inunda | Inclusão do modelo |
|-----------------|------------|--------|--------------------|
| Não inunda | 243 | 35 | 12% |
| Inunda | 140 | 54 | 72% |
| Omissão do real | 36% | 39% | ÍNDICE KAPPA 16% |

Fonte: Autora, 2016.

Para o modelo, foram consideradas as classes de alta e muito alta suscetibilidade como as áreas de inundação. Assim, obteve-se 72% de inclusão de amostras que inundam sobre a mancha real de inundação de 2010, superestimando a mancha. Da forma que 35 das amostras da mancha real que inundam estão fora da área de inundação do modelo, ou seja, omissão de 39% do real sobre o modelo. Tem-se 12% de erro no modelo, ou seja, o modelo incluiu 12% de amostras que não inundaram, onde houve inundação, segundo as informações reais de campo. Esse percentual é preocupante quando tratar de zoneamentos.

O modelo de mapeamento das áreas com suscetibilidade proposto não teve um resultado satisfatório quando comparado ao evento de inundação de 2010. Em geral o modelo apontou uma abrangência territorial de suscetibilidade alta e muito alta 34,63% maior que as áreas atingidas, havendo uma superestimação da mancha. Entretanto as áreas inundadas reais estão aderidas entre as áreas de maior suscetibilidade, com valores em torno de 9,00, permitindo dizer que o modelo tem aplicabilidade, fornecendo em geral bons resultados. A mesma constatação pode ser observada no trabalho de Magalhães et al. (2011).

Destaca-se que o modelo teve resultados coerentes quando pensado para eventos de grandes proporções, como o de 1974. Logo, reconhece-se a necessidade de se calibrar o modelo para a avaliação de diferentes níveis gravidades dos eventos, de acordo com o histórico de eventos de cada região e características naturais da área.

Ressalta-se ainda que o modelo possa ser primordial sob as perspectivas de planejamento ambiental das cidades, permite fazer este estudo em condições de baixos custos, em curto período de tempo por uma equipe de trabalho reduzida. Pode ser utilizado para o planejamento territorial, como uma medida não estrutural e ainda subsidiar projetos estruturais que visam minimizar os impactos de ventos extremos de precipitação.

4.5 MEDIDAS DE GESTÃO DE ÁREAS COM RISCO DE INUNDAÇÃO

A gestão ao risco de inundação, associada às áreas com suscetibilidade de inundação, acontecem através da utilização de medidas de controle e prevenção da inundação, que visam tornar mínimo o risco da população, diminuindo os prejuízos causados (TUCCI, 2005).

Uma medida estrutural que já está sendo realizada pelo município de Tubarão é um projeto de Macrodrenagem, que consiste em redirecionar o fluxo da água da chuva, impedindo a inundação do leito maior do rio, suprindo as deficiências ambientais geradas na área.

As medidas não estruturais em geral são menos onerosas, no entanto junto a elas sempre são necessárias medidas estruturais. O conhecimento das áreas passíveis de inundação é um ponto de partida para diversas medidas ou ações que visem minimizar os efeitos de eventos extremos de precipitação. Um deles é a estruturação das zonas de usos da cidade a partir do mapa de suscetibilidade, estes mapas devem apresentar também o grau de risco e os critérios de ocupação das mesmas, bem como, os aspectos construtivos. Direcionando para os locais com maior suscetibilidade para as atividades que não sofram graves perdas durante os eventos, como exemplo, a pecuária. Enquanto a população tem conhecimento para construir seu patrimônio em áreas mais seguras.

Outra medida é o mapeamento de alerta, que permite que a população conheça as cotas de inundação de cada local de acordo com o regime pluviométrico previsto para o evento.

Uma política pública que pode partir do mapeamento das áreas com suscetibilidade de inundação, é o Plano de Contingência que orienta os processos de preparação e resposta às emergências por desastres naturais. Os abrigos e rotas de circulação que fazem parte do Plano de Contingência, também podem ser delimitados a partir do conhecimento da dinâmica de inundações de cada local.

Em geral, ocorre a falta de uma política de monitoramento e controle das inundações, mas na realidade existe uma série de medidas que podem reduzir significativamente as perdas, danos e prejuízos nas cidades. As medidas podem ser mais ou menos onerosas, mas são passíveis de serem adotadas de acordo com as características de cada local.

