

JAKCEMARA CAPRARIO

**DESENVOLVIMENTO DE UM INSTRUMENTO PARA O  
MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A ALAGAMENTOS  
E INUNDAÇÕES URBANAS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Alexandra Rodrigues Finotti.

Florianópolis  
2017

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Caprario, Jakcemara

Desenvolvimento de um Instrumento para o Mapeamento de  
Áreas Suscetíveis a Alagamentos e Inundações Urbanas /  
Jakcemara Caprario ; orientadora, Alexandra Rodrigues  
Finotti - Florianópolis, SC, 2017.

223 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Ambiental.

Inclui referências

1. Engenharia Ambiental. 2. Mapeamento de alagamentos e  
inundações urbanas. 3. Desenvolvimento de metodologia. 4.  
Método AHP-SIG. 5. Distrito do Campeche. I. Finotti,  
Alexandra Rodrigues. II. Universidade Federal de Santa  
Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental.  
III. Título.



**“Desenvolvimento de um Instrumento para o Mapeamento de Áreas Suscetíveis a Alagamentos e Inundações Urbanas”**

**JAKCEMARA CAPRARIO**

Dissertação submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de

**MESTRA EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

na Área de Engenharia Ambiental.

Aprovado por:

Prof.ª Alexandra Rodrigues Finotti, Dr.ª  
(Orientadora)

Prof.ª Nadia Bernardi Bonumá, Dr.ª

Prof. Cesar Augusto Pompéo, Dr.

Prof. Patricia Kazuo Uda, Dr.ª

Prof.ª Maria Eliza Nagel Hassemer, Dr.ª  
(Coordenadora)



*Todo esforço não teria sentido;  
Cada desafio não seria justificado;  
Todos os obstáculos não seriam vencidos;  
Cada vitória não seria comemorada;  
E cada passo dessa caminhada  
só foi possível por você*

**Guillermo Ney Caprario**



## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu esposo Guillermo, pelo incentivo, cumplicidade, companheirismo e compreensão em tantos momentos que estive ausente.

Aos meus pais Gladis e Inácio, por todo o amor, preocupação, cuidado e apoio nas horas de dificuldade e tristeza.

A todos os meus amigos e colegas do grupo de pesquisa, Aline, Alberto, Ígor, Kalil e Nivea, pelas horas de dedicação em baixo de chuva e sol, para a aplicação dos meus questionários.

Aos meus colegas de mestrado e doutorado, Eduardo, Elisa e Emanuela pelas conversas, trocas de ideias e muitas risadas.

À minha orientadora Profa. Dra. Alexandra Rodrigues Finotti, pelo aceite de orientação, me adotando mesmo tendo disponibilizado apenas duas vagas de mestrado. Obrigada pela oportunidade e confiança em mim depositadas.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental e à Universidade Federal de Santa Catarina, pela oportunidade de realizar o mestrado e pelo apoio intelectual e estrutural.

À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) por ter financiado meu estudo por meio da bolsa de mestrado.

E a todos aqueles que, de uma forma ou outra, contribuíram, direta ou indiretamente para a concretização de mais uma etapa da minha jornada.

**MUITO OBRIGADA!**



“A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo.”

(Albert Einstein)



## RESUMO

O crescimento desordenado das cidades vem ocasionando graves problemas aos sistemas de drenagem urbana, os quais são planejados e gerenciados pelas prefeituras municipais que, em virtude de restrições orçamentárias, infraestruturas precárias, pessoal sem qualificação técnica e prioridade de outros setores, acabam sendo preteridos pelos gestores públicos. Desta forma, faz-se necessário desenvolver instrumentos que atendam às características orçamentárias, de infraestrutura e, principalmente, de qualificação de pessoal demandadas pelas prefeituras municipais, auxiliando na identificação e gestão de áreas suscetíveis à ocorrência de alagamentos e inundações. Um destes instrumentos é o mapa de risco de ocorrência de inundações, considerado uma importante ferramenta de comunicação com a população. Com base no exposto, o presente estudo tem como objetivo o desenvolvimento de uma ferramenta que possa ser utilizada pelos gestores públicos, para mapear as áreas suscetíveis à ocorrência de alagamentos e inundações urbanas. Para atingir este objetivo, a pesquisa foi dividida em duas etapas, a primeira, composta pelo desenvolvimento do instrumento metodológico IMAAI e, a segunda, composta pela avaliação comparativa de desempenho do instrumento desenvolvido e de outra técnica já consagrada no mapeamento de áreas de inundação, o método AHP-SIG. Para a análise de desempenho, os instrumentos foram aplicados ao Distrito do Campeche, Florianópolis – SC, sendo posteriormente comparados com um mapa de pontos de alagamentos e inundações inventariado, construído com base em três fontes: levantamento de informações junto à população por meio de aplicação de questionários, levantamento de informações nos meios de comunicação local por meio de análise documental de jornais eletrônicos, televisionados e *sites* concentradores de notícias, e junto às secretarias e órgãos gestores da drenagem urbana do local de teste. Como resultado, foi produzido um instrumento metodológico simplificado e de baixo custo para o mapeamento de áreas suscetíveis à ocorrência de alagamentos e inundações urbanas, que poderá ser utilizado como ferramenta de apoio ao planejamento urbano e à gestão dos recursos hídricos. O instrumento desenvolvido apresentou um grau de acerto na ordem de 80% quando comparado com o mapa de pontos inventariados, valor considerado representativo, visto a metodologia não exigir profissionais com conhecimento especializado e nem condições de infraestrutura tecnológica avançada. Contudo, recomenda-se o ensaio do instrumento em outras áreas com propensão naturalmente baixa à ocorrência de alagamentos e inundações, a fim de obter um melhor ajuste na construção da escala de suscetibilidade, aferindo precisão à metodologia.

**Palavras-chave:** Inundações urbanas. SIG. Simulação. Mapeamento de alagamentos e inundações. Distrito do Campeche.

## ABSTRACT

The disorderly growth of cities has been causing serious problems in urban drainage systems, which it's planned and managed by municipal governments, which, due to budget constraints, poor infrastructure, personnel with no technical qualification and priority of other sectors, are left aside by public managers. In this way, it is necessary to develop instruments that meet the budgetary, infrastructure and mainly personnel qualification characteristics demanded by municipal municipalities, helping to identify and manage areas susceptible to waterlogging and flooding. One of these instruments is the flooding risk map, considered an important tool of communication with the population. Based on the foregoing, this study aims to develop a simplified and low cost methodological tool that can be used by public managers to map areas susceptible to waterlogging and urban flooding. To achieve this aim, the research was divided into two main stages, the first stage composed by the development of the IMAAI methodological instrument, and the second stage composed by the comparative performance evaluation of the instrument developed and another technique already established in the mapping of flooding areas, the AHP-SIG method. For the performance analysis, the instruments were applied in the Campeche District, and later compared to a map of waterlogging and flooding points, created of three sources: information collection with the population through the application of questionnaires, information collection in the local media through documentary analysis of electronic and televised newspapers, news sites, and together with the secretariats of urban drainage management of the test site. As result, a simplified and low cost methodological instrument was developed to map areas susceptible to waterlogging and urban flooding, which could be used as a tool to support urban planning and water resources management. The developed instrument presented a level of accuracy in the order of 80% when compared to the map of inventoried points, a value considered representative since the methodology doesn't require professionals with specialized knowledge or advanced technological infrastructure conditions. However, it is recommended to test the instrument in other areas with a naturally low propensity to waterlogging and flooding, in order to obtain a better adjustment in the construction of the susceptibility scale, assessing accuracy to the methodology.

**Keywords:** Urban flooding. GIS. Simulation. Waterlogging and flooding mapping. Campeche District.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processo de impacto da urbanização desordenada sobre a ocorrência dos eventos de alagamentos, enchentes e inundações urbanas. ....	35
Figura 2 – Estrutura genérica de hierarquização de fatores influentes no apoio à decisão de um problema. ....	45
Figura 3 – Esquema de captação e registro da energia refletida ou emitida pela superfície terrestre. ....	53
Figura 4 – Fluxograma da pesquisa utilizado para realizar o desenvolvimento e validação do IMAAI.....	76
Figura 5 – Interação entre os níveis de informação que compõem o instrumento proposto.....	78
Figura 6 – Localização da Ilha de Santa Catarina e do Distrito do Campeche.....	98
Figura 7 – Climograma dos dados médios mensais do período de 1961 a 1990 do Município de Florianópolis – SC. ....	100
Figura 8 – Variação média anual da radiação solar no Município de Florianópolis – SC, durante o período de 1995 a 2006. ....	101
Figura 9 – Mapa geológico do Distrito do Campeche - Florianópolis (SC). ....	103
Figura 10 – Classificação do tipo de solos do Distrito do Campeche. ....	104
Figura 11 – Exemplares da vegetação de Restinga no Distrito do Campeche.....	105
Figura 12 – Exemplares da vegetação do Mangue do Rio Tavares.....	105
Figura 13 – Exemplares da vegetação Floresta Ombrófila Densa.....	106
Figura 14 – Rede hidrográfica do Distrito do Campeche.....	107
Figura 15 – Uso e ocupação do solo do Distrito do Campeche.....	110
Figura 16 – Modelo Digital de triangulação do Distrito do Campeche. ....	112
Figura 17 – Modelo Digital de Elevação do Distrito do Campeche....	113
Figura 18 – Faixas de declividade do Distrito do Campeche - Florianópolis (SC).....	114
Figura 19 – Rede de drenagem pluvial do Distrito do Campeche.....	116
Figura 20 – Sintetização dos fatores condicionantes utilizados em estudos de mapeamento de áreas suscetíveis a ocorrência de alagamentos e inundações. ....	121
Figura 21 – Escala de suscetibilidade à ocorrência de alagamentos e inundações.....	133
Figura 22 – Fluxograma de aplicação passo a passo da metodologia IMAAI.....	134

Figura 23 – Espacialização das estações meteorológicas na região da Grande Florianópolis. ....	137
Figura 24 – Distribuição do regime pluviométrico anual para o Distrito do Campeche.....	138
Figura 25 – Distribuição espacial das estruturas compensatórias de drenagem implantadas no Distrito do Campeche.....	141
Figura 26 – Escala de suscetibilidade à ocorrência de alagamentos e inundações. ....	142
Figura 27 – Suscetibilidade a alagamentos e inundações no Distrito do Campeche obtido por meio do IMAAI. ....	145
Figura 28 – Suscetibilidade a alagamentos e inundações no Distrito do Campeche obtido por meio do método AHP-SIG.....	151
Figura 29 – Frequência de reincidência dos eventos de alagamentos e inundações no Distrito do Campeche de acordo com os entrevistados. ....	155
Figura 30 – Altura da lâmina de água nos eventos ocorridos no Distrito do Campeche relatada pelos entrevistados.....	156
Figura 31 – Principal motivo da ocorrência de alagamentos e inundações no Distrito do Campeche relatado pelos entrevistados. ....	157
Figura 32 – Irregularidades identificadas no sistema de drenagem pluvial do Distrito do Campeche. ....	158
Figura 33 – Tipos de estruturas de drenagem urbana presentes nas áreas de ocorrência de alagamentos e inundações no Distrito do Campeche. ....	159
Figura 34 – Inventário das áreas frequentemente alagadas e inundadas no Distrito do Campeche.....	168
Figura 35 – Regionalização do Distrito do Campeche.....	168
Figura 36 – Inundações ocorridas no acesso da SC-405, entre a Servidão Elza May Farias e Posto de combustível Galo.....	171
Figura 37 – Pontos de alagamentos e inundações frequentes ocorridos na Região I do Distrito do Campeche, com zoom no acesso pela SC-405. ....	172
Figura 38 – Alagamentos ocorridos nas de acesso à Escola Engenho: Rua Valdomiro José Vieira, Travessa Liberdade e Rua Laureano.....	173
Figura 39 – Pontos de alagamentos e inundações frequentes ocorridos na Região II do Distrito do Campeche, com zoom nas ruas de acesso à Escola Engenho.....	174
Figura 40 – Alagamentos e inundações ocorridos nas Ruas Jardim dos Eucaliptos, Travessa Ibiza e Travessa Magnólia Branca. ....	176

Figura 41 – Pontos de alagamentos e inundações frequentes ocorridos na Região III do Distrito do Campeche, com zoom na região Areias do Campeche.....	177
Figura 42 – Ajuste nas notas dos fatores hidrografia, rede de drenagem e estruturas compensatórias. ....	181
Figura 43 – Ajuste dos intervalos da escala de suscetibilidade a ocorrência de alagamentos e inundações.....	182

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Escala de julgamento de critérios pré-definida por Saaty ...	46
Tabela 2 – Número de trabalhos em que cada instrumento é utilizado.	72
Tabela 3 – Valores de IR para matrizes quadradas de ordem n. ....	91
Tabela 4 – Classificação dos solos do Distrito do Campeche.....	103
Tabela 5 – Usos do solo do Distrito do Campeche. ....	111
Tabela 6 – Faixas de declividade do Distrito do Campeche. ....	114
Tabela 7 – Estações meteorológicas utilizadas para espacializar o regime pluviométrico anual do Distrito do Campeche.....	135
Tabela 8 – Série de dados de precipitação mensal e anual para a região da Grande Florianópolis.....	136
Tabela 9 – Relação dos tipos, localização e quantidade de estruturas compensatórias presentes no Distrito do Campeche.....	139
Tabela 10 – Faixas de suscetibilidade a alagamentos e inundações obtidas por meio do instrumento desenvolvido. ....	144
Tabela 11 – Faixas de suscetibilidade a alagamentos e inundações obtidos pelo método AHP-SIG. ....	153
Tabela 12 – Grau de acerto do mapeamento gerado pelo instrumento desenvolvido. ....	178
Tabela 13 – Grau de acerto do mapeamento gerado pelo método AHP-SIG.....	179
Tabela 14 – Ajuste na ponderação das classes do fator hidrografia.....	179
Tabela 15 – Ajuste na ponderação das classes do fator rede de drenagem.....	180
Tabela 16 – Ajuste na ponderação das classes do fator estruturas compensatórias.....	180
Tabela 17 – Intervalos testados para classificação da suscetibilidade à ocorrência de alagamentos e inundações na área de ensaio. ....	182

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1– Definições dos termos alagamentos, enchentes e inundações comumente encontradas na literatura. ....	32
Quadro 2 – Lista de trabalhos que utilizam os instrumentos de mapeamento de inundações descritos na dissertação. ....	57
Quadro 3 – Exemplo de subdivisão dos fatores em classes. ....	79
Quadro 4 – Exemplo de atribuição de notas às classes. ....	80
Quadro 5 – Classificação dos graus de risco a inundação. ....	81
Quadro 6 – Quadro genérico de ponderação das variáveis do instrumento desenvolvido. ....	87
Quadro 7 – Exemplo genérico de reclassificação do fator uso do solo de acordo com o grau de suscetibilidade de suas classes. ....	89
Quadro 8 – Exemplo genérico da matriz de comparação de fatores construída utilizando a escala fundamental de Saaty. ....	90
Quadro 9 – Exemplo genérico de determinação dos pesos estatísticos para cada fator ambiental. ....	90
Quadro 10 – Roteiro de questões abertas e fechadas sobre ocorrência de inundações e alagamentos no Distrito do Campeche. ....	93
Quadro 11 – Fatores condicionantes utilizados em estudos de mapeamento de áreas suscetíveis a alagamentos e inundações. ....	118
Quadro 12 – Classificação e ponderação das classes do fator altimetria. ....	123
Quadro 13 – Classificação e ponderação das classes do fator uso e ocupação do solo. ....	125
Quadro 14 – Classificação e ponderação das classes do fator hidrografia. ....	126
Quadro 15 – Classificação e ponderação das classes do fator precipitação média anual. ....	127
Quadro 16 – Classificação e ponderação das classes do fator tipos de solo. ....	128
Quadro 17 – Classificação e ponderação das classes do fator declividade. ....	129
Quadro 18 – Classificação e ponderação das classes do fator rede de drenagem. ....	130
Quadro 19 – Classificação e ponderação das classes do fator estruturas compensatórias. ....	130
Quadro 20- Classificação e ponderação nacional das classes dos fatores de influência. ....	131
Quadro 21 – Classificação e ponderação das classes dos fatores de influência adaptada para o Distrito do Campeche. ....	142

Quadro 22 – Classificação e ponderação das classes dos fatores de influência encontrados no Distrito do Campeche. ....	143
Quadro 23 – Reclassificação dos dados espaciais de uso do solo.....	147
Quadro 24 – Reclassificação dos dados espaciais de tipo de solo. ....	148
Quadro 25 – Reclassificação dos dados espaciais de declividade.....	148
Quadro 26 – Reclassificação dos dados espaciais de altimetria.....	149
Quadro 27 – Matriz de comparação dos fatores ambientais exigidos pelo instrumento. ....	149
Quadro 28 – Determinação dos pesos estatísticos para cada fator ambiental.....	150
Quadro 29 – Eventos de alagamentos e inundações ocorridos no Distrito do Campeche e divulgados em mídia local.....	160
Quadro 30 – Pontos de alagamentos e inundações no Distrito do Campeche extraídos do diagnóstico parcial elaborado pela Comissão Especial DreMAP. ....	163
Quadro 31 – Sintetização dos pontos/áreas de ocorrência frequente de alagamentos e inundações no Distrito do Campeche.....	164

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas  
AHP – *Analytic hierarchy Process*  
ANA – Agência Nacional de Águas  
APP – Área de Preservação Permanente  
CAD – *Computer Aided Design*  
CEMADEN – Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais  
Cobrade – Classificação e Codificação Brasileira de Desastres  
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias  
HCa – Depósitos Colúvio-Aluvionares  
HFb – Depósitos de Fundo de Baía  
HLg – Depósitos Flúvio Lagunares  
HMh – Depósitos Marinhos Praiais Atuais  
HPm – Depósitos de Planície de Maré  
HPp – Depósitos Paludiais  
HPs – Depósitos Marinhos Praiais subatuais  
Heh – Depósitos Eólicos (dunas transversais)  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
IC – Índice de Consistência  
IDW – *Inverse Distance Weighting*  
IPUF – Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis  
IR – Índice Randômico  
KDb – Dique básico  
Kan – Dique intermediário  
MDE – Modelo Digital de Elevação  
MDEHC – Modelo Digital de Elevação Hidrológicamente Consistente  
MDS – Modelo Digital de Superfície  
MDT – Modelo Digital do Terreno  
MNT – Modelo Numérico do Terreno  
mTa – massa Tropical atlântica  
mPa – massa Polar atlântica  
PDDU – Plano Diretor de Drenagem Urbana  
PGi – Granito Ilha  
PGsp – Granito São Pedro de Alcântara  
PGt – Granito Itacorubi  
PIEc – Depósitos Eólicos (dunas *climbing*)  
PIEp – Depósitos Eólicos (dunas longitudinais)  
PIMp – Depósitos Marinhos Praiais  
PMF – Prefeitura Municipal de Florianópolis

PMISB – Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico  
PNPDEC – Política Nacional de Proteção e Defesa Civil  
PRI – Dique de Riolito  
PVA – Argissolo Vermelho-Amarelo  
RC – Razão de consistência  
RQ – Neossolo Quartzarênico  
SDS – Secretaria do Desenvolvimento Econômico Sustentável  
SIG – Sistema de Informação Geográfica  
SMHSA – Secretaria Municipal de Habilitação Ambiental  
SUDERHSA – Superintendência de Desenvolvimento de Recursos  
Hídricos e Saneamento Ambiental  
TR – Tempo de recorrência  
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	23
1.1	OBJETIVOS .....	25
1.1.1	Objetivo Geral.....	25
1.1.2	Objetivos Específicos.....	25
1.2	JUSTIFICATIVAS.....	25
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	28
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	31
2.1	INUNDAÇÕES URBANAS.....	31
2.1.1	Medidas de controle de inundações .....	36
2.2	IMPORTÂNCIA DO MAPEAMENTO DE ÁREAS SUCETÍVEIS A ALAGAMENTOS E INUNDAÇÕES.....	38
2.3	INSTRUMENTOS PARA O MAPEAMENTO .....	39
2.3.1	Modelagem hidrológica .....	40
2.3.2	Modelagem hidráulica.....	43
2.3.3	Modelo de Análise Hierárquica de Processo (AHP) .....	45
2.3.4	Sistema de Informações Geográficas (SIG) .....	49
2.3.5	Sensoriamento remoto.....	53
3	PROCEDIMENTO METODOLÓGICO .....	75
3.1	DESENVOLVIMENTO DO INSTRUMENTO METODOLÓGICO .....	77
3.2	AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE DESEMPENHO DO IMAAI.....	82
3.2.1	Aplicação do IMAAI à área de estudo.....	83
3.2.2	Aplicação do AHP – SIG à área de estudo.....	87
3.2.3	Mapa de ocorrência de alagamentos e inundações no Distrito a partir de fontes de dados alternativos .....	91
4	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA UTILIZADA PARA ENSAIO DO INSTRUMENTO METODOLÓGICO .....	97
4.1	LOCALIZAÇÃO DO DISTRITO DO CAMPECHE .....	97
4.2	CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÔMICAS .....	98
4.3	CARACTERÍSTICAS AMBIENTAIS .....	99
4.3.1	Clima.....	99
4.3.2	Geologia e geomorfologia.....	101
4.3.3	Pedologia.....	102
4.3.4	Vegetação.....	104
4.3.5	Recursos hídricos .....	106
4.3.6	Classificação de uso e ocupação do solo.....	109
4.3.7	Revelo .....	111
4.4	CARACTERÍSTICAS DA REDE DE DRENAGEM URBANA .....	115
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	117
5.1	DESENVOLVIMENTO DO INSTRUMENTO.....	117

5.1.1	Definição dos fatores de influência.....	117
5.1.2	Classificação e ponderação dos fatores.....	122
5.1.3	Elaboração das faixas de suscetibilidade .....	133
5.2	AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE DESEMPENHO .....	135
5.2.1	Aplicação do IMAAI à área de estudo.....	135
5.2.2	Aplicação do AHP-SIG à área de estudo.....	147
5.2.3	Mapa de inundações e alagamentos ocorridos no distrito do Campeche.....	154
5.2.4	Comparação de resultados .....	178
5.2.5	Ajustes e correções .....	179
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	185
7	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	189
	REFERÊNCIAS.....	191
	APÊNDICE A – SINTETIZAÇÃO DA APLICAÇÃO DOS QUESTIONÁRIOS NA POPULAÇÃO DO DISTRITO DO CAMPECHE.....	209

## 1 INTRODUÇÃO

As inundações são consideradas fenômenos naturais decorrentes de precipitações intensas com curta duração ou de longos períodos de precipitação contínua. No entanto, este fenômeno vem sendo agravado pelo desenvolvimento urbano descontrolado, o qual, aliado ao mau planejamento público, modifica a capacidade de infiltração e drenagem das águas precipitadas, aumentando a frequência e magnitude de ocorrência de desastres ambientais, como por exemplo, inundações e deslizamento de encostas.