5 CONCLUSÃO

O planejamento ambiental surgiu para promover um ambiente sadio e equilibrado entre o homem e a natureza, que garanta a qualidade de vida da população e seu desenvolvimento sustentável. Mais recentemente percebe-se uma maior preocupação dos gestores públicos em relação ao meio ambiente e sua relação com a sociedade. No entanto, ainda existe uma grande necessidade de explorar e conhecer o ambiente e suas particularidades, para que se possa ter um resultado eficiente, seja adotando medidas estruturais ou não estruturais.

A população de Tubarão vêm sofrendo ao longo de muitos anos frente às ocorrências de inundações, que geram perdas e prejuízos, além dos problemas sociais envolvidos. O estudo realizado no presente trabalho permitiu uma discussão inicial dos quadros de suscetibilidade de inundação do município, com o intuito de agregar diretrizes às discussões de planejamento ambiental, visando promover qualidade de vida para a população.

A utilização do SIG foi uma importante ferramenta de trabalho e se mostrou eficiente para esse tipo de estudo. Possibilitou a geração, integração e análise de uma série de informações de diversas fontes em um curto período de tempo. Trata-se de um instrumento essencial para o estudo do ambiente e constatação de áreas com suscetibilidade. Da mesma forma a técnica de Análise Hierárquica Multicriterial utilizada para a determinação dos pesos das variáveis influentes no processo de inundação, se mostrou satisfatório, pois simplificou o estudo por meio de números, reduzindo o problema proposto, diminuindo os erros por julgamento durante o processo.

O estudo mostrou que por meio da integração de dados espaciais é possível obter uma melhor mensuração das informações. O geoprocessamento ainda é uma ferramenta pouco infundida, mas que tem uma potência enorme para a efetivação do planejamento ambiental das cidades, transforma uma série de dados em informações de apoio a decisão, de maneira rápida, acessível e com um custo relativamente baixo. A está técnica, se sobressai à importância de se ter um técnico capacitado para a geração e manipulação destas ferramentas, de maneira a não desconfigurar a realidade.

Pode-se dizer que este trabalho é o ponto de partida para várias discussões referentes à utilização do método AHP e também às áreas de suscetibilidade a inundações apresentadas pelo modelo. Salienta-se que a metodologia proposta neste trabalho é usualmente utilizada para mapeamentos com menores detalhamentos, de modo que os resultados obtidos reafirmaram isto. Para um detalhamento maior considera-se a necessidade de conhecer previamente as áreas com histórico de inundações, partindo das características destas áreas para a classificação e valoração das variáveis ambientais. Da mesma forma que é relevante conhecer a finalidade do estudo, apontando quanto é necessário o grau de detalhamento.

Os objetivos deste trabalho foram alcançados, de modo que foi organizado uma base cartográfica de diversas temáticas; o levantamento de campo dos pontos inundados em maio de 2010 também foi realizado, resultando no mapa de inundações do evento; o mapa de uso do solo também foi elaborado; definiu-se os critérios ambientais relevantes para o modelo, também a adoção de pesos hierárquicos; a partir do levantamento de 2010 foi possível verificar a validação do mapa de suscetibilidade resultante; a proposição de medidas de gestão foi feita de modo a instigar a discussão de ações voltadas ao planejamento destas áreas.

O resultado do trabalho mostra a necessidade de se considerar as áreas com suscetibilidade de inundações como requisito fundamental do Plano Diretor de Tubarão. O trabalho visa levantar a importância de planejar o ordenamento das cidades e dos projetos de saneamento para que se diminua ou cesse as perdas e prejuízos decorrentes das inundações.

Para tanto se recomenda o estudo detalhado de eventos extremos de precipitação, de forma a avaliar os critérios ambientais adotados, bem como sua classificação e valoração. De forma a gerar resultados de acordo com as proporções dos eventos ocorridos ao longo da história. Mais diretamente relacionado à área de estudo, recomenda-se o estudo da influência da maré sobre as áreas com recorrentes inundações.

REFERÊNCIAS

ALHEIROS, M. M. O Plano Municipal de Redução de Riscos. In: Guia para Elaboração de Políticas Municipais – Prevenção de Riscos de Deslizamento de Encostas. Brasília, 2006, Ministério das Cidades. Cap. 5, p. 58-76.