O desenvolvimento urbano descontrolado modifica as condições de uso do solo, substituindo áreas anteriormente vegetadas por áreas impermeabilizadas, como edificações, ruas, calçadas, telhados, pisos, entre outros. Estas alterações influenciam diretamente no ciclo hidrológico local, reduzindo a porcentagem de água infiltrada no solo e aumentando o escoamento superficial, o que, conseqüentemente, aumenta a vazão de pico da bacia, favorecendo a ocorrência de alagamentos e inundações.

Aliados ao desenvolvimento urbano descontrolado, outros fatores relevantes, como as obras e projetos inadequados da infraestrutura de drenagem urbana e a disposição de resíduos sólidos em locais inadequados dificultam e obstruem o sistema de drenagem, contribuindo para a ocorrência de alagamentos e inundações. O aumento da frequência e magnitude destes eventos degrada a qualidade de vida da população, gerando transtornos na mobilidade, comunicação, comércio, moradia e saneamento, causando, além de danos econômicos e sociais, a perda de vidas.

Dentro da gestão da drenagem urbana ou da gestão do espaço urbano de uma maneira geral, é de grande valia o mapeamento das áreas suscetíveis à ocorrência de inundações, identificando, por meio de um zoneamento ambiental e urbano, quais as áreas e/ou locais do município podem ser ocupados e onde a ocupação deverá ser restrita ou proibida. O mapeamento contribui diretamente com as atividades de previsão e prevenção de riscos associados a eventos extremos, possibilitando, ainda, atuar na remediação de desastres ocorridos, determinando de forma lógica e rápida quais as melhores rotas para a população evacuar de forma segura a área atingida.

Neste contexto, tem sido utilizadas técnicas de modelagem matemática, simulação computacional e geoprocessamento de imagens para a identificação de áreas suscetíveis à ocorrência de alagamentos e inundações, sendo, estas consideradas ferramentas de grande

importância para a gestão urbana. No entanto, para a aplicação destas técnicas faz-se necessário profissionais com conhecimento especializado, tanto em relação ao *software* empregado, quanto ao assunto abordado. Isto não representa a realidade da maioria dos órgãos públicos brasileiros ligados à gestão da drenagem urbana, e exige a contratação de profissionais especializados e/ou empresas privadas, onerando o pouco recurso financeiro disponível para o setor. Outro fator a ser considerado é a grande necessidade de dados para a aplicação destas técnicas, nem sempre disponíveis ou, quando existentes, sem a devida qualidade pela presença de falhas ou interrupções. A imprecisão dos dados de entrada dificulta, quando não inviabiliza, o uso destas técnicas gerando resultados muito imprecisos. Não obstante a isso, ressalta-se a condição infraestrutural tecnológica, que, na maioria das vezes, deixa a desejar, com o uso de equipamentos ultrapassados e com baixa capacidade de processamento.

Com base em todos estes fatores, pesquisas para o desenvolvimento e aprimoramento de ferramentas de mapeamento que estejam ao alcance dos órgãos gestores é uma contribuição importante para a gestão da drenagem urbana, bem como, do espaço urbano. Estas ferramentas são fundamentais para o apoio à decisão, otimizando a identificação e gestão das áreas suscetíveis à ocorrência de alagamentos e inundações por meio de mapeamentos, permitindo a previsão, prevenção e controle dos possíveis danos associados.

Este trabalho dedicou-se a estudar as técnicas disponíveis para o mapeamento de áreas suscetíveis à ocorrência de alagamentos e inundações e a propor um instrumento metodológico confiável, simplificado e de baixo custo para a realização deste mapeamento, que incluía, além dos fatores comumente encontrados na literatura, os fatores rede de drenagem urbana e estruturas compensatórias de drenagem. O instrumento proposto foi aplicado na região do Distrito do Campeche, Florianópolis - SC. Este recorte foi escolhido devido aos frequentes eventos de alagamentos e inundações ocorridos, além da área ser objeto de estudo do grupo de pesquisa em Técnicas Compensatórias, no qual a pesquisadora está inserida.

Para comparar os resultados do instrumento proposto foi aplicada uma técnica consagrada de mapeamento de áreas suscetíveis à ocorrência de inundações e alagamentos. Foram levantados dados oficiais e alternativos para a identificação de pontos de alagamento na área de aplicação do estudo, levando em consideração a percepção social da população, os registros de alagamentos feitos pela imprensa e o diagnóstico parcial elaborado pela Comissão Especial DreMAP em

reunião com representantes do Poder Executivo Municipal, visto que não existe na cidade de Florianópolis um registro oficial das ocorrências de alagamentos e inundações. Realidade semelhante encontrada em muitos locais do Brasil.

## 1.1 OBJETIVOS

Com base no exposto acima, o desenvolvimento deste trabalho foi realizado de forma a atingir os seguintes objetivos:

### 1.1.1 Objetivo Geral

O estudo tem como objetivo geral desenvolver e testar um instrumento metodológico simplificado, de baixo custo e confiável, para mapear as áreas suscetíveis à ocorrência de alagamentos e inundações urbanas.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- ✓ Aplicar o instrumento metodológico desenvolvido no Distrito do Campeche - Florianópolis;
- ✓ Aplicar uma metodologia consagrada de mapeamento de áreas inundáveis na mesma área de estudo, comparando os diferentes instrumentos metodológicos de mapeamento de áreas suscetíveis a alagamentos e inundações urbanas.
- ✓ Desenvolver um método de inclusão de informações oficiais e alternativas de registro de inundações no mapeamento de áreas inundáveis, por meio de pesquisa documental sobre divulgação dos eventos na mídia local e aplicação de questionários à população residente na área.

## 1.2 JUSTIFICATIVAS

Quanto à formação e ao conhecimento, a presente pesquisa contribui com a ampliação do conhecimento sobre as formas de gestão pública dos recursos hídricos, dando enfoque à influência da rede de drenagem pluvial sobre a problemática dos eventos de alagamentos e inundações urbanas. Além do mais, todos os tópicos abordados neste trabalho poderão ser utilizados pelos agentes de gestão urbana como subsídios para um planejamento urbano adequado, integrando o

desenvolvimento urbano às características socioeconômicas e ambientais da região.

Este trabalho permitirá, ainda, a difusão de um instrumento metodológico simplificado para o mapeamento de áreas suscetíveis a alagamentos e inundações, além de apresentar facilidade na aplicação e reduzido ou até mesmo inexistente custo de operação. Este instrumento será disponibilizado para acesso a toda a comunidade por meio de publicações em congressos e periódicos nacionais e/ou internacionais, além da divulgação em acervo local e digital pela biblioteca da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC.

Quanto ao desenvolvimento tecnológico, Kobiyama et al. (2014) menciona que a falta de um planejamento adequado ou mesmo do gerenciamento das águas de drenagem urbana, intensifica a ocorrência de eventos de inundação, provocando grandes danos econômicos e sociais aos municípios afetados, levando estes a declarar estado de emergência e até mesmo situação de calamidade pública. A fim de prevenir a ocorrência destes eventos, instrumentos metodológicos mais eficazes são demandados pelos governos, servindo como subsídio para a otimização da gestão dos riscos associados (REIS et al., 2014). O autor complementa, mencionando que a utilização destes instrumentos possibilita a identificação de setores com prioridade de investimentos, o que permite aos gestores públicos uma distribuição adequada da verba disponível.

Desta forma, a contribuição tecnológica do presente estudo inicia-se no desenvolvimento de um novo instrumento metodológico, o qual visa à integração de fatores meteorológicos, ambientais e da rede de drenagem urbana, possibilitando o mapeamento rápido, simplificado e eficiente das áreas suscetíveis à inundação, sendo importante para o processo de apoio a decisão. Diversos estudos encontrados na literatura realizam o mapeamento de áreas suscetíveis à inundação, sendo para tal aplicado alguns instrumentos de mapeamento, como por exemplo, modelagem hidrológica, modelagem hidráulica, modelos de análise hierárquica de processos (AHP), sistemas de informações geográficas (SIG's) e sensoriamento remoto. Estes instrumentos servem de subsídio para o apoio à decisão pelos gestores públicos, quanto ao gerenciamento dos recursos hídricos. No entanto, requerem amplo conhecimento técnico especializado, além de uma extensa quantidade de dados com qualidade suficiente para a obtenção de resultados satisfatórios, o que, na maioria das vezes não é encontrado (TUCCI, 1998; MACHADO, 2002; KOBİYAMA et al., 2004; BOARDMAN, 2006; SULEIMAN, 2006; MENESES; ALMEIDA, 2012 e SOUZA, 2012).

Quanto aos fatores ambientais, Parkinson et al. (2003) mencionam que o rápido crescimento urbano aliado ao planejamento inadequado dos sistemas de drenagem pluvial, intensificam a frequência e a magnitude dos eventos de inundações. Segundo Lucas et al. (2015) à medida que ocorre o desenvolvimento urbano, o uso e ocupação do solo altera as características de infiltração, incrementando o escoamento superficial e consequentemente saturando os sistemas drenagem pluvial. Parkinson et al. (2003) destacam a necessidade de desenvolvimento de novos métodos que auxiliem no planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos, assegurando a operação adequada dos sistemas de drenagem. De acordo com Lima (2010), para promover um desenvolvimento urbano responsável, minimizando os impactos sobre o meio ambiente e os riscos para a população, é imprescindível que haja o zoneamento das áreas que apresentam maior suscetibilidade à ocorrência de desastres ambientais. Com base nessas informações, fica clara a importância de mapear as áreas suscetíveis à ocorrência de alagamentos e inundações, a fim de evitar ou reduzir os prejuízos provocados à população.

Quanto aos aspectos políticos, econômicos e sociais, ANA (2003) menciona que a água é um recurso ambiental limitado e essencial à vida, o qual vem sofrendo impactos nos aspectos quali-quantitativos, devido ao acentuado crescimento populacional e consequente desenvolvimento econômico. Segundo Tucci (2008) o desenvolvimento urbano sem planejamento tem gerado um ciclo de contaminação dos recursos hídricos, reduzindo a qualidade da água disponível para o abastecimento urbano e encarecendo o processo de tratamento químico realizado pelas companhias de distribuição. De acordo com Tucci e Bertoni (2003) o processo de urbanização, produz grandes alterações no ciclo hidrológico, causando desastres ambientais que impactam significativamente a natureza, bem como, o próprio homem. Os autores complementam mencionando que, para a minimização destes desastres ambientais, faz-se necessária a aplicação de medidas preventivas, o que não é uma realidade evidenciada no Brasil, onde, à medida que ocorrem os desastres, declara-se situação de calamidade pública, e são destinados aos gestores públicos, recursos a fundo perdido. Desta forma, o desenvolvimento da nova metodologia que auxilia no mapeamento e na identificação de possíveis soluções ou mesmo na redução das ocorrências de eventos de alagamentos e inundações nas cidades, proposta neste trabalho, torna-se uma questão tanto de cunho econômico como social, sendo de grande valia para a redução de custos atribuídos à sociedade e para o aumento da qualidade de vida da população.

### 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho estrutura-se em 7 capítulos.

No capítulo 1 faz-se uma breve introdução ao tema, apresentando a problemática que impulsiona à pesquisa, as justificativas que remetem à importância de desenvolvê-la, os objetivos que norteiam seus procedimentos, as delimitações adotadas no estudo e a sintetização da organização estrutural do trabalho escrito.

No capítulo 2 fundamenta-se teoricamente a pesquisa, tomando como base estudos nacionais e internacionais recentes relacionados ao tema, norteando os conceitos: impacto da urbanização sobre o escoamento superficial; inundações urbanas; medidas de controle de inundações; importância do mapeamento de áreas suscetíveis a alagamentos e inundações; finalizando com os principais instrumentos utilizados para o mapeamento destas áreas.

No capítulo 3 descrevem-se os procedimentos metodológicos adotados, elencando os materiais, *softwares* e equipamentos utilizados. As etapas metodológicas são apresentadas em forma de fluxograma, sendo também descritas individualmente. Os dados empregados, sua forma de obtenção e tratamento, bem como a integração dos métodos para o mapeamento da suscetibilidade à ocorrência alagamentos e inundações urbanas são descritas neste capítulo.

No capítulo 4 apresenta-se a área de estudo, descrevendo suas características socioeconômicas, ambientais e de infraestrutura da rede de drenagem urbana. Inicialmente, descreve-se a localização geográfica da área de estudo no contexto municipal, estadual e nacional. Em seguida descrevem-se as características socioeconômicas da região apresentando dados demográficos e de densidade populacional. Na sequência, faz-se uma abordagem das características ambientais da área sob os aspectos climáticos, geológicos e geomorfológicos, pedológicos, de vegetação, hidrográficos e de uso e ocupação do solo. Por fim, abordam-se as características infraestruturais da rede de drenagem pluvial, descrevendo sua estruturação e distribuição dentro da área de estudo.

No capítulo 5 discutem-se os resultados obtidos pela aplicação dos instrumentos metodológicos propostos na pesquisa, elencando as vantagens e limitações destes, por meio de comparação dos resultados gerados pelo instrumento desenvolvido e pelo método AHP-SIG, com o mapa inventariado dos pontos de alagamentos e inundações ocorridas no Distrito do Campeche.

No capítulo 6 apresentam-se as considerações finais do estudo, descrevendo as principais conclusões obtidas na pesquisa.

No capítulo 7 fazem-se recomendações de futuros trabalhos que visam aprimorar aspectos desta pesquisa, indicando possíveis limitações e/ou fragilidades encontradas durante sua execução.

No Apêndice A foi apresentada a síntese dos questionários aplicados à população do Distrito do Campeche, e que foram utilizados, juntamente com dados oficiais, como informação de base para a validação do instrumento metodológico proposto.



## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta o estado da arte dos processos envolvidos no mapeamento das áreas suscetíveis à ocorrência de alagamentos e inundações, descrevendo os seguintes itens: impactos da urbanização sobre o escoamento superficial, inundações urbanas e suas medidas de controle, importância do mapeamento dessas áreas, bem como, os instrumentos utilizados para o mapeamento das mesmas.

### 2.1 INUNDAÇÕES URBANAS

O crescente desenvolvimento socioeconômico advindo desde o período industrial, fez com que ocorresse de forma continuada o processo de êxodo rural. As áreas anteriormente ocupadas por florestas passaram a ser desmatadas e ocupadas, dando origem a grandes centros urbanos. No Brasil, o crescimento populacional desenfreado da década de 60, originou grandes regiões metropolitanas com pouca ou mesmo nenhuma infraestrutura, situação agravada durante a década de 80 devido à redução de investimentos (TUCCI, 2007). Segundo Yannopoulos et al. (2011) o desenvolvimento desordenado das cidades provoca grandes impactos no sistema hídrico, causando o entupimento de bueiros, inundações urbanas e contaminação dos mananciais superficiais e subterrâneos. Estes fatos são devidos, principalmente, aos projetos inadequados de drenagem urbana, que visam apenas o escoamento rápido da água precipitada, aumentando a magnitude da vazão, frequência e nível das inundações à jusante (TUCCI; BERTONI, 2003 e TUCCI, 2008).

De acordo com Yang et al. (2014) o uso do solo em regiões urbanas é caracterizado pela interação de superfícies impermeabilizadas e vegetadas, exigindo a implementação de sistemas eficientes para a drenagem do escoamento pluvial. Com o aumento da impermeabilização da superfície do solo, a água que inicialmente infiltrava passa a escoar superficialmente, exigindo maior capacidade de escoamento do sistema de drenagem (TUCCI, 2007). Segundo Benini e Mendiondo (2015) a impermeabilização pode ser considerada o agravante de maior impacto na ocorrência de enchentes e inundações urbanas. Dixon e Earls (2012) complementam mencionando que o acréscimo na taxa de urbanização não afeta somente o ciclo hidrológico, aumentando o risco de inundações, ele também incrementa a vulnerabilidade natural e social das bacias hidrográficas, colocando desafios na gestão de desastres socioambientais.

De acordo com Galvão (2014, p.29):

as inundações são fenômenos naturais que ocorrem nos cursos d'água, principalmente deflagradas por uma combinação de chuvas fortes e rápidas ou chuvas de longa duração, onde há deficiência dos canais de drenagem em escoar todo esse volume de água, propiciando o transbordamento das águas [...].

Erroneamente o termo inundação vem sendo confundido com o termo enchente, fato este devido às traduções inadequadas dos termos *flooding* e *flood*, inundação e enchente respectivamente, para a língua portuguesa (SOUZA, 2005 e SILVA, 2013).

Outro termo muito utilizado quando se trata de inundações urbanas, é a definição de alagamentos. No Quadro 1 são apresentadas as definições de cinco autores para os termos alagamentos, enchentes e inundações, comumente encontradas na literatura, sendo as definições adotadas para a execução deste trabalho destacadas em **negrito**.

Quadro 1- Definições dos termos alagamentos, enchentes e inundações comumente encontradas na literatura.