AMARAL, R. do; RIBEIRO, R. Inundações e Enchentes. In: TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Org.). **Desastres naturais: Conhecer para Prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. p. 41-52.

BORGES, M. P. et al. Utilização de técnicas de geoprocessamento para a elaboração de cotas de inundações: estudo de caso do parque ecológico do rio Paranaíba. In: XVII Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto - SBSR, 17. 2015, João Pessoa. **Anais....** João Pessoa: Inpe, 2015. p. 5897 - 5903. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p1215.pdf>>. Acesso em: 09 ago. 2016.

BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado, 1988.

BRASIL. Decreto nº 5.334, de 6 de janeiro de 2005. **Estabelece as Instruções reguladoras das normas técnicas da cartografia nacional**. Brasília, Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2005/Decreto/D5334.htm>. Acesso em: 02 set. 2016.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007. **Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico**. Brasília, DF. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm>. Acesso em: 06 set. 2016.

BRASIL. Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. **Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC)**. Brasília, Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12608.htm>. Acesso em: 02 set. 2016.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos**. Brasília, DF. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm>. Acesso em: 06 set. 2016.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Instrumentos de Planejamento**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/planejamento-ambiental-urbano/instrumentos-de-planejamento>>. Acesso em: 07 set. 2016.

BRASIL. Resolução nº 01, de 25 de fevereiro de 2005. **Altera a caracterização do sistema geodésico brasileiro**. Brasília, DF. Disponível em: <http://www.inde.gov.br/images/inde/rpr_01_25fev2005.pdf>. Acesso em: 04 set. 2016.

CAJAZEIRO, J. M. D. **Análise da susceptibilidade à formação de inundações**

nas bacias e áreas de contribuição do Ribeirão Arrudas e Córrego da Onça em termos de índices morfométricos e impermeabilização. 2012. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Departamento de Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2012.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. Geoprocessamento para Projetos Ambientais. In: Congresso e Feira para Usuários de Geoprocessamento da América Latina–GIS Brasil 99, 5, 1999, Salvador. **Anais...** Salvador: UFBA, 1999.

CAMPOS DO JORDÃO. Plano Municipal de Redução de Risco (PMRR) de Campos de Jordão. Osasco: 2006. 153 p.

CARDOZO, F. S.; HERRMANN, M. L. P. Uso da técnica AHP no mapeamento de áreas suscetíveis a escorregamentos. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 15. 2011, Curitiba. **Anais.... Curitiba:** Inpe, 2011. p. 4134 - 4141. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p0656.pdf>>. Acesso em: 02 set. 2016.

CASSILHA, G. A.; CASSILHA, S. A. **Planejamento Urbano e Meio Ambiente.** Curitiba: lesde Brasil S.A., 2009. 176 p. Disponível em: <<http://www.ceap.br/material/MAT30042013134121.pdf>>. Acesso em: 02 set. 2016.

CASTRO, C. M. de; PEIXOTO, M. N. O.; RIO, G. A. P do. Riscos Ambientais e Geografia: Conceituações, Abordagens e Escalas. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 28, p.11-30, out. 2005. Disponível em: <http://www.anuario.igeo.ufrj.br/anuario_2005/Anuario_2005_11_30.pdf>. Acesso em: 02 set. 2016.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações.** 2016. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Geologia-de-Engenharia-e-Riscos-Geologicos/Cartas-de-Suscetibilidade-a-Movimentos-Gravitacionais-de-Massa-e-Inundacoes-3507.html#santacatarina>>. Acesso em: 05 set. 2016.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil.** 2000. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Geologia/Geologia-Basica/Projeto-Criciuma-402.html>>. Acesso em: 09 set. 2016.

CRISTO, S. S. V. de. **Análise de susceptibilidade a riscos naturais relacionados às enchentes e deslizamentos do setor leste da bacia hidrográfica do rio Itacorubi, Florianópolis - SC.** 2002. 195 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Departamento de Geociências do Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Florianópolis, 2002. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/82704/188467.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 05 set. 2016.

ECKHARDT, R. R. **Geração de modelo cartográfico aplicado ao mapeamento das áreas sujeitas às inundações urbanas na cidade de Lajeado/ RS.** 2008. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Sensoriamento Remoto, Centro Estadual de

Pesquisas em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/srm/ppgsr/publicacoes/Dissert_RafaelEckhardt.pdf>. Acesso em: 01 ago. 2016.

EMBRAPA. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento n.46: Solos do Estado de Santa Catarina**. Rio de Janeiro: do Autor, 2004. 721 p. Disponível em: <[file:///C:/Users/Usuario/Downloads/BPD-46-2004-Santa-Catarina-%20\(5\).pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/BPD-46-2004-Santa-Catarina-%20(5).pdf)>. Acesso em: 10 set. 2016.

EMBRAPA. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo**. 10. ed. Rio de Janeiro: Snlcs, 1979. 83 p. Disponível em: <http://library.wur.nl/isric/fulltext/isricu_i00006739_001.pdf>. Acesso em: 15 set. 2016.

FLORIANOPOLIS. Plano Municipal de Redução de Risco (PMRR) de Florianópolis. Florianópolis: UFSC, 2007.

FONSECA, J. J. S. da. **Metodologia da pesquisa científica**. Ceará: Universidade Estadual do Ceará, 2002. 127 p. Disponível em: <<http://www.ia.ufrj.br/ppgea/conteudo/conteudo-2012-1/1SF/Sandra/apostilaMetodologia.pdf>>. Acesso em: 08 ago. 2016.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. (Org.). **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009. 120 p.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Editora Atlas S.a., 2002. 175 p.

HARDT-ENGEMIN. **Plano Diretor Municipal de Tubarão**. Pinhais: 2010.

HONDA, S. C. A. L. et al. Planejamento ambiental e ocupação do solo urbano em Presidente Prudente (SP). **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, São Paulo, v. 1, n. 7, p.62-73, jan. 2015. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/urbe/v7n1/2175-3369-urbe-7-1-0062.pdf>>. Acesso em: 02 set. 2016.

HORA, S. B. da; GOMES, R. L. Mapeamento e avaliação do risco a inundação do rio cachoeira em trecho da área urbana do município de Itabuna/BA. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 21, n. 2, p.57-75, ago. 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1982-45132009000200005>. Acesso em: 01 ago. 2016.

IBGE. **Censo Demográfico 2010**. Tubarão. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/painel/populacao.php?lang=&codmun=421870&search=%7Ctubarao>>. Acesso em: 08 set. 2016.

IBGE. **Frequently Asked Questions**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/pmrg/faq.shtm#3>>. Acesso em: 05 set. 2016.

- IBGE. **Mudança do Referencial Geodésico**. 2005. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/noticia_sirgas.shtml>. Acesso em: 08 set. 2016.
- IBGE; EPAGRI. **Mapas Digitais de Santa Catarina**. 2004. Disponível em: <http://ciram.epagri.sc.gov.br/mapoteca/pre_download_mapa_shp.jsp>. Acesso em: 14 set. 2016.
- INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS (Rio Grande do Sul). **Plano Municipal de Macrodrenagem de Tubarão-SC**: Plano de Trabalho Consolidado. Porto Alegre: 2016. 63 p.
- IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios. Brasília: 2007. Disponível em: <http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNPU/Biblioteca/PrevencaoErradicacao/Livro_Mapeamento_Enconstas_Margens.pdf>. Acesso em: 03 ago. 2016.
- LINDMAN, C. A. M. **A vegetação no Rio Grande do Sul**. Universal, Porto Alegre. 1906.
- MACEDO, E. S. de; OGURA, A. T. I; SANTORO, J. O que é um Plano de Contingência ou Preventivo de Defesa Civil. In: CIDADES, Ministério das. **Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas**: Guia para Elaboração de Políticas Municipais. Brasília: Cities Alliance, 2006. p. 78-91.
- MACEDO, E. S. de; BRESSANI, L. A. (Coords). **Diretrizes para o zoneamento da suscetibilidade, perigo e risco de deslizamentos para planejamento do uso do solo**. São Paulo: ABGE, 2013. 88 p.
- MAGALHÃES, I. A. L. et al. Uso de geotecnologias para mapeamento de áreas de risco de inundação em Guaçuí: uma análise comparativa entre dois métodos. **Cadernos de Geociências**. Espírito Santo, nov. 2011. p. 63-70. Disponível em: <<http://www.portalseer.ufba.br/index.php/cadgeoc/article/view/5288/4036>>. Acesso em: 08 ago. 2016.
- MARCHIORI, D. G.; SANTORO, F. J. Gerenciamentos de desastres naturais. In: TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Org.). **Desastres naturais**: Conhecer para Prevenir. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. p. 161-178.
- MATHIAS, R. V.; VARELLA, L.; GONÇALVES, M. B. Análise da situação atual do município de Tubarão/SC em resposta a enchentes: Comparação com a enchente de 1974. In: XXIX Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte da ANPET, 14, 2015, Ouro Preto. **Anais....** Ouro Preto: Anpet, 2015. p. 437 - 449. Disponível em: <<http://www.anpet.org.br/xxixanpet/anais/documents/AC846.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2016.
- MATTOS, C.; MIRANDA, E. E. de. GIS para o meio ambiente: Aplicações no Nordeste do Brasil. In: Encontro de Usuários de Geoprocessamento do Brasil, 1., 1997, Recife. 1997. p. 1 - 15. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/17185/1/1337.pdf>>. Acesso