(continua)

Autores	Alagamento	Enchente	Inundação
Carvalho et al. (2007)	Acumulo momentâneo de águas em uma dada área por problemas no sistema de drenagem	Elevação temporária do nível d'água em um canal de drenagem devido a o aumento da vazão ou descarga	Extravasamento das águas do canal para as áreas marginais quando a enchente atinge cota acima do nível da calha
Lima (2010)	-	<b>Elevação do nível regular de um corpo hídrico, devido às precipitações intensas e/ou prolongadas, sem extravasar os limites da calha</b>	Extravasamento da lâmina d'água das margens do arroio, rio ou lago, atingindo terras normalmente secas

(conclusão)

Cobrade (BRASIL, 2012)	<b>Extrapolação da capacidade de escoamento de sistemas de drenagem urbana e consequente acúmulo de água em ruas, calçadas ou outras infraestruturas urbanas, em decorrência de precipitações intensas</b>	-	<b>Transbordamento gradual do nível de água de um canal, ocasionado por chuvas prolongadas, submergindo áreas de planície fora dos limites normais do curso de água em zonas que normalmente não se encontram submersas.</b>
Galvão (2014)	Aumento momentâneo das águas em uma dada porção urbana, decorrente de problemas na rede pluvial	Aumento do nível d'água no canal de drenagem, sem ocorrer transbordamento das águas para as áreas próximas, caracterizado pela cota máxima do canal	Transbordamento das águas para o leito maior, deflagrado pela combinação de chuvas fortes e rápidas ou chuvas de longa duração e canais de drenagem deficientes
Hermann et al. (2014)	Água acumulada no leito das ruas por fortes precipitações pluviométricas, em cidades com sistemas de drenagem deficiente.	Aumento da vazão do rio por um determinado período de tempo	Superação da capacidade de descarga fluvial pela vazão, extravasando o excedente para as áreas marginais de várzea

As definições estabelecidas pela Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE) vem em substituição à Classificação dos Desastres (CODAR), sendo elaborada a partir da classificação utilizada pelo Banco de Dados Internacional de Desastres (EM-DAT) do Centro para Pesquisas sobre Epidemiologia de Desastres (CRED) e da Organização Mundial de Saúde (OMS/ONU), com o propósito de adequar a classificação brasileira às normas internacionais, sendo considerada uma referência adequada para estabelecer definições.

De acordo com Souza (2005) os alagamentos ocorrem em áreas distantes dos canais fluviais e de maré, sendo verificados principalmente em áreas urbanizadas com baixa declividade do terreno. Tucci e Bertoni (2003) mencionam que muitos dos alagamentos ocorridos em área urbana são devidos, não ao dimensionamento inadequado dos condutos hidráulicos, mas sim pela obstrução destes por detritos sólidos descartados pela população.

Pode-se dizer que a ocorrência de alagamentos está intimamente associada à redução da infiltração natural nos solos urbanos, a qual é devida ao processo de urbanização desordenado. Segundo Castro (2003) e Reis (2011) os principais fatores que desencadeiam essa redução de infiltração são: compactação e impermeabilização do solo, pavimentação de ruas e construção de calçadas, construção adensada de edificações, desmatamento de encostas e assoreamento de rios, acumulação de detritos em galerias pluviais, canais de drenagem e cursos d'água, e insuficiência da rede de galerias pluviais.

Marcelino (2008) complementa citando o aumento das precipitações intensas e a ocupação das planícies de inundação ou várzea, como outros fatores condicionantes do processo de alagamentos e inundações urbanas.

Em regiões litorâneas tropicais, a incidência de alagamentos, inundações e enchentes é decorrente principalmente da combinação entre a passagem de frentes frias de intensa pluviosidade com os efeitos das marés astronômicas e meteorológicas, causando acumulação de água no interior da bacia de drenagem (SOUZA, 2005).

Segundo Amaral e Ribeiro (2012) os fatores condicionantes para a ocorrência de alagamentos, enchentes e inundações dá-se pela combinação de fatores de origem natural e antrópica. Dentre os condicionantes de origem natural, os autores destacam: forma do relevo; características da rede de drenagem da bacia hidrográfica; intensidade, quantidade, distribuição e frequência das chuvas; características do solo e teor de umidade; e presença ou ausência da cobertura vegetal. Já para os condicionantes de origem antrópica o destaque é dado para: uso e

ocupação irregular nas planícies e margens de cursos d'água; disposição irregular de lixo nas proximidades dos cursos d'água; alterações nas características da bacia hidrográfica e nos cursos d'água, e intenso processo de erosão dos solos e assoreamento dos cursos d'água.

A Figura 1 exemplifica o ciclo de impactos que o processo de urbanização desordenada causa sobre a ocorrência de alagamentos, enchentes e inundações urbanas.

Figura 1 – Processo de impacto da urbanização desordenada sobre a ocorrência dos eventos de alagamentos, enchentes e inundações urbanas.



Fonte: Adaptado de SUDERHSA (2002).

Baseado na divisão dos fatores condicionantes de acordo com sua origem natural e antrópica, Tucci (2008) distingue dois tipos básicos de inundações, as de áreas ribeirinhas e as devido à urbanização, podendo estas ocorrer isoladamente ou de forma combinada em áreas urbanas.

De acordo com Tucci (2008) as inundações de áreas ribeirinhas ocorrem naturalmente no leito maior dos rios, devido à variabilidade temporal e espacial da precipitação e do escoamento superficial na bacia

hidrográfica. Já as inundações decorrentes da urbanização ocorrem principalmente na drenagem urbana, tendo como causas principais a impermeabilização do solo e a canalização ou mesmo obstrução do escoamento superficial.

Segundo Marcelino (2008) os desastres ambientais, como as inundações, vendavais e tornados, são praticamente impossíveis de serem erradicados. Este fato deve-se à participação destes fenômenos na geodinâmica terrestre, influenciando diretamente a formação do relevo, a manutenção dos ecossistemas e o abastecimento das fontes hídricas.

Marcelino (2008) menciona que nas próximas décadas o tipo de desastre ambiental que mais afetará as regiões Sul e Sudeste do Brasil será as inundações bruscas ou enxurradas. Fato pelo qual se faz necessário estabelecer medidas preventivas e de controle, que possam auxiliar na minimização das consequências causadas pelo fenômeno.

A fim de minimizar os impactos gerados pelas inundações urbanas, técnicas para aumentar a capacidade de drenagem ou mesmo reduzir o hidrograma afluente são adotadas. Graciosa et al. (2008) e Lucas et al. (2015) mencionam que, dentre todas, as alternativas existentes para a mitigação das inundações urbanas, as mais utilizadas são as técnicas compensatórias, sendo constituídas basicamente por medidas que controlam o escoamento superficial na origem da geração.

Cavalcante (2011) menciona que as medidas de controle de inundações, como técnicas compensatórias e bacias de amortecimento, são importantes instrumentos de proteção da população contra as inundações urbanas, sendo muitas vezes desacreditadas pela população devido ao mau funcionamento de estruturas já implantadas. No próximo subitem serão discutidas quais são as medidas de controle adotadas para reduzir a intensidade de ocorrência de inundações urbanas, elencando suas principais diferenças, assim como os locais a serem implantadas.

### **2.1.1 Medidas de controle de inundações**

As medidas de controle de inundações, segundo Costa (2013), nada mais são do que ações de engenharia com cunho social, econômico e administrativo, que visam o desenvolvimento urbano sustentável, por meio da minimização de riscos e redução de prejuízos associados a eventos de inundação. Segundo Tucci (2007), o controle de inundações urbanas, na maioria das vezes, é realizado pontualmente por meio da canalização dos trechos críticos, dando a falsa sensação de problema resolvido, quando na verdade, apenas transfere a inundação de um ponto da rede para outro mais a jusante.

Segundo Cordero et al. (1999), Tucci (2007) e Costa (2013), as medidas de controle de inundações podem ser classificadas, conforme sua natureza, em duas categorias: medidas estruturais e medidas não estruturais.

- **Medidas estruturais**

As medidas estruturais correspondem a obras hidráulicas que modificam o sistema fluvial, visando evitar prejuízos decorrentes das inundações, por meio de correções e/ou prevenções de possíveis problemas no sistema de drenagem (CORDERO et al., 1999).

Segundo Cordero et al. (1999), Tucci (2005) e Righi (2011) as medidas estruturais podem ser classificadas, de acordo com sua área de atuação, em duas classes, sendo estas: medidas extensivas e medidas intensivas.

As medidas extensivas agem em toda a bacia, modificando as relações entre a precipitação e a vazão por meio de intervenções de conservação do solo. Este tipo de medida aumenta a capacidade de infiltração, reduzindo o escoamento superficial e incrementando o armazenamento temporário de água no solo, o que conseqüentemente aumenta o tempo de concentração da bacia (CORDERO, 1999 e TUCCI, 2005). Já as medidas intensivas agem diretamente sobre o recurso hídrico, controlando as cheias, e, conseqüentemente, as inundações por variadas formas, dependendo do tipo de obra adotada (CORDERO, 1999).

Costa (2013) finaliza mencionando que as medidas de controle estruturais são consideradas grandes obras hidráulicas, que apesar de necessárias, não representam por si só soluções eficazes para os problemas da drenagem urbana, dando uma falsa sensação de segurança para a população, além de envolverem elevados custos de implantação.

- **Medidas não estruturais**

As medidas não estruturais correspondem à inserção de normas, regulamentos e programas, que visam reduzir os danos ou conseqüências causadas pelas inundações, por meio do disciplinamento do uso e ocupação do solo, implementação de sistemas de alerta e conscientização da população para a manutenção dos dispositivos de drenagem (RIGHI, 2011).

De acordo com Costa (2013, p.26):

as medidas de controle não estruturais possuem caráter preventivo, onde os prejuízos são reduzidos pela melhor convivência da população com as inundações e, geralmente, não envolvem nenhuma obra de engenharia.

Segundo Tucci (2007), Cordero (1999) e Costa (2013) as principais medidas não estruturais de controle de inundação são: zoneamento de áreas inundáveis, sistema de alerta ligado à defesa civil, seguro contra inundações, ordenamento legal e jurídico e conscientização ambiental.

Para finalizar, Rigui (2011) menciona em seu estudo que as medidas não estruturais apresentam custos mais baixos de implantação, além de longos prazos de atuação, o que as tornam mais eficientes que as medidas estruturais. No entanto, cada situação exige uma solução diferente, podendo a melhor solução ser composta pela combinação de medidas estruturais e não estruturais (TUCCI, 2007).

## 2.2 IMPORTÂNCIA DO MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A ALAGAMENTOS E INUNDAÇÕES

De acordo com Sousa (2012), nas últimas décadas ocorreu um avanço no desenvolvimento de medidas de redução e mitigação das inundações, transitando as estratégias tradicionais de defesa para opções mais elaboradas de prevenção e previsão, que incluem o mapeamento de áreas suscetíveis a esses eventos e a elaboração de planos de gestão dos riscos envolvidos.

O mapeamento das áreas suscetíveis a inundações e alagamentos, segundo Barbosa (2006), é uma ferramenta auxiliar muito poderosa no controle e prevenção de inundações, estando diretamente associada ao grau de riscos e prejuízos causados pelos eventos.

Hagemeyer-Klose e Wagner (2009) complementam mencionando que o mapa de risco de inundação é uma importante ferramenta de comunicação com a população local, pois dá uma melhor percepção da distribuição espacial das áreas suscetíveis à ocorrência desse evento, bem como, dos consequentes riscos associados a estes.

Segundo Barbosa (2006) a elaboração do mapa de áreas suscetíveis à inundação demanda uma extensa base de dados, o que muitas vezes dificulta sua execução devido à falta de informações ou

mesmo por informações pouco confiáveis. Apesar da elaboração dos mapas exigir uma base de dados extensa e um conhecimento técnico específico, a fácil interpretação dos resultados por parte da população, acaba favorecendo a utilização dessas informações em programas de educação ambiental e como suporte à política de prevenção e controle das inundações.

A Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC) instituída pela Lei Nº 12.608, de 10 de Abril de 2012, estabelece que cada município identifique e mapeie as áreas ameaçadas, suscetíveis e vulneráveis a desastres ambientais, como por exemplo, as inundações, visando evitar ou mesmo reduzir sua ocorrência.

Reis et al. (2014, p.3) mencionam em seu estudo que:

a partir desse mapeamento, os gestores públicos poderão tomar medidas estruturais e não estruturais preventivas, como a implantação de obras de engenharia e planejamento do uso da terra, no intuito de evitar ou minimizar os danos decorrentes desses desastres.

Este subitem descreveu a importância do mapeamento de áreas suscetíveis à ocorrência de desastres ambientais, como as inundações, descrevendo as facilidades e dificuldades de sua elaboração, bem como, a legislação vigente que estabelece o uso desta ferramenta. A seguir serão abordados os instrumentos metodológicos empregados para realização do mapeamento de áreas inundáveis, apresentando alguns estudos realizados e os principais *softwares* utilizados.

## 2.3 INSTRUMENTOS PARA O MAPEAMENTO

Para designar o conjunto de ferramentas, metodologias, técnicas, métodos e procedimentos, usa-se nesta dissertação o termo genérico **instrumento para o mapeamento**.

Para a realização do mapeamento de áreas suscetíveis à ocorrência de alagamentos e inundações, existem diferentes instrumentos que facilitam e otimizam o uso das diversas informações obtidas. Os principais instrumentos encontrados na literatura são referentes a: modelagem hidrológica, modelagem hidráulica, Modelo de Análise Hierárquica de Processos (AHP), Sistema de Informações

Geográficas (SIG) e sensoriamento remoto, sendo estes abordados a seguir.

### 2.3.1 Modelagem hidrológica

Segundo Righetto (1998 apud SULEIMAN, 2006, p.11) o processo hidrológico que gera inundação pode ser descrito de forma simplificada da seguinte maneira:

o excesso de água de chuva que não é infiltrado no solo acumula-se inicialmente nas pequenas depressões do terreno para, em seguida, formar uma lâmina d'água e, conseqüentemente, o escoamento de superfície ou deflúvio superficial.

De acordo com Righetto (1998 apud SULEIMAN, 2006), a quantificação de vazões de cheia é de fundamental importância para o estudo do processo de inundação. Quanto ao processo de modelagem matemática Suleiman (2006, p.12) menciona em seu estudo que:

o processo de transformação de chuva em vazão tem sido simplificado teoricamente por meio de modelos matemáticos, que têm como finalidade representar o processo de maneira relativamente simples, fornecendo resultados compatíveis com os observados através de medições de precipitação e de vazões.

Pontes (2011) menciona que os modelos hidrológicos representam um sistema por meio de uma linguagem de fácil acesso, gerando diferentes respostas para cada conjunto de variáveis hidrológicas entradas no modelo. Dentre todos os processos que podem ser representados matematicamente por um modelo hidrológico, destacam-se a interceptação, a infiltração, a evaporação e o escoamento superficial e subterrâneo.

Os modelos hidrológicos são considerados modelos de armazenamento, pois não englobam a equação da quantidade de movimento, desprezando durante o processo de propagação e atenuação da onda de cheia os efeitos de pressão, inércia, atrito e gravidade (TUCCI, 2009).

Dentre as vantagens de utilização dos modelos hidrológicos, Pontes (2011) elenca a facilidade de implementação, o reduzido tempo

de simulação e o baixo custo operacional. Machado (2002) complementa mencionando a capacidade de previsão de condições diferentes das observadas e também de situações futuras, bem como a capacidade de reproduzir o passado, como outras vantagens do uso desses modelos.

Por outro lado, as limitações básicas dos modelos hidrológicos estão diretamente relacionadas com a quantidade e qualidade dos dados, estando estas associadas à dificuldade de modelar matematicamente alguns processos hidrológicos e a simplificação da espacialização das variáveis e dos fenômenos envolvidos (TUCCI, 1998 e SOUZA, 2012).

Suleiman (2006) menciona a inexistência de uma relação direta com o grau de impermeabilização das áreas em estudo, como outra limitação apresentada pelos modelos hidrológicos, exigindo que o modelador obtenha extensas séries históricas de dados a fim de suprir a necessidade de representação do processo de urbanização.

Complementando, Machado (2002) cita que a necessidade de validação dos modelos e simuladores pode ser considerada uma desvantagem do processo de modelagem, pois esta demanda amplo conhecimento do sistema a ser modelado, além de uma gama de dados levantados em campo com qualidade para a calibração e validação do modelo.

Dentre os trabalhos encontrados na literatura sobre a modelagem hidrológica como instrumento para mapear áreas suscetíveis a alagamentos, enchentes e inundações (ver Quadro 2), são destacados os que seguem.

Bagstevold (2015) desenvolveu um modelo hidrológico da bacia hidrográfica do Córrego Ilabekken, em Trondheim, Noruega, com o objetivo de avaliar como as mudanças climáticas da região impactam sobre o risco de ocorrência de erosão e inundação. Para modelar o processo hidrológico da bacia o autor fez uso do *software* HEC-HMS, sendo este calibrado com dados de observação do Lago Kobberdammen. O estudo ainda foi complementado pela modelagem hidráulica de fluxo do canal, utilizando para tal o *software* HEC-RAS. Através das simulações foi possível verificar que o aumento da temperatura devido às mudanças climáticas, durante a temporada de inverno, afetou o padrão de inundação do Córrego Ilabekken. No entanto, foi verificado o retardamento do escoamento superficial devido à existência de três grandes lagos na bacia, amortecendo a vazão. Quanto ao estudo de erosão o autor verificou que o transporte de sedimentos pode levar a sedimentação da parte inferior do canal, devido à redução da velocidade de escoamento e as áreas serem mais rasas. O autor conclui que o

modelo hidrológico pode ser usado como uma ferramenta de gestão e planejamento, avaliando futuros riscos de inundações e erosão. No entanto, o modelo apresentou algumas limitações, fornecendo apenas uma impressão física da bacia ou invés da representação exata do sistema.

Joo et al. (2014) comparam a performance dos *softwares* HEC-HMS e ReFH (*Revitalized Flood Hydrograph*) na modelagem hidrológica de inundação nas bacias hidrográficas de Bukil e Jeungpyeong, Coréia. Segundo os autores o modelo ReFH é um modelo conceitual de chuva-vazão adequado para bacias rurais, devido considerar a umidade do solo, sendo amplamente difundido no Reino Unido para estimativa de eventos de inundação. Para as simulações, os autores selecionaram 14 eventos de inundação, todos ocorridos durante o período de 2004 a 2009, sendo 8 eventos pertencentes à bacia do Rio Bukil e 6 eventos pertencentes a Bacia do Rio Jeungpyeong. Os modelos foram calibrados e validados com sucesso, sendo para o ReFH executada a calibração simultânea de todos os eventos de inundação, e, para o HEC-HMS, executada a calibração individual de cada evento. Os autores concluem que os dois modelos são indicados para a simulação de inundações, no entanto o modelo ReFH apresentou limitações em relação à simulação de picos de vazão em rios de grande porte. Outra conclusão dá-se pela representação gráfica dos resultados, em que o modelo ReFH apresenta hidrogramas mais precisos que o modelo HEC-HMS, fornecendo simulações aceitáveis na maior parte das vezes.

Monteiro e Kobiyama (2014) propuseram em seu estudo uma metodologia para mapear as áreas que apresentam perigo de inundação na bacia hidrográfica do Braço do Baú, Ilhota-SC. Os objetivos propostos pelos autores foram a proposição de uma metodologia que utilize dados de disponibilidade nacional e a validação desta em um estudo de caso. Para atingir tais objetivos os autores utilizaram os *softwares* HEC-HMS e FLO-2D, modelando respectivamente os processos hidrológicos e hidráulicos da bacia escolhida. A calibração e validação dos modelos foram realizadas utilizando os dados de uma bacia vizinha (bacia hidrográfica Luiz Alves), visto somente esta possuir um histórico de vazões observadas. Como resultados os autores notaram uma pequena variação da área inundada e uma elevada variação no volume de inundação, o que se justifica, segundo os autores, pela alta declividade da bacia, criando uma forma encaixada para a área de inundação. Quanto ao mapeamento de perigo os autores classificaram a área em quatro níveis diferentes, sendo alto, médio, pequeno e inexistente, ficando poucas residências localizadas nas áreas com nível

de perigo médio e alto, devido à bacia ser rural. No geral, a metodologia proposta pelos autores demonstrou eficácia no mapeamento de áreas com perigo de inundação.

### **2.3.2 Modelagem hidráulica**

Segundo Coutinho (2015) a modelagem hidráulica, comumente denominada modelagem hidrodinâmica, nada mais é do que a descrição matemática dos fenômenos que caracterizam as águas superficiais e/ou subterrâneas, prevendo por meio de simulações computacionais o comportamento real destas.