em: 02 set. 2016.

PARANHOS FILHO, A. C.; LASTORIA, G.; TORRES, T. G. **Sensoriamento Remoto Ambiental Aplicado: Introdução as Geotecnologias**. Campo Grande: Ufms, 2008. 198 p.

PERROCA, M. G.; GAIDZINSKI, R. R. **Avaliando a confiabilidade interavaliadores de um instrumento para classificação de pacientes - coeficiente Kappa**. São Paulo: Usp, v. 37, n. 1, 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/reeusp/v37n1/09.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2016.

PINA, M. de F. de; SANTOS, S. M. **Conceitos básicos de Sistemas de Informação Geográfica e Cartografia aplicados à saúde**. Brasília: Opas, 2000. 122 p. Disponível em: <http://www.bvsde.paho.org/cursode/fulltext/Livro_cartog_SIG_saude.pdf>. Acesso em: 08 set. 2016.

PINHEIRO, M. R. de C. et al. Geoprocessamento aplicado à gestão dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do Rio Macaé-RJ. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14. 2009, Natal. **Anais....** Natal: INPE, 2009. p. 4247 - 4254. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.18.00.53.42/doc/4247-4254.pdf>>. Acesso em: 02 set. 2016.

PINTO, R. C.; CANEPARO, S. C.; PASSOS, E. Avaliação Multicritério integrada aos Sistemas de Informações Geográficas para geração de cenário de suscetibilidade a deslizamentos rápidos em vertentes. In: SANTOS, José Gomes dos et al. **Atas das I Jornadas Lusófonas de Ciências e Tecnologias de Informação Geográfica**. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra, 2015. p. 1-23.

PISANI, M. A. J.; BRUNA, G. C. How To Minimize Urban Flooding: Permissible Architecture And Urban Planning. **Engevista**, Sem Cidade, v. 13, n. 1, p.40-45, maio 2011. Disponível em: <<http://www.uff.br/engevista/seer/index.php/engevista/article/viewArticle/330>>. Acesso em: 02 set. 2016.

PRINA, B. Z.; TRENTIN, R. GMC: Geração de Matriz de Confusão a partir de uma classificação digital de imagem do ArcGIS®. In: XVII Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto - SBSR, 17. 2015, João Pessoa. **Anais....** João Pessoa: Inpe, 2015. p. 131 - 138. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p0031.pdf>>. Acesso em: 08 set. 2016.

PRINA, B. Z.; TRENTIN, R.; BENEDETTI, A. C. P. AVACIM - Avaliador de Classificação de Imagens. Disponível em: <http://www.cartografia.org.br/cbc/trabalhos/4/201/CT04-6_1401799055.pdf>. Acesso em: 25 set. 2016.

PROCHMANN, J. R. **Análise espacial da susceptibilidade à inundações na bacia hidrográfica do córrego grande, Florianópolis – SC**. 2014. 86 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Santa

Catarina, Florianópolis, 2014. Disponível em:
<<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/131751>>. Acesso em: 02 ago. 2016.