O uso de modelos hidráulicos segundo Santos (2009), tem grande destaque devido ao alcance da sua modelagem, detalhando além dos processos hidrológicos, todos os processos hidráulicos ocorridos no interior da bacia hidrográfica.

De acordo com Müller (2009) a principal característica que diferencia os modelos hidráulicos dos hidrológicos está relacionada com a variação das condições de escoamento, sendo consideradas variações temporais das vazões e níveis d'água apenas no primeiro tipo de modelo.

Segundo Tucci (1998) “os modelos hidrodinâmicos não desprezam nenhum termo da equação de quantidade de movimento”, exigindo um maior número de dados para solucionar numericamente as equações diferenciais. De acordo com Paiva et al. (2011) a maioria destes modelos hidráulicos utiliza esquemas numéricos implícitos de diferenças finitas para a solução das equações de Saint Venant, o que permite a adoção de grandes intervalos de tempo de cálculo, apesar de exigir um complexo código computacional.

Tucci (1998) acrescenta ainda a maior precisão e a melhor representação física do escoamento, como outras vantagens do uso dos modelos hidráulicos.

Como desvantagem Suleiman (2006) cita a necessidade de levantamento de uma grande quantidade de dados de campo, como por exemplo, as informações espaciais do canal, como geometria, declividade e coeficiente de rugosidade de Manning, a fim de amenizar a complexidade da modelagem hidráulica.

Na literatura são encontrados inúmeros estudos que utilizam *softwares* de modelagem hidráulica/hidrodinâmica, principalmente aplicados no mapeamento de áreas suscetíveis à ocorrência de enchentes, alagamentos e inundações, sendo alguns destes descritos a seguir.

Fernando (2013) desenvolveu uma metodologia integrada para o mapeamento de inundações no Distrito de Puri, Orissa, na Índia, com o objetivo de analisar as áreas de inundação mapeadas por meio de modelagem hidráulica integrada a técnicas de sensoriamento remoto. Para realizar a modelagem hidráulica o autor fez uso do *software* MIKE 11, o qual foi calibrado com as informações de precipitação e vazão do Rio Kushabadra. Já para o mapeamento por sensoriamento remoto foi utilizado os programas ERDAS e ILWIS, sendo as imagens multiespectrais obtidas do satélite RADARSAT. As informações sobre as inundações, bem como as imagens de satélite utilizadas, são referentes ao mês de setembro de 2003. Desta forma, a modelagem integrada proposta pelo autor demonstrou eficácia no mapeamento das áreas inundadas no Distrito de Puri, durante o mês de setembro de 2003.

Cunha et al. 2012 avaliaram a susceptibilidade ao risco de cheias e inundações no concelho de Torres Novas, Santarém, em Portugal. Para tal modelagem os autores construíram um modelo hidráulico-geomorfológico utilizando o *software* HEC-RAS, validando os resultados com registros históricos publicados na mídia impressa e com visitas a campo. Para a modelagem hidráulica-geomorfológica os autores utilizaram as características topográficas, hidrológicas, litológicas, pedológicas e de cobertura vegetal da área, além das características hidráulicas dos canais e das séries históricas de precipitação e vazão. Como resultados os autores demonstraram que as áreas de maior suscetibilidade à cheias e inundações são representadas por áreas ribeirinhas de fundo de vale e por áreas urbanas com elevado índice de impermeabilização e insuficiência de redes pluviais. Os autores concluem que o modelo hidráulico-geomorfológico representa com conformidade as áreas inundáveis, confirmando os registros de marcas de cheias inventariadas.

Ribeiro e Lima (2011) integraram técnicas de geoprocessamento à modelagem hidráulica e hidrológica, objetivando simular as áreas de risco de inundações urbanas, por meio de um histórico de eventos extremos de chuva, ocorridos na bacia hidrográfica do Córrego Humaitá, Juiz de Fora - MG. Para atingir o objetivo proposto, os autores utilizaram os *softwares* ArcGIS e HEC-RAS, sendo no primeiro gerado o Modelo Digital de Elevação Hidrológicamente Consistente (MDEHC), o qual foi inserido como dado de entrada no modelo hidráulico HEC-RAS, onde foi executada a simulação de inundação e a apresentação dos resultados. Como resultados os autores obtiveram as vazões máximas das 9 seções de controle para os períodos de retorno de 5, 50 e 100 anos, pelas quais foi possível verificar que as áreas potencialmente mais

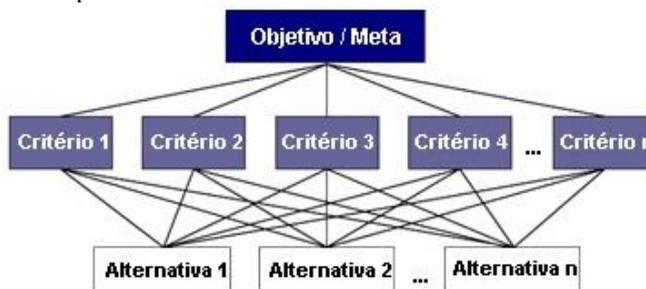
afetadas pelas inundações estão recobertas por pastagem e mata. Porém foram verificadas algumas manchas de inundação em áreas densamente urbanizadas, gerando riscos para a população local. No geral, os autores concluíram que a integração de técnicas de geoprocessamento, modelagem hidrológica e modelagem hidráulica demonstraram um grande potencial para a simulação de áreas inundáveis, auxiliando no planejamento territorial e no gerenciamento dos recursos hídricos.

### 2.3.3 Modelo de Análise Hierárquica de Processo (AHP)

O método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) foi desenvolvido por Thomas Lorie Saaty na década de setenta visando auxiliar no processo de tomada de decisões de problemas complexos (SILVA; NUNES, 2009; BARROS, 2013; DENÚBILA, 2013 e ARUEIRA, 2014). Segundo Arueira (2014), este método foi desenvolvido tendo como base a maneira com que as pessoas processam informações, tomam decisões e expressam seus julgamentos de problemas cotidianos.

Silva e Nunes (2009) e Denúbila (2013) mencionam que o método AHP permite uma visão global das relações existentes entre os fatores que influenciam um determinado processo, criando uma hierarquia de decisão composta por vários níveis de atributos. Segundo Barros (2013) e Arueira (2014), para estruturar hierarquicamente os fatores a metodologia deve partir de um objetivo geral, passando por critérios e por fim chegar a alternativas consistentes, reproduzindo de forma similar o comportamento da mente humana, conforme apresentado na figura a seguir.

Figura 2 – Estrutura genérica de hierarquização de fatores influentes no apoio à decisão de um problema.



Fonte: Adaptado de Saaty (1990).

Segundo Silva e Nunes (2009), o modelo AHP é baseado na lógica de comparação par a par (*pairwise comparison*), onde os diferentes fatores influentes são organizados hierarquicamente e comparados entre si, sendo atribuído um valor de importância relativa (peso) para cada relacionamento destes, de acordo com suas intensidades de predomínio.

Saaty (1977) sugere a utilização de uma escala de julgamento pré-definida para a atribuição dos pesos, tendo esta uma variação de 1 a 9, onde 1 representa igualdade de importância entre os critérios e 9 representa extrema importância de um critério sobre o outro, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Escala de julgamento de critérios pré-definida por Saaty

Intensidade ou importância	Definição
1	Igual importância
3	Moderadamente mais importante
5	Fortemente mais importante
7	Muito fortemente mais importante
9	Extremamente mais importante
2, 4, 6, 8	Valores intermediários

Fonte: adaptado de Saaty (1977)

Segundo Frasson (2011) para obter uma boa decisão final, faz-se necessária a presença de um especialista no assunto a ser decidido, visto que o método considera a experiência e o conhecimento das pessoas envolvidas tão importantes quanto os dados utilizados.

Wolf (2008) complementa mencionando que a eficiência do método AHP no apoio a tomada de decisões é dada não somente pela estruturação hierarquizada dos problemas complexos, mas sim, pela combinação desta com os atributos humanos levados em consideração, tais como experiência, intuição, instinto, emoção, lógica entre muitos outros.

Dentre as vantagens de utilização do método AHP, Frasson (2011) menciona em seu estudo:

- a) Simplicidade, clareza e facilidade de uso visto à diversidade de materiais que explicam o passo a passo da metodologia;
- b) Interação entre o analista do método matemático e o especialista que fez a avaliação;
- c) Identificação de julgamentos inconsistentes, permitindo ajustes na avaliação dos critérios e alternativas;

- d) Entendimento comum do problema, visto a utilização de uma escala de julgamento pré-definida;
- e) Desenvolvimento de uma estrutura hierárquica parecida com a forma de pensamento humano;
- f) Capacidade de lidar com problemas que envolvam variáveis quantitativas e qualitativas;
- g) Comparação rápida e objetiva dos resultados, visto à determinação de prioridades e importâncias dos fatores.

Por outro lado, Frasson (2011) também menciona algumas limitações no uso do método AHP, sendo estas:

- a) Necessidade de consenso no processo de priorização dos critérios e alternativas;
- b) Independência ou diferença relevante entre os critérios de cada nível;
- c) Risco de decisões subjetivas ou baseadas em opiniões pessoais e preconceitos;
- d) Necessidade de procedimento para estruturar o questionário de perguntas e preferências;
- e) Limite máximo de nove alternativas para uso do método;
- f) Elevado número de comparações quando utilizado muitos critérios ou muitas alternativas;
- g) Limite máximo de nove critérios para uso do método;
- h) Alternativas incomparáveis não são permitidas;
- i) Ausência de fundamento de teoria estatística.

Na literatura são encontrados inúmeros estudos que aplicam o método AHP, sistematizando problemas com contextos econômicos, políticos, sociais e ambientais. Dentro do contexto ambiental, podemos destacar a aplicação do método no mapeamento de áreas suscetíveis a enchentes, alagamentos e inundações, sendo descritos a seguir alguns trabalhos que abordam essa aplicação.

Ouma e Tateishi (2014) aplicaram o modelo AHP na bacia hidrográfica do Rio Sosiani, no município de Eldoret, Quênia, com o objetivo de fornecer conhecimento para preparar uma base pública de mapas de inundações, estimando o risco de sua ocorrência em áreas de crescimento urbano. Para atingir o objetivo proposto, os autores integraram o modelo AHP a um Sistema de Informações Geográficas (SIG) utilizando o complemento HEC-GeoRAS no *software* ArcGIS. Para estruturar a hierarquização do método AHP foram considerados a

distribuição da precipitação, a elevação e declividade do terreno, a rede e densidade de drenagem, o uso e cobertura do solo e os tipos de solo, como fatores que influenciam a ocorrência das inundações. Os autores classificaram a importância dos critérios (fatores) em uma escala de 1 a 5, sendo adotado o peso 1 para o fator de menor importância e 5 para fator de maior importância. Desta forma, os autores classificaram as áreas de inundação em cinco classes distintas de risco, sendo estas: muito baixo, baixo, moderado, alto e muito alto. Por meio do modelo multi-paramétrico foi possível gerar o mapa de risco de inundações da bacia hidrográfica do Rio Sosiani, considerando tanto os fatores físicos como os socioeconômicos da área em estudo. A validação do mapa de inundação foi realizada por meio de comparação dos resultados com dados de profundidade de inundações medidas na área, apresentando um nível de precisão dos resultados de 92% com uma relação de consistência dos julgamentos igual a 0,09, demonstrando a veracidade dos pesos adotados. Os autores concluem que a integração das técnicas AHP e SIG demonstra ser uma poderosa ferramenta de mapeamento de risco de inundações, devendo ser inserida no processo de apoio à decisão da gestão de zonas de risco.

Siddayao et al. (2014) exploraram a integração do método AHP com a modelagem espacial em um SIG, a fim de avaliar o risco de inundação da cidade de Enrile, localizada na província de Cagayan no norte das Filipinas. O SIG utilizado neste estudo é representado pelo *software* Quantum GIS, onde foram processados dados geográficos, estatísticos e históricos. Para a execução do método AHP os autores utilizaram a escala pré-definida de Saaty, classificando a importância dos critérios em 9 categorias. Como resultado, os autores notaram que o fator distância dos cursos d'água é o que mais contribui com o risco de inundação, representando 63,33% do risco total, sendo seguido pelos fatores elevação do terreno e densidade populacional, representando 26,05% e 10,62% respectivamente. A validação do julgamento dos peritos demonstrou ser consistente, apresentando uma relação de consistência igual a 0,0334, demonstrando a veracidade dos pesos adotados. No geral, os autores concluem que a ferramenta desenvolvida é um recurso de grande valia, principalmente para a realização de consultorias, gestão de riscos, zoneamento de uso da terra, estimativa de danos, avaliação de impostos sobre a terra, reivindicação de seguro de vida e de propriedade, entre muitos outros, pois permite a previsão e a prevenção de potenciais riscos, promovendo a aplicação adequada de uma política de uso do solo.

Magalhães et al. (2011) compararam o desempenho de dois métodos de mapeamento de áreas suscetíveis ao risco de inundações, método de coleta de dados em campo e método de análise hierárquica de processos (AHP), sendo estes aplicados no município de Guaçuí, Espírito Santo, Brasil. No primeiro método, os autores coletaram informações pontuais dos locais e níveis de inundações urbanas ocorridas no município de Guaçuí, utilizando como fontes séries históricas e entrevistas com os moradores mais antigos. Os dados coletados foram plotados no *software* ArcGIS, gerando um polígono de inundação real da área de estudo. Para o mapeamento de inundação utilizando o método AHP, os autores adotaram a altitude, a declividade, o uso do solo e os tipos de solo como os fatores de maior influência no aumento do nível da água, classificando a importância destes em 9 categorias distintas, conforme a escala pré-definida de Saaty. As ponderações do método AHP foram plotadas no ArcGIS, gerando um segundo polígono de inundação para a área de estudo. Como resultado da comparação, os autores identificaram que o modelo AHP superestimou o risco de inundação em 6,13%, gerando uma área inundável de 188,78 ha, quando comparado com os dados plotados do levantamento de campo, que gerou uma área inundável de 137,79 ha, apresentando pouca discrepância em relação à precisão do mapeamento. No geral, os autores concluem que o modelo AHP representa um método satisfatório para o mapeamento de áreas com risco de inundações, fornecendo bons resultados principalmente para locais de difícil acesso e com pouca informação de campo.

### **2.3.4 Sistema de Informações Geográficas (SIG)**

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) segundo Galvão (2014), são ferramentas projetadas para “armazenar, processar e recuperar com rapidez e precisão grandes volumes de informações georreferenciadas”, permitindo localizar qualquer objeto da superfície terrestre por meio de um par de coordenadas.

Lisboa Filho e Iochpe (1996) citam em seu estudo que o uso dos SIGs vem crescendo exponencialmente em todo o mundo, fato este devido ao melhor gerenciamento das informações contidas nos bancos de dados, facilitando o apoio à decisão de problemas cotidianos complexos ligados principalmente ao planejamento de órgãos públicos e à proteção do meio ambiente.

Rocha (2013) complementa mencionando que a complexidade das bases de dados geradas nos espaços urbanos, devido à diversidade e

quantidade de informações, exige o auxílio de pacotes e ferramentas computacionais como, por exemplo, os SIGs, garantindo a correta e eficiente manipulação dos dados. O autor ainda cita que a proliferação do uso desses sistemas está relacionada com sua versatilidade de processamento das informações, modelando tantos fenômenos ambientais como socioeconômicos.

Segundo Melo (2010) e Rocha (2013) a principal característica que distingue um SIG de outros sistemas computacionais é a sua capacidade de armazenar e gerenciar dados espaciais, ou seja, sua ênfase no georreferenciamento dos dados, o que só é possível devido à estrutura de seus componentes.

De acordo com Galvão (2014) os SIGs são utilizados na análise espacial de diversos fenômenos, cruzando ou sobrepondo às informações contidas em seu banco de dados, obtendo como produto final do processamento uma diversidade de mapas temáticos. Segundo Silva (2007) as principais aplicações dos SIGs são: criação de banco de dados, geração de Modelos Numéricos do Terreno (MNT), análise de imagens de satélite e recuperação de informações de posicionamento. Eles podem ainda ser combinados com modelos hidrológicos, servido como ferramenta de apoio à tomada de decisões.

Dentre as principais vantagens de utilização de Sistemas de Informações Geográficas podemos destacar a velocidade e a quantidade de informações processadas, superando muitas vezes os resultados alcançados manualmente (CASTELLO BRANCO, 1997). Lisboa Filho e Iochpe (1996) complementam mencionando a capacidade dos SIGs em manipular dados gráficos e não-gráficos de forma integrada, como outra vantagem da utilização destes sistemas, visto que promovem de forma consistente a análise e a consulta das informações geográficas inseridas.

Por outro lado, as limitações básicas de uso de um SIG segundo Rocha (2013) são referentes à necessidade de uma equipe técnica especializada, com total domínio da ferramenta, visando maximizar o potencial de uso do sistema. Outra limitação de grande importância está relacionada com a quantidade e qualidade das informações utilizadas para a composição do banco de dados, sendo, muitas vezes, obtidos dados insuficientes e/ou de baixa precisão para o processamento (BOARDMAN, 2006).

Na literatura são encontrados inúmeros estudos utilizando Sistemas de Informações Geográficas, relacionados à compreensão da dinâmica dos eventos ocorridos na superfície terrestre (GALVÃO, 2014). Neste contexto, podemos destacar o uso de SIGs no mapeamento

e análise de áreas com risco a inundações e alagamentos, sendo descritos a seguir alguns trabalhos que exemplificam esse uso.

Chaves e Peixoto Filho (2015) propuseram em seu estudo um método de identificação e mapeamento de áreas suscetíveis a inundações na Região Administrativa Fercal, localizada no Distrito Federal, Brasil. Para cumprir o proposto os autores estruturaram um banco de dados composto por um mosaico do levantamento aerofotogramétrico da região, datado em 2013, e uma base de dados elaborada pelo SICAD (Sistema Cartográfico do Distrito federal), composta por curvas de nível, hidrografia, malha urbana e malha viária na escala de 1:10.000. Estes dados foram corrigidos e processados utilizando o *software* ArcGIS, obtendo como produto o MDT (Modelo digital do Terreno) da área em estudo. A partir do MDT foram gerados os mapas de declividade e altimetria, os quais são considerados pelos autores como os fatores de maior relevância na identificação das áreas suscetíveis à inundações, sendo estes cruzados espacialmente. Como resultados, os autores verificaram que as regiões com declividade entre 2 a 5% (áreas planas) são mais favoráveis à ocorrência de inundações, pois proporcionam o acúmulo de água devido à redução da velocidade de escoamento superficial. Quanto à altimetria, os autores verificaram que as maiores suscetibilidades à inundações aparecem nas cotas mais baixas, geralmente próximas aos cursos d'água. Finalizando, os autores concluem que a metodologia proposta mostra-se adequada para a identificação de áreas suscetíveis a inundações, apresentando uma eficiência de 80% de acerto nos resultados, quando comparados com os levantamentos feitos pela Defesa Civil local.

Lawal et al. (2014) desenvolveram um modelo de extração das extensões das inundações ocorridas no estado de Perlis, Malásia, com o objetivo de avaliar a influência de cada fator condicionante de inundações, utilizando para tal a integração de um algoritmo de distâncias mínimas e a sobreposição de informações. Os autores utilizaram os *softwares* ArcGIS e ENVI, os quais processaram imagens do satélite SPOT e RADARSAT. A imagem do satélite SPOT utilizada foi uma composição multiespectral com resolução espacial de 20 metros, sendo datada em 2005. Esta imagem foi processada no *software* ArcGIS, gerando mapas dos principais fatores elencados pelos autores como condicionantes das inundações, sendo estes: geologia, cobertura do solo e declividade. Já a imagem RADARSAT, datada em 2011, foi utilizada devida sua força de penetração da radiação micro-ondas nas nuvens, permitindo a visualização da superfície terrestre mesmo com alta nebulosidade. Esta imagem foi processada no *software* ENVI,

gerando por meio de um algoritmo de distância mínima o modelo de extração das extensões atingidas pelas inundações. Através da sobreposição dos resultados gerados pelos dois programas, foi possível constatar o impacto que cada fator exerce sobre o processo de inundação. Quanto à geologia, os autores constataram que as áreas com solos ricos em argila e/ou com rochas do depósito quaternário apresentam maior impermeabilidade, sendo suscetíveis a altas velocidades de escoamento superficial, o que aumenta a probabilidade de ocorrência de graves inundações à jusante. Já quanto à cobertura do solo, os autores verificaram que as áreas recobertas por arrozais e florestas representam as principais áreas inundadas, fato este devido às elevadas proporções de argila presentes no solo. Por fim, em relação à declividade, os autores verificaram maior suscetibilidade de ocorrência de inundações em áreas com relevo plano (0–2%) e suave (2–8%), visto ocorrer uma redução na velocidade do escoamento superficial, aumentando a quantidade de água infiltrada. No geral, a integração das ferramentas de SIG demonstrou um grande potencial no combate a eventos catastróficos de inundação, auxiliando as autoridades civis na rápida avaliação dos impactos e início das medidas preventivas e corretivas.