RÉUS, M. S. **Análise do conflito de uso do solo como ferramenta para o planejamento ambiental empregando técnicas de geoprocessamento**: Estudo de caso: Lagoa do Faxinal, Içara, SC. 2010. 129 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2010. Disponível em:
<<http://www.bib.unesc.net/biblioteca/sumario/00004D/00004D03.pdf>>. Acesso em: 04 set. 2016.

ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento**: tecnologia transdisciplinar. Juiz de Fora: Ed. do Autor, 2000. 220 p.

ROSA, R. **Introdução ao Geoprocessamento**. Uberlândia: Editora da Ufu, 2013. 142 p. Disponível em:
<http://professor.ufabc.edu.br/~flavia.feitosa/cursos/geo2016/AULA5-ELEMENTOSMAPA/Apostila_Geop_rosa.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2016.

SAATY, T. L. How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. **European Journal Of Operational Research**. North Holland, p. 9-26. jan. 1990. Disponível em:
<<https://www.ida.liu.se/~TDDD06/literature/saaty.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2016.

SAATY, T. L. How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. **European Journal Of Operational Research**. North Holland, p. 9-26. jan. 1990. Disponível em:
<<https://www.ida.liu.se/~TDDD06/literature/saaty.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2016.

SANTOS, A. R. dos; LOUZADA, F. L. R. de O.; EUGÊNIO, F. C. **ARCGIS 9.3 Total**: Aplicações para dados espaciais. Alegre: Caufes, 2010. Disponível em:
<http://www.mundogeomatica.com.br/Livros/Livro_ArcGIS9.3_Aplicacoes_Para_Dados_Espaciais/Livro_ArcGIS93_Total.pdf>. Acesso em: 09 ago. 2016.

SANTOS, J. de O. Relações entre fragilidade ambiental e vulnerabilidade social na susceptibilidade aos riscos. **Mercator**, Fortaleza, v. 14, n. 2, p.75-90, ago. 2015. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/mercator/v14n2/1984-2201-mercator-14-02-0075.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2016.

TUBARÃO, Secretaria de Proteção e Defesa Civil. **Plano de Contingência Municipal de Proteção e Defesa Civil**. 2014. Disponível em:
<<http://www.tubarao.sc.gov.br/cms/pagina/ver/codMapaltem/54242>>. Acesso em: 15 ago. 2016.

TUBARÃO. Decreto nº 1.762, de 03 de fevereiro de 1997. **Declara situação de emergência em todo o território do Município**. Tubarão. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a/sc/t/tubarao/decreto/1997/177/1762/decreto-n-1762-1997-declara-situacao-de-emergencia-em-todo-territorio-do-municipio?q=1762>>. Acesso em: 20 set. 2016.

TUBARÃO. Decreto nº 2.004, de 04 de fevereiro de 2001. **Declara em situação**

anormal, caracterizada como situação de emergência, a área do município afetada por enchente. Tubarão. Disponível em: <
<https://leismunicipais.com.br/a/sc/t/tubarao/decreto/2010/269/2689/decreto-n-2689-2010-declara-em-situacao-anormal-caracterizada-como-situacao-de-emergencia-a-area-do-municipio-afetada-por-enchente?q=2689>>. Acesso em: 20 set. 2016.

TUBARÃO. Decreto nº 2.054, de 02 de outubro de 2001. **Declara em situação anormal, caracterizada como situação de emergência, a área do município afetada por enchente.** Tubarão. Disponível em: <
<https://leismunicipais.com.br/a/sc/t/tubarao/decreto/2001/206/2054/decreto-n-2054-2001-declara-em-situacao-anormal-caracterizada-como-situacao-de-emergencia-a-area-do-municipio-afetada-por-enchente?q=2054>>. Acesso em: 20 set. 2016.

TUBARÃO. Decreto nº 2.284, de 14 de setembro de 2004. **Declara em situação anormal áreas do território do município, caracterizada como situação de emergência.** Tubarão. Disponível em: <
<https://leismunicipais.com.br/a/sc/t/tubarao/decreto/2004/229/2284/decreto-n-2284-2004-declara-em-situacao-anormal-areas-do-territorio-do-municipio-caracterizada-como-situacao-de-emergencia?q=2284> >. Acesso em: 20 set. 2016.

TUBARÃO. Decreto nº 2.599, de 07 de janeiro de 2009. **Declara em situação anormal, caracterizada como situação de emergência, áreas do município afetadas por enxurradas e inundações bruscas.** Tubarão. Disponível em: <
<https://leismunicipais.com.br/a/sc/t/tubarao/decreto/2009/260/2599/decreto-n-2599-2009-declara-em-situacao-anormal-caracterizada-como-situacao-de-emergencia-areas-do-municipio-afetadas-por-enxurradas-e-inundacoes-bruscas?q=2599>>. Acesso em: 20 set. 2016.

TUBARÃO. Decreto nº 2.689, de 12 de maio de 2010. **Declara em situação anormal, caracterizada como situação de emergência a área do município afetada por enchente.** Tubarão. Disponível em: <
<https://leismunicipais.com.br/a/sc/t/tubarao/decreto/2010/269/2689/decreto-n-2689-2010-declara-em-situacao-anormal-caracterizada-como-situacao-de-emergencia-a-area-do-municipio-afetada-por-enchente?q=2689>>. Acesso em: 20 set. 2016.

TUBARÃO. Decreto nº 267, de 24 de março de 1974. **Declara estado de calamidade pública em todo o município de Tubarão.** Tubarão. Disponível em: <
<https://leismunicipais.com.br/a/sc/t/tubarao/decreto/1974/27/267/decreto-n-267-1974-declara-o-estado-de-calamidade-publica-em-todo-o-municipio-de-tubarao?q=267>>. Acesso em: 20 set. 2016.

TUBARÃO. Lei nº 87, de 2013. **Dispõe sobre O Zoneamento do uso e ocupação do solo urbano de Tubarão e da outras providências.** Disponível em: <
<https://leismunicipais.com.br/plano-de-zoneamento-uso-e-ocupacao-do-solo-tubarao-sc>>. Acesso em: 10 set. 2016.

TUBARÃO. Secretaria Municipal de Proteção e Defesa Civil. **Situação de Emergência:** Evento: Enchentes ou inundações graduais. Período: 08.05.2010 à 12.05.2010. Tubarão: PMT, 2010.

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 63, n. 22, p.97-112, jun. 2008. Disponível em:
<<http://www.revistas.usp.br/eav/article/view/10295/11943>>. Acesso em: 02 set. 2016.

TUCCI, C. E. M. Aspectos institucionais do controle das inundações urbanas. In: I Seminário De Recursos Hídricos Do Centro- OESTE, 1. 1999, Brasília. **Artigo**. Brasília: 1999. p. 1 - 16. Disponível em:
<<http://rhama.net/download/artigos/artigo9.pdf>>. Acesso em: 02 set. 2016.

TUCCI, C. E. M. Inundações Urbanas. In: TUCCI, Carlos E. M.; PORTO, Rubem La Laina; BARROS, Mário T de (Org.). **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 1995. Cap. 1. p. 1-29.

TUCCI, C. E. M. **Gestão das inundações urbanas**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2005. 197 p.

TUCCI, C. E. M. Água no Meio Urbano. In: **Livro Água Doce**. Porto Alegre: 1997. p. 1-40. Disponível em:
<http://www.pec.poli.br/sistema/material_disciplina/fotos/águanomeio_urbano.pdf>. Acesso em: 02 set. 2016.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA (UFSC). Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991 a 2012. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. 2. ed. rev. ampl. – Florianópolis: CEPED UFSC, 2013.168 p. Disponível em:
<<http://150.162.127.14:8080/atlas/atlas2.html>>. Acesso em: 07 set. 2016.

ZAHED FILHO, K.; MARTINS, J. R. S.; PORTO, M. F. do A. Inundações Urbanas. In: **COLEÇÃO ÁGUAS URBANAS**, 3. 2012, São Paulo. Fascículo. São Paulo: USP, 2012. p. 1 - 21. Disponível em:
<http://www.pha.poli.usp.br/LeArq.aspx?id_arq=6148>. Acesso em: 03 set. 2016.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Quantitativo das classes influentes a suscetibilidade de inundação