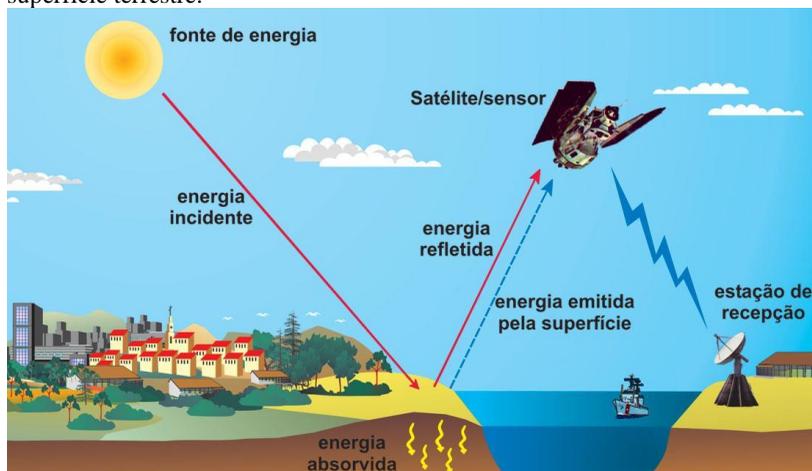
Rai e Mohan (2014) delinearão em seu estudo a aplicação de um Sistema de Informação Geográfica, objetivando mapear as zonas de risco de inundação da cidade de Varanasi, localizada no estado de Uttar Pradesh, Índia. Segundo os autores a maior parte das áreas sujeitas a inundações na Índia estão localizadas nas bacias hidrográficas dos Rios Brahmaputra e Ganges, sendo neste último localizado a área de estudo. Para atingir o objetivo proposto os autores utilizaram imagens do sensor LISS III, datada em 2008, que está acoplado ao Satélite IRS P6 (Indiano). As imagens foram georreferenciadas e digitalizadas manualmente utilizando os *softwares* ArcGIS e Erdas Image, sendo este último responsável por preparar as imagens para entrada no SIG. Como resultado os autores identificaram as áreas com risco de inundação da cidade de Varanasi, classificando as mesmas em cinco níveis de risco distintos: baixo, médio, elevado, alto e extremamente alto. No geral os autores concluem que a integração do sensoriamento remoto com SIGs desempenha um importante papel no monitoramento e mapeamento de áreas suscetíveis à inundação, auxiliando no processo de previsão de ocorrência dos eventos e prevenção dos riscos associados a estes.

### 2.3.5 Sensoriamento remoto

O termo sensoriamento remoto, segundo Florenzano (2011), nada mais é, do que a obtenção de dados da superfície terrestre por meio de sensores à distância, podendo estes estarem instalados em plataformas terrestres, aéreas ou orbitais.

Florenzano (2011) define o sensoriamento remoto como uma “tecnologia que permite obter imagens – e outros tipos de dados – da superfície terrestre, por meio da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície”, conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3 – Esquema de captação e registro da energia refletida ou emitida pela superfície terrestre.



Fonte: Adaptado de Florenzano (2011).

Segundo Meneses e Almeida (2012) e Arruda (2013) a capacidade desta ferramenta em capturar e registrar informações da superfície terrestre permite a realização de análises e monitoramentos das mais variadas situações ambientais, como por exemplo, levantamentos de recursos naturais, desmatamento, desertificação, mapeamentos temáticos, previsão de desastres ambientais, previsões de safras, entre muitas outras situações que afligem a humanidade.

De acordo com Silva (2007) e Rocha (2013) as imagens obtidas por sensoriamento remoto auxiliam no processo de geração de dados históricos e atuais sobre a cobertura da terra, proporcionando o diagnóstico e monitoramento dos diferentes usos do solo em função do

processo de urbanização. Rocha (2013) ainda complementa mencionando que a técnica de sensoriamento remoto permite a análise espacial das mudanças ocorridas nas feições da superfície terrestre, identificando por meio de comparação entre datas, padrões e relações entre as diferentes variáveis geográficas.

Dentre as vantagens de utilização da técnica de sensoriamento remoto, Meneses e Almeida (2012) mencionam:

- a) Possibilidade de programação de coleta sistemática de dados sobre um determinado alvo;
- b) Imageamento do terreno por varredura linear;
- c) Capacidade de realizar a varredura de toda a superfície do planeta em um curto espaço de tempo;
- d) Capacidade de obter imagens em várias faixas do espectro eletromagnético.

Por outro lado, Meneses e Almeida (2012) também mencionam algumas limitações da técnica de sensoriamento remoto, sendo estas:

- a) Dificuldade de obter imagens com alta resolução temporal e espacial;
- b) Necessidade de calibração dos dados antes e após o lançamento do sensor;
- c) Possibilidade de a radiação emitida por alguns sensores (RADAR, SONAR, LIDAR etc.) afetar o alvo a ser imageado.

Na literatura são encontrados diversos estudos que utilizam a técnica de sensoriamento remoto como instrumento de identificação e monitoramento de áreas suscetíveis a alagamentos e inundações, sendo alguns destes descritos a seguir.

Léon e Delgado (2013) exploraram a integração das técnicas de sensoriamento remoto com os Sistemas de Informações Geográficas, a fim de delimitar a área de inundação ocupada pelo transbordamento do Rio Soapaga, localizado no município Paz de Río, Boyacá – Colômbia. Para atingir o objetivo proposto os autores utilizaram dois tipos de imagens, uma óptica com resolução de 7 metros adquirida pelo Satélite RapidEye, e uma imagem de radar com resolução de 5 metros adquirida pela constelação de satélites COSMO-Skymed. As imagens foram tratadas e processadas utilizando os *softwares* ArcGIS e Erdas Image,

sendo este último responsável por preparar as imagens obtidas por sensoriamento remoto para a entrada no SIG. Além das imagens de satélite os autores utilizaram uma base de dados geográfica, composta pelos limites políticos administrativos e pelas áreas de ocupação urbana, o plano de desenvolvimento municipal e o modelo digital de elevação (MDE) de toda a Colômbia. Como resultado, os autores identificaram que 11,12% da área povoada são afetadas por eventos de alagamentos e inundações, totalizando 13,6% das propriedades existentes no município, atingidas. No geral, os autores concluem que mesmo com imagens de satélite de boa resolução e passando por um processo de realce de cores, não é indicado o uso somente destas para identificar as áreas de alagamentos e inundações no município, visto terem sido adquiridas 12 dias após a ocorrência do evento, necessitando o cruzamento destas com outras informações relevantes por meio de SIGs.

Mendonça et al. (2012) aplicaram técnica de sensoriamento remoto nos municípios de Campos dos Goytacazes, São Francisco de Itabapoana, São João da Barra e Quissamã, localizados na região Norte do Rio de Janeiro, Brasil, com o objetivo de identificar e quantificar as áreas atingidas pelas inundações ocorridas durante o verão de 2008 e 2009. Para atingir o objetivo proposto, os autores utilizaram imagens dos sensores TM landsat-5 com resolução de 30 m, datadas em 26/07/2007 e 20/01/2009, e CCD CBERS-2B com resolução de 20 m, datada em 02/12/2008, sendo estas adquiridas antes e após a ocorrência dos eventos de inundações. As imagens foram tratadas e processadas utilizando o *software* ENVI, obtendo como produto final mapas temáticos com destaque de três feições: solo exposto, água/sombra e vegetação. Além das imagens, os autores utilizaram uma série histórica de precipitações, dos anos 2000 a 2009, obtida pela composição dos dados pluviométricos de três estações meteorológicas presentes na região. Após a comparação entre o mapa temático gerado pela imagem do dia 26/07/2007 (período sem evento de inundação) e os mapas temáticos gerados pelas imagens dos dias 02/12/2008 e 20/01/2009 (períodos com inundação), os autores identificaram que o espelho d'água da região aumentou aproximadamente 2,61 vezes, impactando uma área de 71.600 ha. No geral, os autores concluíram que a metodologia de mapeamento de inundação utilizando o sensoriamento remoto é uma eficiente técnica de auxílio na gestão dos recursos hídricos, pois promove a avaliação socioeconômica dos prejuízos ocorridos, bem como das atividades mitigatórias necessárias para controle destes eventos.

Samarasinghe et al. (2010) compararam o desempenho de dois métodos de mapeamento de áreas suscetíveis ao risco de inundação, a modelagem hidrológica e o sensoriamento remoto, sendo estes aplicados na bacia hidrográfica do Rio Kalu Ganga, localizado no Sri Lanka. Para realizar a modelagem hidrológica os autores utilizaram dados históricos de precipitação, coletados de 13 estações meteorológicas, valor de coeficiente de atrito de Manning, extraído por meio no mapa de uso do solo da região, além de características geométricas do canal e dados de vazão do Rio. A modelagem hidrológica foi executada no *software* HEC-HMS, sendo os parâmetros do modelo calibrados e validados com uma série histórica de vazão composta por 10 anos de dados, obtidos a partir de 3 estações fluviométricas dispostas ao longo do Rio Kalu Ganga. Para o mapeamento por sensoriamento remoto, os autores utilizaram um mosaico de imagens, datadas em 2008, as quais foram obtidas pelo sensor PALSAR, que captura imagens diurnas e noturnas sob quaisquer condições atmosféricas, estando este acoplado ao satélite ALOS. As imagens foram tratadas e classificadas em duas categorias no *software* ArcGIS, sendo estas: áreas inundadas e áreas não inundadas. Os autores verificaram como resultado da comparação, que os dois métodos geraram de forma satisfatória as mesmas extensões de áreas inundadas, estando aproximadamente 19% da população localizada em áreas altamente vulneráveis à ocorrência de inundações com período de retorno de 100 anos. A técnica de sensoriamento remoto demonstrou ser ligeiramente mais precisa que a modelagem hidrológica, visto que a imagem utilizada para o mapeamento ter sido obtida dois dias após a ocorrência de um evento de inundação, diferentemente dos dados históricos obtidos, que representavam perfeitamente todos os eventos. No geral os autores concluem que o uso da técnica de sensoriamento remoto em conjunto com SIG e modelagem hidrológica representa uma poderosa ferramenta de mapeamento de riscos de inundação, devendo ser utilizada no apoio à tomada de decisão quanto à prevenção e mitigação de desastres futuros.

Outros trabalhos que utilizam os instrumentos de mapeamento descritos anteriormente são listados no Quadro 2, sendo destacado o local, o tipo de instrumento, o *software*, os parâmetros de entrada e os aprendizados obtidos com cada trabalho.

Quadro 2 – Lista de trabalhos que utilizam os instrumentos de mapeamento de inundações descritos na dissertação.

<b>Autor</b>	<b>Local</b>	<b>Instrumento</b>	<b>Software</b>	<b>Parâmetros de entrada</b>	<b>Aprendizado</b>
Bagstevold, 2015	Noruega	Modelagem hidráulica + Modelagem hidrológica	HEC-HMS + HEC-RAS	Séries históricas de precipitação; DEM; Uso e ocupação do solo; Tipos de solo; Hidrografia.	O modelo utilizado só pode modelar fisicamente uma bacia.. A qualidade dos resultados está diretamente relacionada com os dados de entrada.
Chaves e Peixoto Filho, 2015	Brasil - DF	SIG	ArcGIS	Topografia; Hidrografia; Rodovias; Malha urbana; MDT.	O método utilizado demonstrou-se adequado. Os fatores declividade e altimetria apresentaram relação direta com a suscetibilidade das áreas de inundação.
Nishio e Mori, 2015	Japão	Modelagem hidrológica	HEC-HMS	DEM; Série histórica de precipitação; Uso e ocupação do solo; Tipos de solo; Hidrografia.	Os resultados da simulação são consistentes com os eventos passados, aferindo acurácia ao modelo utilizado.
Poseiro et al., 2015	Portugal	Modelagem hidráulica	NAVGEN + SWAN + DREAMS	Agitação marinha; Vento; Nível da maré astronômica.	O método desenvolvido apresenta bons resultados, no entanto, faz-se necessária sua validação.
SMPC, 2015	Portugal	AHP	*	Ocupação do solo; Ocorrências anteriores; Morfologia; Litologia; Solos; Cursos de água.	O método utilizado apresentou bons resultados no mapeamento.

\* Ausência de informações

Andrade et al., 2014	Brasil - MG	AHP	*	Altimetria; Declividade; Uso e ocupação do solo.	O método aplicado apresentou resultados satisfatórios. Os fatores adotados apresentaram grande importância na definição de riscos de inundações..
Furtado, 2014	Brasil - SC	AHP	*	Fatores: socioeconômico; saúde; Educação; Físico ambiental; Infraestrutura urbana e ocupação; Percepção de risco.	O método aplicado apresentou resultados satisfatórios em relação à distribuição dos pesos e mapeamento das áreas suscetíveis a deslizamentos e inundações.
Galvão, 2014	Brasil - RS	SIG	ArcGis	Histórico de inundações; Declividade; DEM.	O fator topografia apresentou ser a principal condicionante à ocorrência de inundações.
Huang et al., 2014	Austrália	Sensoriamento remoto	ENVI	Séries de inundações anuais; Imagens de satélite.	A técnica utilizada demonstra precisão aceitável para mapear temporal e espacialmente a suscetibilidade à ocorrência de inundações na escala de bacia.

\* Ausência de informações

Joo et al., 2014	Coréia	Modelagem hidrológica	HEC-HMS + ReFH	Série histórica de inundações.	Os modelos utilizados demonstraram sucesso na calibração e validação dos dados. O modelo ReFH, embora simples demonstrou melhor desempenho na simulação e calibração que o modelo HEC-HMS.
Jung et al., 2014	EUA	SIG	ArcGIS + GeoHAS	Secções transversais do canal; Elevações da superfície da água; Hidrografia; DEM.	A metodologia adotada apresentou precisão razoável no mapeamento, no entanto, existem algumas limitações na análise devido às medições das imagens serem indiretas.
Lawal et al., 2014	Malásia	SIG	ArcGIS + ENVI	Imagens de satélite; Curvas de nível; Uso do solo; Tipos de solo.	As ferramentas utilizadas demonstraram um grande potencial para a realização do mapeamento. A geologia, uso e ocupação do solo e a declividade são os principais fatores de influência.
Monteiro e Kobiyama, 2014	Brasil - SC	Modelagem hidrológica	HEC-HMS + FLO-2D	Serie históricas de precipitação; Características de Infiltração; Escoamento superficial; Escoamento de base; DEM; Histórico de inundações.	Os fatores vazão e período de retorno não demonstraram grande influência para a ocorrência de inundações.

Ouma e Tateishi, 2014	Quênia	AHP + SIG	HEC-RAS + ArcGIS	Série histórica de precipitações; Elevação e declividade do terreno; Rede e densidade de drenagem; Uso e cobertura do solo; Tipos de solo.	A integração das técnicas demonstrou resultados confiáveis, no entanto, requerem-se mais informações sobre as condições climáticas e hidrológicas..
Poseiro et al., 2014a	Portugal	Modelagem hidráulica	NAVDEM + SWAN + DREAMS	Agitação marinha; Vento; Nível da maré astronômica.	O método desenvolvido apresenta bons resultados na previsão de áreas de alagamentos e inundações em zonas costeiras..
Poseiro et al., 2014b	Portugal	Modelagem hidráulica	NAVDEM + SWAN + DREAMS	Agitação marinha; Vento; Nível da maré astronômica.	O método desenvolvido apresenta bons resultados na previsão de áreas de alagamentos e inundações em zonas costeiras e portuárias.
Prina e Trentin., 2014	Brasil - RS	SIG	ArcGIS	MDE; Hidrografia; Declividade; Altimetria.	O método de mapeamento aplicado demonstrou ser plenamente confiável.
Rai e Mohan, 2014	Índia	SIG	ArcGIS + Erdas	Imagens de satélite	O SIG tem papel fundamental no mapeamento de áreas inundáveis, visto que os riscos são multidimensionais..

Sidayao et al., 2014	Filipinas	AHP + SIG	Quantum GIS	Densidade populacional; Distância do recurso hídrico; Elevação.	A associação dos métodos demonstrou eficiência no mapeamento, podendo facilmente ser replicado em outras áreas, dependendo apenas da disponibilidade e qualidade dos dados.
Cavalcanti et al., 2013	Brasil - PE	SIG	ArcGIS + SURFER	Setores censitários; DEM.	A interseção entre os fatores forneceu, de forma rápida, informações sobre o comportamento espacial do risco de inundação.
Fernando, 2013	Índia	Modelagem hidráulica	MIKE 11 + ERDAS + ILWIS	Rede de drenagem; Seção transversal do canal; Histórico de vazões.	O método aplicado apresentou resultados satisfatórios, modelando de forma rápida e precisa as áreas de inundação.
Kirk, 2013	EUA	Modelagem hidráulica	ArcGIS + HEC-HAS	DEM; Geometria do canal; Histórico de vazões; Relevo.	A modelagem apresentou muitas incertezas e limitações, necessitando de várias correções para atingir bons resultados.
Léon e Delgado, 2013	Colômbia	Sensoriamento remoto + SIG	ArcGIS + ERDAS	Imagens de satélite; Limites políticos administrativos; Áreas de ocupação urbana; Plano de desenvolvimento municipal; DEM.	As ferramentas utilizadas não permitiram identificar as áreas de inundação, sendo as imagens de radar contraindicadas para este tipo de estudo.

Nedelea et al., 2013	Romênia	SIG + Sensoriamento remoto	ArcGIS	Séries históricas de precipitação, evaporação e vazão; Curva de nível; Informações socioeconômicas e demográficas; Características e dinâmica dos canais.	A metodologia adotada permitiu o mapeamento das áreas de inundação.
Robaiana et al., 2013	Brasil - RS	SIG	SPRING + ArcGIS	Revelo; Rede de drenagem; Ocupação urbana.	O método utilizado apresentou bons resultados no mapeamento das áreas de inundação.
Rocha, 2013	Brasil - BA	SIG	ENVI + ArcGIS	Hidrografia; Malha viária; DEM; Declividade; Série de inundações.	O estudo demonstrou que é possível transformar notícias e dados da defesa civil em dados espaciais..
Scheid et al., 2013	Alemanha	SIG	*	DEM; Uso e ocupação do solo; Imagens aéreas; Hidrografia.	A metodologia demonstrou facilidade de aplicação e análise dos resultados. O numero limitado de fatores de influência foi considerado apropriado para uma análise inicial dos riscos de inundação em áreas urbanas.

\* Ausência de informações

Silva, 2013	Brasil - SP	Modelagem hidráulica + Modelagem hidrológica	ArcGIS + PCSWMM/SWMM	Séries Históricas de precipitação; Hidrografia; DEM; Malha de pontos de inundação.	A metodologia mostrou-se suficiente para identificar as áreas inundáveis. No entanto exige bons conhecimentos em técnicas de geoprocessamento.
Silveira, 2013	Brasil - SC	SIG	Quantum GIS	Sistema viário; Levantamento dos locais de inundação por fotografias e entrevistas.	O método utilizado apresentou bons resultados no mapeamento das áreas de inundação urbana.
Walega, 2013	Polônia	Modelagem hidrológica	HEC-HMS	DEM; Série histórica de precipitação; Uso do solo; Tipos de solo; Hidrografia.	O modelo utilizado demonstrou resultados promissores para a simulação de áreas inundáveis em bacias hidrográficas.
Cajazeiro, 2012	Brasil - MG	SIG	ArcView	Uso do solo; Unidades Geológicas; Altimetria; Declividade; Gradiente dos Canais; Densidade de drenagem; Rugosidade da bacia; Rede Hidrográfica.	O estudo demonstrou que obras de canalização estão diretamente relacionadas com as manchas de inundação na jusante.
Costa et al., 2012	Portugal	Modelagem hidrológica	HEC-HMS + ArcGIS + HEC-RAS	Fisiografia; Litologia; Hidrografia; Geomorfologia; Uso do solo; Séries históricas de precipitação, DEM.	Para obter bons resultados é importante detalhar os dados de base, em particular, os que caracterizam superfícies tridimensionais.