| Classes | Pesos | Muito Baixa | | Baixa | | Média | | Alta | | Muito Alta | | |
|---------------|--------------------|-------------|-------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|------------|--------|-------|
| | | Área (Km²) | % | Área (Km²) | % | Área (Km²) | % | Área (Km²) | % | Área (Km²) | % | |
| Altimetria | 0,1 – 5,00 | 10 | 0.62 | 3.82 | 0.01 | 0.01 | 1.09 | 3.59 | 8.66 | 35.80 | 106.55 | 83.19 |
| | 5,01 – 15,0 | 8 | 0.04 | 0.27 | 0.05 | 0.05 | 5.20 | 17.19 | 9.27 | 38.31 | 20.34 | 15.88 |
| | 15,01 – 50,0 | 5 | 0.04 | 0.25 | 1.98 | 1.92 | 9.24 | 30.54 | 3.04 | 12.57 | 1.19 | 0.93 |
| | 50,01 – 150,0 | 2 | 2.10 | 13.00 | 26.58 | 25.77 | 6.45 | 21.31 | 1.31 | 5.41 | 0.00 | 0.00 |
| | 150,01 – 300,0 | 1 | 10.20 | 63.22 | 48.74 | 47.27 | 4.54 | 15.01 | 1.07 | 4.42 | 0.00 | 0.00 |
| | > 300,01 | 1 | 3.14 | 19.45 | 25.77 | 24.99 | 3.74 | 12.36 | 0.84 | 3.49 | 0.00 | 0.00 |
| Declividade | 0 – 3% | 10 | 0.44 | 2.81 | 0.03 | 0.03 | 0.22 | 0.74 | 3.40 | 14.05 | 106.53 | 83.17 |
| | 3 – 8% | 8 | 0.09 | 0.58 | 0.32 | 0.31 | 2.66 | 8.78 | 11.89 | 49.11 | 20.09 | 15.68 |
| | 8 – 20% | 5 | 0.19 | 1.22 | 13.40 | 13.00 | 20.40 | 67.45 | 8.63 | 35.64 | 1.41 | 1.10 |
| | 20 – 45% | 3 | 0.86 | 5.53 | 80.28 | 77.85 | 6.77 | 22.39 | 0.28 | 1.15 | 0.04 | 0.03 |
| | 45 – 75% | 1 | 13.48 | 86.65 | 9.00 | 8.73 | 0.16 | 0.53 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.00 |
| | >75% | 1 | 0.50 | 3.21 | 0.08 | 0.08 | 0.03 | 0.10 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.01 |
| Solos | CAMBISSOLOS | 10 | 14.59 | 95.83 | 73.03 | 70.82 | 12.98 | 42.91 | 6.56 | 27.07 | 27.75 | 21.65 |
| | ARGISSOLOS | 4 | 0.25 | 1.62 | 27.60 | 26.76 | 13.99 | 46.25 | 8.68 | 35.86 | 18.14 | 14.15 |
| | ORGANOSSOLOS | 8 | 0.12 | 0.76 | 0.44 | 0.43 | 0.64 | 2.11 | 4.41 | 18.20 | 22.67 | 17.69 |
| | GLEISSOLOS | 1 | 0.27 | 1.79 | 2.06 | 2.00 | 2.64 | 8.73 | 4.57 | 18.87 | 59.60 | 46.50 |
| Uso dos solos | Vegetação arbórea | 1 | 14.56 | 97.26 | 72.41 | 70.22 | 4.03 | 13.31 | 0.93 | 3.84 | 0.37 | 0.29 |
| | Vegetação herbácea | 8 | 0.25 | 1.68 | 26.08 | 25.29 | 17.54 | 58.01 | 10.28 | 42.48 | 42.66 | 33.30 |
| | Solo exposto | 7 | 0.01 | 0.04 | 1.21 | 1.17 | 0.83 | 2.75 | 0.34 | 1.42 | 3.97 | 3.10 |
| | Área urbana | 10 | 0.02 | 0.14 | 2.33 | 2.26 | 5.98 | 19.76 | 6.28 | 25.94 | 17.37 | 13.56 |
| | Agricultura | 5 | 0.02 | 0.13 | 1.07 | 1.04 | 1.17 | 3.85 | 5.80 | 23.96 | 59.45 | 46.41 |
| | Massa d'água | 6 | 0.11 | 0.75 | 0.02 | 0.02 | 0.70 | 2.31 | 0.57 | 2.36 | 4.28 | 3.34 |

Fonte: Autora, 2016.