Cunha et al., 2012	Portugal	Modelagem hidráulica	HEC-RAS	Altimetria; Hidrografia; Topografia; Litologia; Pedologia; cobertura vegetal; Séries históricas de precipitação.	A modelagem demonstrou que as áreas de maior suscetibilidade a inundações, correspondem a áreas de fundo de vale ou a áreas urbanas com elevado índice de impermeabilização e insuficiência de drenagem.
Du et al., 2012	China	Modelagem hidrológica	HEC-HMS	Modelo digital de elevação (DEM); Série histórica de precipitação; Uso e ocupação do solo; Tipos de solo; Hidrografia.	Os resultados sugerem que o método mapeia adequadamente as áreas suscetíveis à ocorrência de inundações.
Kadam e Sem, 2012	Índia	Modelagem hidráulica	MIKE-FLOOD	Rede de drenagem; Histórico de vazões; Secção transversal do canal.	O modelo utilizado conseguiu representar adequadamente os locais e os padrões das inundações, no entanto, a simulação da elevação da lâmina da água foi subestimada.
Mendonça et al., 2012	Brasil - RJ	Sensoriamento remoto	ENVI	Imagens de satélite; Série histórica de precipitação.	A metodologia mostrou-se eficiente no mapeamento das áreas de inundação.
Muller, 2012	Brasil - SC	AHP + SIG	ArcGIS	Declividade; Uso do solo; Tipos de solo; Geomorfologia.	O método utilizado demonstrou resultados satisfatórios, no entanto, a diversidade de materiais cartográficos, limita a realização da pesquisa.

Mulungo, 2012	Brasil - SC	Modelagem hidrológica + Modelagem hidráulica	ArcGIS + HEC-HMS + HEC-RAS + SPRING + TGO	Seção transversal do canal; Histórico de precipitação e vazão; DEM; Uso do solo; Tipos de solo; Dados de chuva de projeto.	O processo de urbanização acresceu as áreas impermeáveis acarretou graves problemas ao sistema de drenagem.
Sarhadi et al., 2012	Irã	Modelagem hidráulica + Sensoriamento remoto	HEC-RAS	Séries de Vazão; Condições de contorno; Topografia; Seções transversais do canal; Coeficiente de Manning.	A metodologia demonstrou capacidade de identificação e previsão das áreas de vulnerabilidade, no entanto, as previsões foram limitadas pela falta de imagens com alta resolução.
Simões e Trannin, 2012	Brasil - SP	SIG + Modelagem hidrológica	ArcGIS + HEC-HMS	Série histórica de precipitação; Coeficiente de atrito de Manning; Uso do solo; Características geométricas do canal; Série de vazões; Imagens de satélite.	A metodologia utilizada necessita de atualizações constantes das informações. Outros limitantes para seu uso são a falta de uma escala apropriada para os dados e a necessidade de um especialista em hidrologia e SIG.
Sousa, 2012	Portugal	Modelagem hidráulica	HEC-RAS + ArcGIS	Seção transversal do canal; coeficiente de perda de energia; estruturas hidráulicas; Coeficiente de rugosidade de Manning; coeficiente de contração e expansão.	O principal fator contribuinte para a ocorrência de inundações naturais é a precipitação, sendo as características do relevo, fatores secundários.

Tahmasbinejad et al., 2012	Irã	Modelagem hidráulica + Modelagem hidrológica + SIG	HEC-RAS + HEC-HMS + ArcGIS	Fisiografia; Litologia; Geomorfologia; Hidrografia; Uso e ocupação do solo; Séries históricas de precipitação, DEM.	A integração das técnicas permitiu a simulação de áreas de inundação, no entanto, faz-se necessária a padronização das bases de dados.
Correia, 2011	Brasil - RJ	Modelagem hidráulica	ArcGIS + HEC-RAS	Rede viária; Hidrografia; DEM; Pluviometria; Uso e ocupação do solo; Tipos de solo; Áreas impermeáveis; Seções transversais do canal.	O método utilizado permitiu o levantamento e processamento dos dados de forma rápida, concisa e de fácil validação. No entanto, a falta de dados recentes, com precisão e detalhamento dificulta a realização da pesquisa.
Magalhães et al., 2011	Brasil - ES	AHP	ArcGIS	Séries históricas de inundação; Altimetria e; Declividade; Uso da terra; Tipo de solo.	O método apresentou resultados satisfatórios, no entanto, superestimou o risco em relação aos dados levantados em campo. A grande dificuldade está relacionada à atribuição de notas e pesos aos fatores, devido a influência direta do pesquisador.

Ribeiro e Lima, 2011	Brasil - MG	Modelagem hidráulica + Modelagem hidrológica	ArcGIS + HEC-RAS	Rede de drenagem; Seções transversais do canal; Limites da Calha; DEM; Declividade; Uso e cobertura do solo.	A integração das técnicas de simulação demonstrou grande potencial no mapeamento de manchas de inundações.
Sales, 2011	Brasil - CE	Modelagem hidráulica + Modelagem hidrológica	HEC-HMS + SWMM	Série histórica de precipitação; Área de contribuição; Tubulações de drenagem; DEM; Uso e ocupação do solo; Tipos de solo; Hidrografia.	As ferramentas apresentaram credibilidade de aplicação, reduzindo o tempo de análise e acrescentando confiabilidade aos resultados. No entanto, o <i>software</i> HEC-HMS não deve ser utilizado em simulações de bacias urbanas, haja vista, trabalhar apenas com picos de cheias.
Cardozo et al., 2010	Brasil - SC	SIG	SPRING	Séries históricas e pontos cotados de inundações; Hidrografia; Dados socioeconômicos.	Os principais fatores de influência estão relacionados com a impermeabilização, canalização e retificação dos canais, ocupações das margens dos cursos d'água e lançamento de lixo e esgoto nas redes de drenagem.
Lima, 2010	Brasil - RS	SIG	IDRISI + SURFER	Histórico pluviométrico; Geologia; Tipo de Solo; Uso do solo; Rede de drenagem; Declividade; Altimetria; Obras de drenagem.	Os princípios limitantes estão relacionados aos recursos materiais e a escassez na disponibilidade de dados.

Oleyiblo e Li, 2010	China	Modelagem hidrológica + SIG	HEC-HMS + HEC-GeoHMS	Séries históricas de precipitação, vazão e inundação; DEM.	A metodologia adotada demonstra que a complexidade da estrutura do modelo não determina a sua adequação e eficiência. O modelo HEC-HMS apresenta uma estrutura simples, no entanto, demonstra ser uma poderosa ferramenta de previsão de áreas inundáveis.
Samarasinghe et al., 2010	Sri Lanka	Modelagem hidrológica + Sensoriamento remoto	HEC-HMS + ArcGIS	Série histórica de precipitação; Coeficiente de atrito de Manning; Uso do solo; Características geométricas do canal; Histórico de vazões; Imagens de satélite.	A integração entre as técnicas demonstrou sucesso no mapeamento de riscos de inundação, permitindo realizar de forma eficiente a calibração, validação e simulação no HEC-RAS.
Vozinaki et al., 2010	Grécia	Modelagem hidráulica	MIKE 11	Hidrografia; Geomorfologia e seções transversais do canal; Planície de inundação; Uso do solo; Vazão e altura da lâmina de água.	A ferramenta de modelagem adotada demonstrou baixa precisão nos resultados, o que pode ser justificado pela escassez dos dados de campo e a unidimensionalidade do modelo.
Vu et al., 2010	Hipotético	Modelagem hidráulica + Modelagem hidrológica	SOBEK + FEWS + ArcGIS	Superfície de elevação do nível da água; DEM; Seções transversais do canal.	A precisão do método utilizado varia em função da precisão dos dados de entrada.

Vu e Tingsanchali, 2010	Vietnã	Modelagem hidráulica	MIKE NAM + MIKE 11	Precipitação diária; Geometria do canal; Dados de inundação.	O modelo MIKE 11 apresentou resultados aceitáveis na simulação de enchentes e inundações.
Guimarães e Penha, 2009	Brasil - MG	SIG	Ashtech Solutions + MAPGEO + ArcGIS	Altimetria.	A metodologia aplicada mostrou-se satisfatória, no entanto, faz-se necessário uma caracterização confiável do relevo.
Hora e Gomes, 2009	Brasil - BA	SIG	ArcView	Altimetria; Declividade; Tipos de solo; Dados hidrológicos; Uso do solo; Características socioeconômicas.	O método de mapeamento revelou que os eventos de inundação são decorrentes, em sua grande maioria, às ocupações informais oriundas da expansão urbana.
Tuteja e Shaikn, 2009	Austrália	Modelagem hidráulica	MIKE 11 + MIKE 21 + MIKE FLOOD	Seções transversais do canal; Nível da água; Vazão; Potencial matricial; Tipo de solo; Taxa de infiltração superficial; Taxa de evaporação potencial.	Os resultados das modelagens proporcionaram estimativas adequadas das áreas de inundação, no entanto, a medida que o fluxo aumenta, os modelos tendem a diferir seus resultados, passando o modelo MIKE 21 a apresentar maior precisão.

Giuntoli, 2008	Brasil- SP	Modelagem hidrológica + SIG	FileMarker Pro + Web-GIS	Frequência de ocorrência de inundação; Área da bacia; Número de habitantes; Armazenamento inicial de água no solo; Tempo de alerta a população; Tempo de resgate da população atingida; Tempo de retorno.	O portal demonstrou ser uma ferramenta de uso simples e confiável. As ferramentas utilizadas apresentaram-se valiosas e de baixo custo para a estimativa de risco de inundação em áreas urbanas.
Rosa et al., 2008	Brasil - ES	AHP	IDRISI + ArcGIS	Altimetria; Declividade; Pluviometria; Uso e ocupação do solo; Pedologia.	A ferramenta metodológica permitiu a obtenção de mapas de inundação com clara identificação das classes de risco, sendo as de maior risco associadas às características: terreno fortemente ondulado, ocorrência de pastagem e baixas altitudes.
Vargas et al., 2008	Portugal	Modelagem hidráulica	ELCIRC + SWAN + LITPROF	Vazão; Condições de vento; Topo-hidrografia; Características granulométricas; Séries temporais; Dados de nível do mar, corrente de maré e parâmetros de agitação marítima.	A combinação dos <i>softwares</i> na modelagem hidráulica garante robustez à metodologia adotada, no entanto, nota-se que se as informações topográficas tivessem melhor resolução espacial, haveria menor incerteza no mapeamento.

Silva, 2007	Brasil - PB	AHP	SPRING	Geologia; Uso do solo; Geomorfologia, Adensamento urbano; Pluviometria; DEM. Pedologia; Hidrografia.	O método de mapeamento de áreas de risco de inundação demonstrou ser de fácil uso e acesso, no entanto, o <i>software</i> de geoprocessamento, demonstrou instabilidade, exigindo a instalação de diferentes versões.
Silva, 2006	Brasil - MG	SIG	SPRING	Hidrologia; Altimetria; Histórico de inundações; Cotas de inundações; Hidrografia.	O método utilizado demonstrou ser robusto e eficiente, gerando resultados muito próximos da realidade.
Suleiman, 2006	Brasil - SP	Modelagem hidráulica	Matlab	Número de trechos considerados; Comprimento relativo a cada trecho do canal; Cota da rua em cada seção; Forma das seções; Período de simulação.	O modelo utilizado demonstrou ser estável e de fácil aplicação, fornecendo uma boa estimativa das áreas de inundações. No entanto, a modelagem apresentou-se muito sensível ao levantamento topográfico..

Fonte: desenvolvido pelo autor

Dentre os 62 estudos apresentados no quadro anterior, 33 são referências internacionais e 29 nacionais, dos quais, 17 utilizam o instrumento SIG, 14 utilizaram modelagem hidráulica, 6 utilizaram modelagem hidrológica, outros 6 utilizaram o método AHP, 2 utilizaram o sensoriamento remoto e 17 utilizaram dois ou três destes instrumentos associados. A Tabela 2 apresenta de uma forma geral o número de trabalhos, em nível nacional e internacional, em que cada instrumento é utilizado, sendo consideradas as associações.

Tabela 2 – Número de trabalhos em que cada instrumento é utilizado.

Instrumento	Número de trabalhos em que é utilizado	
	Nacionais	Internacionais
Modelagem Hidrológica	7	10
Modelagem Hidráulica	5	16
Sensoriamento remoto	1	5
AHP	16	3
SIG	6	10

Fonte: desenvolvido pelo autor

Tanto em nível nacional, como internacional, os estudos elencaram a falta de dados em quantidade e qualidade como a principal limitação para o mapeamento de áreas suscetíveis a inundação, citando desde bases cartográficas antigas e imagens de satélite com baixa resolução, até séries históricas com falhas de dados ou mesmo inexistentes. Outras limitações elencadas pelos autores são referentes à necessidade de *hardwares* com grande capacidade de processamento, *softwares* comerciais com licenças dispendiosas e conhecimento técnico específico para utilização de cada instrumento. O planejamento e a gestão da drenagem urbana no Brasil, utilizando instrumentos metodológicos como ferramenta de apoio à decisão, enfrenta, segundo o Plano Diretor Participativo (BRASIL, 2004) dificuldades operacionais, devido à absoluta falta de estrutura administrativa, pessoal qualificado e instrumental apropriado de trabalho, o que na maioria das vezes inviabiliza o emprego destas tecnologias. De acordo com o Plano Nacional de Saneamento Básico - PLANSAB (BRASIL, 2013) a baixa qualidade técnica do corpo de funcionários é devida, principalmente, à baixa remuneração salarial, a falta de interesse do pessoal qualificado e à forte influência de empresas prestadoras de serviço.

No geral, dentre todos os municípios brasileiros que apresentam em seu quadro de secretarias uma específica para o serviço de manejo de águas pluviais, um conjunto de 5.256 municípios, apenas 6,1% afirmam utilizar tanto informações meteorológicas, como hidrológicas, como instrumentos de planejamento e prevenção de desastres, já outros 8,5% afirmam utilizar apenas uma das informações (IBGE, 2008).

Sob esse contexto, este trabalho buscou desenvolver um instrumento metodológico simplificado, de baixo custo e confiável, para mapear as áreas de suscetibilidade à ocorrência de alagamentos e inundações urbanas, servindo como ferramenta de apoio à gestão dos recursos hídricos e planejamento das cidades. O instrumento desenvolvido levou em consideração a carência orçamentária, infraestrutural e de capacidade técnica dos sistemas de administração pública, além de considerar informações de fácil acesso e que não necessitem de grandes séries históricas. A fim de comparar os resultados do instrumento desenvolvido foi utilizado um instrumento consagrado na literatura, denominado AHP-SIG, o qual, apesar de muito eficiente e de rápida aplicação, não é difundido entre os setores públicos, devido principalmente ao seu elevado custo infraestrutural, de licenciamento e de exigência de conhecimento técnico especializado.

A validação tanto do instrumento desenvolvido, como do instrumento AHP-SIG, foi realizada por sobreposição dos resultados gerados pela aplicação dos instrumentos, sobre um mapa de pontos de alagamentos e inundações frequentemente ocorridos na área de teste, o qual foi construído com base em um inventário de informações obtidas junto à população, às secretarias e órgãos de gestão da drenagem urbana e divulgados nos meios de comunicação local.

O método de inventário de pontos, como referência de validação, não é muito difundido na literatura, sendo encontrado apenas nos trabalhos desenvolvidos por Giuntoli (2008) e Silveira (2013). Fato este, possivelmente é justificado pela dificuldade de execução, visto as informações obtidas serem em sua maioria baseadas em lembranças da população, podendo distorcer a realidade caso não seja corretamente aplicada.



### 3 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

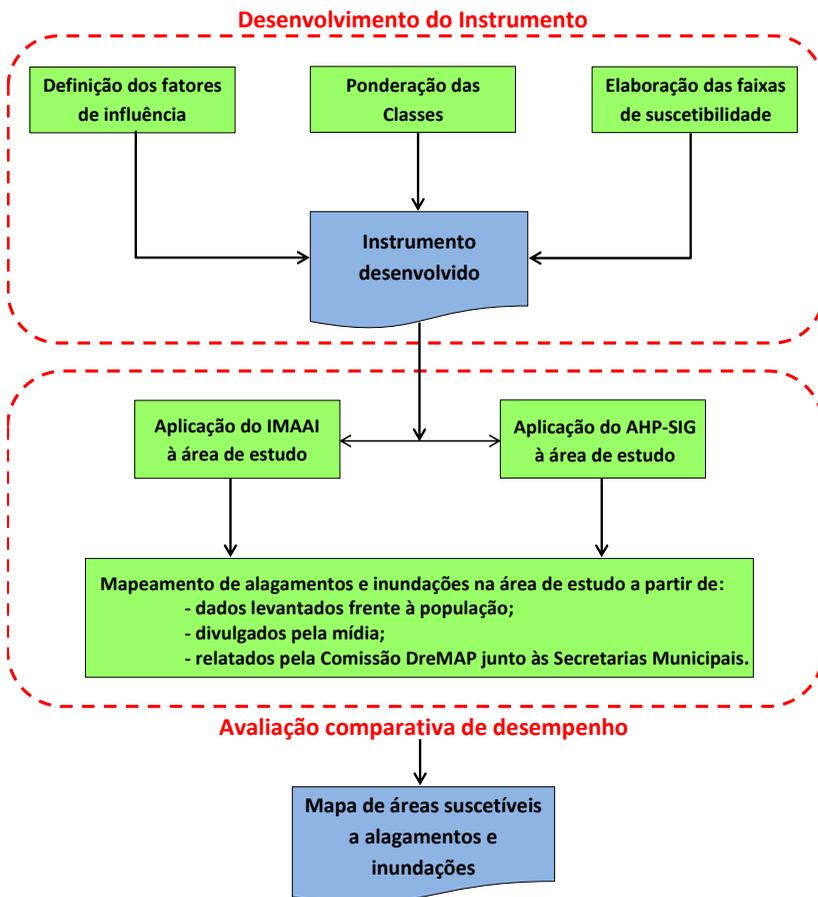
Com base na classificação apresentada por Gil (2010), pode-se caracterizar a metodologia utilizada para o desenvolvimento deste trabalho, segundo sua finalidade, como uma pesquisa aplicada, visando propor um instrumento metodológico simplificado e de baixo custo para mapear as áreas suscetíveis à inundação, a qual poderá ser utilizada pelos gestores públicos como ferramenta de apoio a tomada de decisão. De acordo com Marconi e Lakatos (2007) e Vergara (2013) a pesquisa aplicada caracteriza-se por seu interesse prático, visando à utilização ou aplicação dos resultados para resolver problemas concretos. Moreira e Caleffe (2008) e Gil (2010) complementam mencionando que a pesquisa aplicada é voltada à aquisição de conhecimentos de uma situação específica, com o propósito de resolver o problema por meio do desenvolvimento de um novo processo ou produto.

Com relação aos objetivos, a pesquisa final é classificada como explicativa, no entanto, é precedida pela pesquisa exploratória, a qual segundo Moreira e Caleffe (2008) e Gil (2010) visa desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, proporcionando maior familiaridade com determinado problema. Já a pesquisa explicativa tem como propósito central identificar os fatores que determinam ou contribuem de alguma forma, para a ocorrência de determinado fenômeno, sendo considerado o tipo mais complexo e delicado de pesquisa, visto o elevado risco de ocorrência de erros (MOREIRA; CALEFFE, 2008; GIL, 2010 e VERGANA, 2013).

Quanto à forma de abordagem do problema, o presente estudo adotará enfoque quantitativo, visto que busca entender e explicar fenômenos ambientais influenciados pelo desenvolvimento urbano desordenado, utilizando para tal, bases de dados espaciais e de séries históricas expressas em quantificações numéricas. Para finalizar, a pesquisa é classificada, segundo o método empregado, como experimental, pois consiste na determinação de um objeto de estudo, na seleção das variáveis de influência e na definição das formas de controle e de observação dos efeitos que estas produzem sobre o objeto (GIL, 2010). O autor menciona ainda que o método explicativo é considerado adequado para pesquisas que procuram estudar a influência de determinados fatores sobre a ocorrência de fatos ou situações.

O fluxograma da pesquisa apresentado na Figura 4, resume as etapas que serão realizadas para o desenvolvimento e avaliação do novo instrumento de mapeamento das áreas suscetíveis à ocorrência de alagamentos e inundações, neste trabalho denominado IMAAI.

Figura 4 – Fluxograma da pesquisa utilizado para realizar o desenvolvimento e validação do IMAAI.



Fonte: desenvolvido pelo autor.

A metodologia para desenvolvimento e avaliação do IMAAI foi realizada tomando como base a combinação dos procedimentos metodológicos propostos por Furtado (2014) e SMPC (2015). O trabalho foi dividido em duas etapas: 1) desenvolvimento do instrumento metodológico e 2) avaliação comparativa de desempenho. A avaliação comparativa pode ser subdividida em outros 3 subitens: 2.1) aplicação do IMAAI à área de estudo, 2.2) aplicação da metodologia AHP-SIG à área de estudo; 2.3) mapeamento de inundações e alagamentos junto a

população, aos registros feitos pela mídia e os registros dos órgãos públicos ligados à drenagem no município. A seguir são detalhadas estas etapas.

### 3.1 DESENVOLVIMENTO DO INSTRUMENTO METODOLÓGICO

Inicialmente, é importante esclarecer que foi levada em consideração a estruturação do sistema de gestão de drenagem urbana atual do Brasil, sendo considerado que o instrumento proposto será usado nestas condições. Desta forma, para o desenvolvimento do instrumento metodológico IMAAI foram impostos os seguintes requisitos:

- ser um instrumento de baixo custo de aplicação para que possa ser difundido por grande parte dos serviços públicos ou não, que tratam da gestão da drenagem urbana;

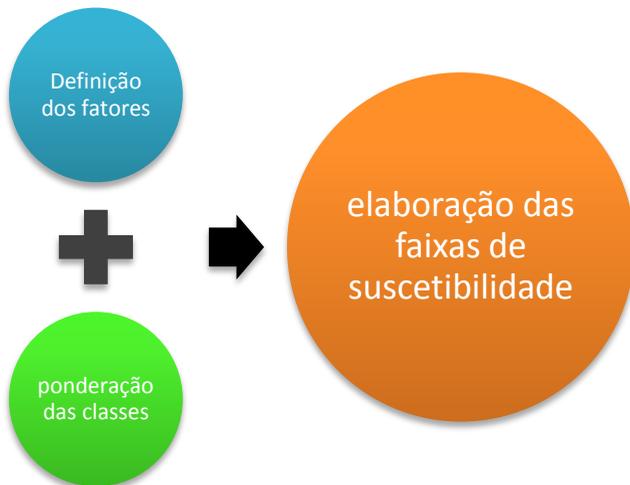
- não incluir necessidade a de pessoal altamente especializado em sistemas computacionais, SIG, mapeamento em geral e/ou simulação computacional, mas conhecer minimamente as condicionantes do processo de alagamentos e inundações urbanas;

- ser um instrumento confiável, ou seja, ser capaz de se aproximar das respostas, em termos de mapeamento de inundações urbanas, de técnicas já consagradas;

- ser um instrumento que consiga representar a escala urbana, incluindo a microdrenagem e a presença ou não de técnicas compensatórias.

Para atender a estes requisitos foi escolhido um instrumento do tipo análise simplificada de informações por meio do tabelamento e ponderação de dados, baseada estruturalmente no método proposto por Furtado (2014) e SMPC (2015). O desenvolvimento do instrumento proposto é composto de três níveis de informação, articulados conforme apresentado na Figura 5.

Figura 5 – Interação entre os níveis de informação que compõem o instrumento proposto.



Fonte: desenvolvido pelo autor.

### *Fase 1 - Definição dos fatores de influência*

Para a definição dos fatores de influência foi realizado um levantamento bibliográfico de estudos que abordam o tema mapeamento de áreas suscetíveis a inundações e alagamentos, considerando todos os tipos de instrumentos possíveis de serem empregados. Foram encontrados e pesquisados 62 trabalhos. Os fatores encontrados nestes estudos foram compilados em planilhas eletrônicas de Excel, tabulando desta forma quantos e quais os principais fatores adotados no conjunto de trabalhos pesquisados. Foram escolhidos 6 fatores para compor o IMAAI, sendo estes os que apresentaram maior repetição no conjunto de estudos analisados. Os fatores escolhidos pela revisão de literatura e tabulados no Excel foram: uso e ocupação do solo, altimetria, hidrografia, precipitação média anual, tipos de solo e declividade. Além desses fatores foram incluídos outros dois pré-definidos pela autora, sendo estes: disposição da rede de drenagem urbana e estruturas compensatórias integradas, como por exemplo, valas, poços e trincheiras de infiltração.

Os fatores pré-definidos foram estabelecidos devido à limitação de estudos que utilizem estas informações no mapeamento de áreas de alagamentos e inundações urbanas. A presença da microdrenagem bem

como a existência de técnicas compensatórias influencia fortemente o risco de alagamentos e inundação nas áreas urbanas. A consideração destes elementos no mapeamento dentro da zona urbana desvia parcialmente o foco da macrodrenagem (rede de drenagem natural composta por rios e córregos) e incorpora a microdrenagem (rede de drenagem urbana de escoamento da água pluvial), buscando desta forma, reduzir os erros do mapeamento das inundações ocorridas nas áreas urbanas. A consideração dos fatores pré-definidos foi feita por meio da localização geográfica tanto da rede de drenagem, como das estruturas compensatórias integradas a esta, sendo, para cada tipo de estrutura, associado um grau de risco em ocasionar alagamentos e inundações, devido ao mau planejamento, construção ou mesmo manutenção.

Ao todo, foram selecionados 6 fatores a partir da compilação dos estudos de mapeamentos de inundação, além dos dois fatores pré-definidos, totalizando ao final do desenvolvimento o IMAAI, 8 fatores considerados os mais relevantes para o mapeamento de alagamentos e inundações urbanas. Selecionados os fatores passou-se a segunda etapa, que consiste na atribuição da importância relativa entre os fatores, através da ponderação das classes que os compõem.

### *Fase 2 – Subdivisão dos fatores em classes e atribuição de notas*

Após definidos os fatores que foram considerados influentes para o mapeamento de alagamentos e inundações, foram levantadas na literatura as principais classes associadas a cada fator, isto é, foram elencados os tipos de ocorrência do fator em classes que apresentam características distintas e que podem influenciar de forma diferente no mapeamento das inundações. Um exemplo dessa subdivisão do fator em classes é apresentado no Quadro 3, onde o fator tipos de solo foi subdividido nas classes: superfícies de água, fluvissoles, cambissolos e leptossolos, conforme suas características distintas.

Quadro 3 – Exemplo de subdivisão dos fatores em classes.

<b>Fatores</b>	<b>Classes</b>	<b>Ponderação</b>
Tipos de solo	Superfícies de água	
	Fluvissoles	
	Cambissolos	
	Leptossolos	

Fonte: adaptado SMPC (2015).

Realizada a subdivisão de todos os fatores em suas respectivas classes, foi atribuída a cada classe uma nota que represente o grau de influência que cada classe, dentro de seu respectivo fator, exerce sobre a ocorrência ou não de alagamentos e inundações. As notas foram distribuídas, com base em levantamentos bibliográficos e revisão de literatura, de forma crescente, numa escala de 0 a 10, sendo atribuído nota "0" à classe que apresenta reduzida ou nenhuma influência sobre a ocorrência de alagamentos e inundações. Um exemplo desta distribuição de notas é apresentado no Quadro 4.

Quadro 4 – Exemplo de atribuição de notas às classes.

<b>Fatores</b>	<b>Classes</b>	<b>Ponderação</b>
Uso do solo	Fragmento florestal	1
	Reflorestamento	2
	Pastagem	3
	Agricultura	5
	Solo exposto	7
	Estrada Pavimentada	8
	Área urbana	8
	Corpos d'água	10

Fonte: adaptado de Magalhães et al. (2011).

Foi então produzido um índice de suscetibilidade à inundação, calculado a partir do somatório das notas dos fatores para um determinado local. Este índice pode ser calculado para um ponto específico e/ou a partir dos cálculos pontuais pode ser espacializado em um mapa. Para tanto, propôs-se um sistema de mapeamento simplificado.

### *Fase 3 – Definição das faixas de suscetibilidade*

Realizada a ponderação das variáveis, foram hierarquizados os graus de suscetibilidade à ocorrência de alagamentos e inundações, elaborando faixas de suscetibilidade por meio da combinação das máximas e mínimas notas obtidas nas classes de cada fator. Foram adotadas quatro faixas de suscetibilidade, sendo estas: baixa, média, alta e muito alta, conforme a classificação de riscos de inundações estabelecida pelo Ministério das Cidades (Brasil, 2007) no estudo de mapeamento de riscos em encostas e margem de rios, apresentado no Quadro 5.

Quadro 5 – Classificação dos graus de risco a inundação.

Grau de risco	Descrição
<b>R1</b> <b>Baixo ou sem</b> <b>risco</b>	Drenagem ou compartimentos de drenagem sujeitos a processos com baixo potencial de causar danos e baixa frequência de ocorrência (sem registro de ocorrências significativas nos últimos 5 anos).
<b>R2</b> <b>Médio</b>	Drenagem ou compartimentos de drenagem sujeitos a processos com médio potencial de causar danos e média frequência de ocorrência (registro de 1 ano de ocorrência significativa nos últimos 5 anos).
<b>R3</b> <b>Alto</b>	Drenagem ou compartimentos de drenagem sujeitos a processos com alto potencial de causar danos, média frequência de ocorrência (registro de 1 ano de ocorrência significativa nos últimos 5 anos), que envolvem moradias de alta vulnerabilidade.
<b>R4</b> <b>Muito alto</b>	Drenagem ou compartimentos de drenagem sujeitos a processos com alto potencial de causar danos, principalmente sociais, alta frequência de ocorrência (pelo menos 3 eventos significativos em 5 anos), que envolvem moradias de alta vulnerabilidade.

Fonte: adaptado de Brasil (2007).

As faixas de suscetibilidade foram construídas de modo que os dados representem a melhor distribuição dos resultados, isto é, adotaram-se intervalos distintos para cada faixa, visando à conformidade dos resultados com os conhecimentos de suscetibilidade a alagamentos e inundações consagrados na literatura. Este critério de intervalos distintos foi adotado visando evitar superestimação das áreas delimitadas com suscetibilidade muito alta, ao mesmo tempo evitando subestimação das áreas com baixa suscetibilidade, como por exemplo, topos de morros. O critério de intervalos distintos adotado neste trabalho é semelhante ao método de classificação padrão do *software* ArcGIS, denominado *Natural Breaks Jenks*, que segundo Dias (2013) é indicado para dados com distribuição não uniforme.

Finalizado o desenvolvimento do IMAAI foi elaborado um quadro que apresenta as classes e ponderações dos 8 fatores de influencia no âmbito nacional, o qual pode ser usado de forma integral ou parcial, de acordo com as características da área escolhida para o mapeamento. Caso o quadro seja utilizado de forma parcial, um novo quadro deve ser construído, tomando como base as classes e ponderações dos 8 fatores definidos no quadro nacional. No caso de adaptação do quadro nacional, uma nova escala deverá ser construída, conforme a somatória das ponderações máximas e mínimas, sempre respeitando os intervalos distintos. Foi ainda desenvolvido um fluxograma do passo a passo para facilitar a aplicação do método desenvolvido.

Finalizada esta etapa da pesquisa, passou-se para a segunda etapa, onde foi testado e comparado o desempenho do método IMAAI.

### 3.2 AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE DESEMPENHO DO IMAAI

A segunda etapa metodológica compreende o processo de aplicação do instrumento desenvolvido, bem como a comparação de seus resultados com o de outro instrumento tradicionalmente utilizado em mapeamentos de áreas de inundações, o AHP-SIG. A comparação de desempenho das duas metodologias foi realizada a partir do levantamento de ocorrências de inundações na área de estudo, com base em levantamentos junto à população local, aos órgãos públicos e à mídia local. Esta informação social foi condensada em um mapa que foi utilizado para comparação do IMAAI e do AHP-SIG, em relação à capacidade de prever as áreas inundáveis na área de estudo. A seguir, são detalhadas as três fases desta etapa de teste do IMAAI, sendo estas: aplicação do IMAAI à área de estudo; aplicação do SIG-AHP à área de estudo e desenvolvimento do mapa de inundações ocorridas na área de estudo.

A área de estudo utilizada para os ensaios foi o Distrito do Campeche, localizado no Município de Florianópolis – SC. Este recorte foi escolhido devido às constantes ocorrências de eventos de alagamentos e inundações, acompanhadas *in loco*. Além disso, esta área foi, e continua sendo, local de estudo de outros trabalhos desenvolvidos pelo laboratório em que a autora está integrada. A seguir será descrita a forma de aplicação dos instrumentos na área de ensaio.

### 3.2.1 Aplicação do IMAAI à área de estudo

Após desenvolver o instrumento este foi aplicado na área de estudo no Distrito do Campeche. Foi feita a opção de testar o IMAAI para toda a área e, portanto, foram utilizadas as tecnologias de mapeamento e de SIG com o intuito de testar a máxima funcionalidade do instrumento, mas é importante lembrar que o IMAAI também pode ser aplicado em situações mais simples. Para o teste na área de estudo, foi necessário levantar todas as informações sobre os fatores que influenciam a ocorrência de inundações e alagamentos, definidos como relevantes para o IMAAI. As informações foram obtidas por meio de revisão de literatura, classificação de aerofotos, tratamento de base de dados de projetos de drenagem e dados de precipitação.

Como o presente trabalho descreve o desenvolvimento, aplicação e validação de uma nova metodologia, fez-se necessário a apresentação dos resultados espacialmente. Desta forma, foi necessária a criação de um banco de dados espacial de todos os fatores, sendo os procedimentos adotados descritos a seguir.

#### Uso e ocupação do solo

Para a elaboração do mapa de uso e ocupação do solo do Distrito do Campeche, foi utilizada uma composição de imagens aerofotogramétricas, elaborada e cedida pela Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDS) do Estado de Santa Catarina no ano de 2010. Como a composição de imagens já estava corrigida geometricamente e georreferenciada, apenas foi importada a mesma para o programa ArcGIS, seguindo para a classificação da imagem.

A classificação de uso e ocupação do solo foi realizada utilizando a ferramenta *Image Classification*, por classificação supervisionada, isto é, foi coletado manualmente, por meio de digitalização em tela, amostras de treinamento representativas de cada classe de uso do solo.

Para este estudo foram consideradas cinco classes de uso e ocupação do solo, sendo estas: corpo d'água, urbanização, solo exposto/areia, vegetação rasteira e floresta. O número de amostras coletadas em cada classes foi variável, sendo proporcional a sua representação na área. Após a coleta de amostras a imagem foi classificada utilizando o método de Máxima Verossimilhança (MAXVER).

## **Altimetria**

Para a construção do mapa de altimetria/hipsometria foi utilizado um *shape* de curvas de nível digitalizadas e disponibilizadas eletronicamente por IBGE (2011). As curvas de nível foram importadas e recortadas de acordo com os limites da área de interesse. Foi realizada a triangulação do terreno utilizando a ferramenta *3D Analyst*. Após a geração da grade triangular regular do Distrito, esta foi convertida em *raster*, gerando o Modelo digital de Elevação do terreno (DEM), o qual representa digitalmente a variação hipsométrica do Distrito do Campeche, por meio de uma matriz de pixels e suas respectivas altitudes. Para facilitar a aplicação espacial do instrumento IMAAI foram adotadas apenas duas classes com intervalo fixo de 250 m para a representação da altimetria, sendo estas de 0 a 250m e de 250 a 500m.

## **Declividade**

O mapa de declividade foi gerado a partir do DEM. Inicialmente foi feito o preenchimento de possíveis falhas no DEM, utilizando para tal a ferramenta de análise espacial hidrológica, denominada *Fill*. Após o preenchimento de possíveis falhas, foi realizada a classificação da declividade em porcentagem, utilizando a ferramenta de análise espacial de superfície, denominada *slope*. Foram adotadas 6 classes de declividade, conforme estabelecido pela EMBRAPA (2006), sendo estas: plano (0-3%), suavemente ondulado (3-8%), ondulado (8-20%), fortemente ondulado (20-45%), montanhoso (45-75%) e fortemente montanhoso ou escarpado (>75%).

## **Hidrografia**

O mapa de rede hidrográfica foi gerado a partir da base matricial e vetorial elaborada e disponibilizada eletronicamente por IPUF (2000). O *shape* de hidrografia foi importado para o programa de geoprocessamento, sendo posteriormente recortado conforme a área de interesse para o estudo. Os vetores foram transformados em polígonos e rasterizados para a obtenção de duas classes de hidrografia distintas, a presença de rede hidrográfica, incluindo sua área de várzea, e a ausência de hidrografia.

## Precipitação média anual

Para a elaboração do mapa de precipitação média anual, utilizou-se os dados de precipitação de 8 estações meteorológicas, automáticas e convencionais, distribuídas em toda a Grande Florianópolis, localizadas no Campeche, Agrônômica, Canasvieiras, Costeira do Pirajubaé, Rio Vermelho, Trindade, Coqueiros e Palhoça. As séries de precipitação utilizadas foram obtidas gratuitamente por meio das plataformas: <http://www.cemaden.gov.br/mapainterativo>, <http://hidroweb.ana.gov.br/> e <http://www.labhidro.ufsc.br/pt/dados-ufsc>, com periodicidade diária para os dados obtidos do hidroweb e horária para os dados das estações do CEMADEN e do LabHIDRO.

Os dados de precipitação foram tabulados em planilhas eletrônicas de Excel e preparados para a entrada no programa de geoprocessamento, sendo mantidas apenas as informações de localização geográfica das estações, nome da estação, e dados de precipitação média mensal e anual de cada estação. Após a preparação dos dados, estes foram importados para o programa ArcGIS e convertidos em *shapefile* utilizando as ferramentas *Add XY Data* e *Export Data*. Os dados das estações meteorológicas foram interpolados utilizando o método IDW (*Inverse Distance Weighting*), produzindo desta forma, a distribuição do regime de precipitação anual ocorrida no Distrito do Campeche. Para facilitar a aplicação espacial do instrumento IMAAI foram adotadas apenas três classes de precipitação média anual, com intervalo fixo de 300mm, variando estas entre 1.800 e 2.700mm anuais.

## Tipos de solo

O mapa de tipos de solo foi construído a partir da importação de dados vetoriais gerados e disponibilizados eletronicamente por EMBRAPA (2011). O *shape* de classificação de solos foi importado e recortado, destacando apenas as informações da área de interesse. Foram apresentadas apenas duas classes, ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO e NEOSSOLO QUARTZARÊNICO.

## Rede de drenagem urbana e estruturas compensatórias

As informações referentes à rede de drenagem pluvial, bem como as estruturas compensatórias integradas a esta, foram obtidas por meio da análise de um banco de dados dos projetos de drenagem urbana

do Distrito do Campeche, o qual foi cedido pela Secretaria de Obras da Prefeitura Municipal de Florianópolis (PMF). A base de dados estava organizada em arquivos *.dwg*, sendo encontrado um arquivo para cada via do Distrito do Campeche. Os arquivos *.dwg* foram agrupados e sintetizados no programa AutoCAD 2014, criando um arquivo único com todas as informações das rede de drenagem existentes, sendo este utilizado para a construção do mapa de drenagem.

O arquivo completo foi importado para o programa ArcGIS, sendo georreferenciado com a composição de aerofotos do Distrito. As redes de drenagem presentes no arquivo foram então estendidas para a via onde estava localizada, desta forma, ao apresentar a existência da rede de drenagem, considerou-se não apenas um dado linear, mas sim toda a largura da via, gerando polígonos. Já as estruturas compensatórias de drenagem foram inseridas pontualmente, conforme constava nos projetos de drenagem analisados, sendo, posteriormente representadas não apenas pela localização das estruturas, mas sim por todas as áreas que contribuem para estas.

Para facilitar a aplicação espacial do instrumento IMAAI foram adotadas apenas duas classes para o fator rede de drenagem, existência e ausência de um sistema de drenagem, e três classes para o fator estruturas compensatórias, poço de infiltração, vala de infiltração e ausência de estrutura compensatória.

Obtidas todas as informações necessárias sobre os fatores de influência e suas classes, estas foram dispostas em um quadro de ponderação, conforme apresentado no Quadro 6, sendo então estabelecidas notas (P) para cada classe de acordo com seu grau de suscetibilidade à ocorrência de inundações.

Depois de estabelecidas as notas, foram elaboradas as faixas de suscetibilidade, conforme descrito na fase 3 da etapa 1, onde 100% foi a soma das classes que apresentam maior nota em cada fator, representando desta forma, a pior situação de suscetibilidade à inundação identificada pela combinação das classes. Para melhor visualização do resultado das combinações das classes, foi elaborado um mapa de suscetibilidade à ocorrência de alagamentos e inundações, sobrepondo todos os *shapes* dos fatores no programa ArcGIS.

Quadro 6 – Quadro genérico de ponderação das variáveis do instrumento desenvolvido.

Fatores	Classes	Nota
Fator 1	Classe 1.1	P 1.1
	Classe 1.2	P 1.2
	Classe 1.3	P 1.3
	Classe 1.n	P 1.n
Fator 2	Classe 2.1	P 2.1
	Classe 2.2	P 2.2
	Classe 2.3	P 2.3
	Classe 2.4	P 2.4
	Classe 2.n	P 2.n
Fator 3	Classe 3.1	P 3.1
	Classe 3.2	P 3.2
	Classe 3.3	P 3.3
	Classe 3.n	P 3.n
Fator n	Classe n.1	P n.1
	Classe n.2	P n.2
	Classe n.n	P n.n

Fonte: desenvolvido pelo autor.

### 3.2.2 Aplicação do AHP – SIG à área de estudo

Ainda na fase de avaliação foi aplicado no recorte um instrumento metodológico tradicional, sendo escolhido para tal a integração entre o método AHP e SIG, utilizando para a composição o *software* ArcGIS. O método AHP-SIG consiste basicamente na priorização e determinação de pesos estatísticos para os fatores: uso e ocupação do solo, tipos de solo, altimetria (DEM) e declividade. Após a determinação destes pesos pelo método AHP, foi montado um modelo matemático, o qual inserido no SIG, realizou a sobreposição dos fatores, gerando um mapa de suscetibilidade à inundação.

Para a elaboração do mapa de uso e ocupação do solo do Distrito do Campeche, foi utilizada a composição de imagens aerofotogramétricas elaboradas pela SDS. Inicialmente, a imagem foi georreferenciada e recortada para a área de interesse, utilizado como máscara de extração o *shape* de delimitação do Distrito do Campeche. Utilizando a ferramenta *Image Classification* foi realizada a classificação supervisionada da imagem, ou seja, foram coletadas manualmente amostras de treinamento representativas de cada classe de

uso do solo existente no Distrito, por meio de digitalização em tela. Após a coleta de amostras, a imagem foi classificada utilizando o método de Máxima Verossimilhança (MAXVER).

O mapa de tipos de solo foi elaborado utilizando o *shape* de classificação de solos elaborado pela Embrapa no ano de 2011, disponível no site [http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/mapa\\_solos.php](http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/mapa_solos.php). O *shape* foi importado e recortado, obtendo desta forma apenas os polígonos de classificação dos tipos de solo da área de interesse.

Para a geração do modelo digital de elevação do terreno (DEM), foi utilizado o *shape* de curva de nível digitalizado pelo IBGE, sendo a distância entre as cotas igual a 5 metros. Inicialmente, foi feita a triangulação do terreno, isto é, foi gerado um modelo digital de vetores triangulares, denominado TIN (*Triangulated Irregular Networks* - Rede Triangular Irregular), utilizando como método de interpolação a triangulação de Delaunay. Em seguida, foi transformado o modelo vetorial TIN em raster, obtendo desta forma uma representação digital da variação de elevação do terreno, denominada DEM (*Digital Elevation Model* - Modelo Digital de Elevação).

O mapa de declividade foi gerado a partir do DEM, conforme descrito na página 80. Tendo os quatro fatores ambientais que o método AHP-SIG exige para gerar o mapa de suscetibilidade a alagamentos e inundações, foi dado início ao processo de reclassificação dos fatores, conforme metodologia descrita por Santos et al. (2010).

No processo de reclassificação dos fatores, foi estabelecido para cada classe uma nota que variou na faixa de 0 a 10, de acordo com seu grau de suscetibilidade à inundação, bem como, a contribuição destas ao processo de escoamento superficial, onde 0 foi atribuído à classe menos suscetível e 10 à classe mais suscetível, conforme exemplo apresentado no Quadro 7. O processo de reclassificação foi realizado por meio de uma ferramenta de análise espacial, denominada *Reclassify*, sendo este processo aplicado nos quatro fatores ambientais exigidos pelo método.

Quadro 7 – Exemplo genérico de reclassificação do fator uso do solo de acordo com o grau de suscetibilidade de suas classes.

Uso do Solo	Nota
Afloramento / Solo Exposto	7
Agricultura	8
Floresta natural / Sombra	1
Floresta natural primária ou secundária avançada ou média	1
Floresta plantada em crescimento	2
Pastagem	9
Pastagem / Sombra	9
Rios	10
Vegetação natural secundária	1

Fonte: Adaptado de Santos et al. (2010).

No exemplo genérico, Santos et al. (2010) atribuiu nota 1, menor grau de suscetibilidade à inundação, as áreas recobertas por vegetação natural primária ou secundária, devido estas apresentarem maior capacidade de infiltração de água no solo. Já para áreas cobertas por Florestas plantadas em crescimento, o autor atribuiu nota 2, pois estas apresentam áreas descampadas, favorecendo o início do escoamento superficial. Em áreas com solo exposto, agricultura e pastagem, Santos et al. (2010) atribuiu as notas 7, 8 e 9, respectivamente, visto estas apresentarem maior contribuição para a ocorrência de escoamento superficial, devido à exposição, compactação e manejo inadequado do solo. Já para as áreas onde há a presença de corpos d'água, a nota atribuída pelo autor foi a máxima (10), visto estas serem consideradas inundadas tendo presença constante de água sobre a superfície do solo.

Após a reclassificação dos fatores foi determinado um peso estatístico que represente cada fator, de acordo com seu grau de importância para a construção do mapa de áreas suscetíveis à ocorrência de alagamentos e inundações. Este processo foi realizado por meio de uma matriz de comparação par a par, ou matriz de decisão (método AHP), onde foi definida linearmente a hierarquia de importância entre os fatores, utilizando como base os valores de importância mútua da escala fundamental proposta por Saaty (1977), conforme exemplo apresentado no Quadro 8.

Após, foram definidos os pesos estatísticos de cada fator, dividindo o peso de cada elemento pela somatória dos elementos da coluna a que este pertence e fazendo a média entre as colunas, conforme exemplo apresentado no Quadro 9.

Quadro 8 – Exemplo genérico da matriz de comparação de fatores construída utilizando a escala fundamental de Saaty.

Fatores	Tipo de solo	Uso do solo	Altimetria	Declividade
Tipo de solo	1	1/3	1/5	1/7
Uso do solo	3	1	1/3	1/5
Altimetria	5	3	1	1/3
Declividade	7	5	3	1
Soma	16,00	9,33	4,53	1,68

Fonte: Adaptado de Santos et al. (2010).

Quadro 9 – Exemplo genérico de determinação dos pesos estatísticos para cada fator ambiental.

Fatores	Tipo de solo	Uso do solo	Altimetria	Declividade	Peso
Tipo de solo	1/16 = 0,0625	0,33/9,33 = 0,0357	0,20/4,53 = 0,0441	0,14/1,68 = 0,0852	<b>0,0553</b>
Uso do solo	3/16 = 0,1875	1/9,33 = 0,1075	0,33/4,53 = 0,0735	0,20/1,68 = 0,1193	<b>0,1175</b>
Altimetria	5/16 = 0,3125	3/9,33 = 0,3214	1/4,53 = 0,2206	0,33/1,68 = 0,1988	<b>0,2622</b>
Declividade	7/16 = 0,4375	5/9,33 = 0,5357	3/4,53 = 0,6618	1/1,68 = 0,5966	<b>0,5650</b>

Fonte: Adaptado de Santos et al. (2010).

Tendo obtidos os pesos estatísticos, foi avaliada a veracidade destes por meio do cálculo da razão de consistências (RC), sendo que o resultado desejado deve ser um valor menor que 0,1, ou seja, apresentar pelo menos 90% de veracidade dos julgamentos dos pesos. O (RC) é calculado pelas seguintes equações:

$$RC = IC/IR \quad (1)$$

$$IC = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n-1)} \quad (2)$$

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{[Aw]_i}{w_i} \quad (3)$$

Onde:

RC = razão de consistência,

IR = índice aleatório extraído da Tabela 3,

IC = índice de consistência,

n = número de fatores testados (numero de colunas ou linhas),

$\lambda_{\max}$  = autovalor,  
 $[Aw]_i$  = matriz resultante do produto da matriz de comparação  
 $[Aw]_i$  pelos pesos calculados ( $w_i$ ).

Tabela 3 – Valores de IR para matrizes quadradas de ordem n.

		Índice Randômico (IR)					
n		2	3	4	5	6	7
IR		0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32

Fonte: Adaptado de Saaty (1987)

Por fim, foi montado o modelo matemático que representou as áreas suscetíveis à ocorrência de alagamentos e inundações, multiplicando o peso estatístico de cada fator pelo seu respectivo *raster*, utilizando a ferramenta de análise espacial, *Raster Calculator*, do programa ArcGIS. O modelo matemático montado seguiu o seguinte formato:

$$\text{Suscetibilidade à inundação} = P_1 \text{tipo de solo} + P_2 \text{uso do solo} + P_3 \text{altimetria} + P_4 \text{declividade} \quad (4)$$

Em que:

$P_1, P_2, P_3$  e  $P_4$  representam os pesos estatísticos determinados para os fatores tipo e uso do solo, altimetria e declividade, respectivamente.

### 3.2.3 Mapa de ocorrência de alagamentos e inundações no Distrito a partir de fontes de dados alternativos

Com o intuito de obter um mapa com os pontos de alagamentos e inundações efetivamente ocorridas no Distrito do Campeche, a fim de poder comparar os resultados gerados pela aplicação dos instrumentos descritos anteriormente, foi realizado um inventário dos pontos de ocorrência destes eventos por meio de levantamento de dados em fontes alternativas. Estas fontes são chamadas de alternativas por não serem aquelas que normalmente constam de mapeamentos de inundação e alagamentos, mas que sintetizam situações de fato ocorridas. As fontes usadas foram: a) percepção da população local a partir da aplicação de questionários, b) levantamento de informações nos meios de comunicação local e c) nos órgãos públicos responsáveis pela gestão e operação da drenagem urbana na cidade.

- a) Levantamento de informações junto à comunidade do distrito do Campeche

O questionário contém questões abertas e fechadas, visando à identificação de aspectos gerais das localidades afetadas por alagamentos e inundações, sob o ponto de vista da população local. Foram aplicados 157 questionários, em diferentes pontos do distrito do Campeche, visando obter uma amostra aleatória estratificada da localidade.

Não teve nenhuma seleção dos participantes, no entanto, como requisito para responder às perguntas, o entrevistado deveria residir ou trabalhar no Distrito. Os questionários foram aplicados pela autora, juntamente com bolsistas de Iniciação Científica e Estagiários do grupo de pesquisa em Técnicas Compensatórias, ao qual este trabalho está associado. O grupo de trabalho elegia pontos com maior fluxo de pessoas na localidade, onde abordavam os transeuntes, questionando se aceitariam participar da entrevista. Os pontos adotados localizaram-se nas vias principais de acesso à região central do Distrito (Avenida Pequeno Príncipe, Rua do Gramal, Rua Jardim dos Eucaliptos, Rua da Capela e Avenida Campeche), além de algumas vias secundárias que dão acesso a estas. Os questionários foram aplicados durante quatro saídas a campo ocorridas nos meses de julho, agosto, setembro e outubro.

A construção das perguntas teve como base os questionários elaborados por Giuntoli (2008) e Silveira (2013), sendo o roteiro das questões aplicadas à população do Distrito do Campeche apresentado no Quadro 10. As informações foram agrupadas e tabuladas em uma planilha eletrônica de Excel, sendo aplicado tratamento diferente para as questões abertas e fechadas.

Para as questões fechadas foi apenas aplicada estatística simples, relacionando as alternativas de cada questão em função de sua porcentagem de resposta. Os resultados deste tratamento foram apresentados nos formatos de gráfico de pizza ou coluna, conforme melhor representação. As questões abertas foram tabuladas em planilhas eletrônicas separadas, sendo os dados organizados em duas colunas. Na primeira coluna foi transcrito as informações em linhas distintas, onde cada linha foi associada a um endereço ou ponto de referência onde frequentemente ocorrem eventos de alagamentos e inundações. Na segunda coluna, os endereços completos foram reescritos, enquanto os pontos de referência foram localizados através da plataforma online <https://maps.google.com.br/> e registrados em formato de endereço

completo. Tendo todas as respostas devidamente endereçadas, procedeu-se à eliminação das informações repetidas.

Quadro 10 – Roteiro de questões abertas e fechadas sobre ocorrência de inundações e alagamentos no Distrito do Campeche.

UFSC- PPGEA. Pesquisa de mestrado em Engenharia Ambiental	
Questionário sobre ocorrência de inundações e alagamentos no Distrito do Campeche	
Sexo: ( ) M ( ) F	Idade: ( ) de 0 - 10 ou 65 - 99 ( ) de 10 - 65
Que atividade você exerce no Distrito do Campeche? ( ) morador ( ) comerciante ( ) trabalhador ( ) estudante	
Qual seu tempo de residência no Distrito: _____	
Você conhece algum local onde ocorram alagamentos ou inundações no Distrito do Campeche? ( ) não ( ) sim. Qual é o endereço do local? _____ _____ _____ _____	
Com que frequência ocorre alagamentos ou inundações nesta área? ( ) sempre que chove ( ) de 1 a 2 meses ( ) de 2 a 6 meses ( ) de 6 meses a 1 ano	
Por qual motivo você acredita que este local sofra com alagamentos ou inundações? ( ) proximidade com um corpo de água (rio, córrego, lagoa, mar) ( ) falta de rede de drenagem pluvial ( ) falta de manutenção na rede de drenagem ( ) rede não comporta a quantidade de água a ser drenada ( ) impermeabilização do solo	
Você se recorda de quantos metros aproximadamente a água subiu? ( ) de 30 a 50 cm ( ) de 50 cm a 1 m ( ) de 1 a 2 m ( ) outro. Quanto? _____	
Você se recorda de qual estrutura de drenagem tem neste local? ( ) sumidouro ou poço de infiltração ( ) vala de infiltração ( ) sarjeta ou Bueiro ( ) galerias ( ) não tem estrutura de drenagem	

Fonte: desenvolvido pelo autor

b) Levantamento de informações nos meios de comunicação local

O levantamento de informações junto à mídia local foi realizado tomando como base a metodologia de análise documental simples relatada por Sousa (2006), a qual consiste no estudo de notícias e documentos em vários suportes, como papel, vídeo, áudio, arquivos digitais, sites, fotografias, entre outros, individualizando, circunscrevendo, registrando e analisando as informações de interesse. A fonte de dados utilizada para o levantamento de informações foi a Internet, sendo adotados vídeos, jornais eletrônicos e televisionados, além de sites concentradores de notícias, como suportes documentais. As informações foram levantadas pela autora, juntamente com estagiários do grupo de pesquisa em Técnicas Compensatórias durante os meses de setembro e outubro de 2016. Para uma maior representatividade, buscaram-se informações dos eventos ocorridos na última década, concentrando dados de 2005 a 2016.

As informações levantadas foram agrupadas e tabuladas em uma planilha eletrônica de Excel, sendo os dados organizados em duas colunas. Na primeira, foram registradas as informações em linhas distintas, onde cada linha foi associada a um endereço ou ponto onde frequentemente ocorrem eventos de alagamentos e inundações. Na segunda coluna, os endereços completos foram reescritos, enquanto os pontos foram localizados através da plataforma online <https://maps.google.com.br/> e registrados em formato de endereço completo ou cruzamento de vias. Tendo todas as respostas devidamente endereçadas, procedeu-se a eliminação das informações repetidas.

c) Levantamento das informações junto à comissão de drenagem urbana

Como informação das secretarias municipais e órgãos responsáveis pela gestão e operação da drenagem urbana, foi utilizado o diagnóstico parcial produzido pela Comissão Especial DreMAP, instituída pelo Decreto nº 14.942/2015, para propor medidas vinculadas a Drenagem e Manejo das Águas Pluviais, tendo por objetivo subsidiar a elaboração do Plano Diretor de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas do Município de Florianópolis. Esta comissão é composta pelas Secretarias Municipais da Habitação e Saneamento Ambiental – SMHSA, de Obras, de Meio Ambiente e Desenvolvimento Urbano – SMDU, de Segurança e Gestão de Trânsito, e de Saúde, além de outras

instituições como o Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis – IPUF, a Fundação Municipal do Meio Ambiente – FLORAM, a Companhia de Melhoramentos da Capital – COMCAP e o Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.

Para a elaboração do diagnóstico parcial de inundações, foram realizadas reuniões, com periodicidade variável, com os representantes de cada secretaria e instituição. O diagnóstico foi produzido e validado tomando como base três fontes distintas de informação: Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico do Município de Florianópolis, Plano Diretor de Florianópolis e o conhecimento técnico dos representantes das secretarias e instituições.

As informações obtidas no diagnóstico parcial foram selecionadas, agrupadas e tabuladas em uma planilha eletrônica de Excel, sendo associado a cada linha um endereço de ocorrência frequente de alagamento e/ou inundação.

Após a aplicação dos questionários e levantamento de informações nos meios de comunicação local e órgãos responsáveis pela gestão e operação da drenagem urbana, os dados compilados em planilhas eletrônicas de Excel foram agrupados em uma única planilha, eliminando as informações repetidas. Finalmente, com a lista de todas as localizações dos frequentes eventos de alagamentos e inundações, procedeu-se à inserção das informações no programa de geoprocessamento. Os endereços foram representados por pontos e/ou linhas, conforme disponível a informação de localização, gerando um mapa de localização dos alagamentos e inundações ocorridos no Distrito do Campeche. Para a localização dos pontos foi utilizado um *shape* das vias do Distrito sobreposto a uma composição de imagens aerofotogramétricas da área. O *software* de geoprocessamento utilizado para a plotagem das informações foi o ArcGIS 10.1.

### **Comparação de resultados**

Nesta fase foram comparados os mapas de suscetibilidade a alagamentos e inundações gerados tanto pelo instrumento desenvolvido, quanto pelo método AHP-SIG, com o mapa de ocorrência de inundações elaborado pelo inventário das ocorrências passadas. Esta comparação foi realizada por meio da sobreposição dos polígonos de inundação gerados, permitindo desta forma, a análise da porcentagem de acerto de cada método em relação às áreas inventariadas.

## **Ajustes e correções**

Como houve discrepância relevante nos resultados gerados pelo instrumento desenvolvido, quando comparado com o mapeamento gerado pelo inventário, foi realizado um novo mapeamento, buscando corrigir os erros durante o processo de ponderação das classes. Esta fase serviu apenas para a correção de erros durante o processo de ponderação dos fatores que apresentam apenas duas classes, visto que esta condição é bem específica, sendo baseada única e somente na revisão de literatura, não representando adequadamente estas classes.

No próximo capítulo é apresentada a caracterização da área de estudo utilizada para teste e comparação de desempenho do IMAAI.

## **4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA UTILIZADA PARA ENSAIO DO INSTRUMENTO METODOLÓGICO**

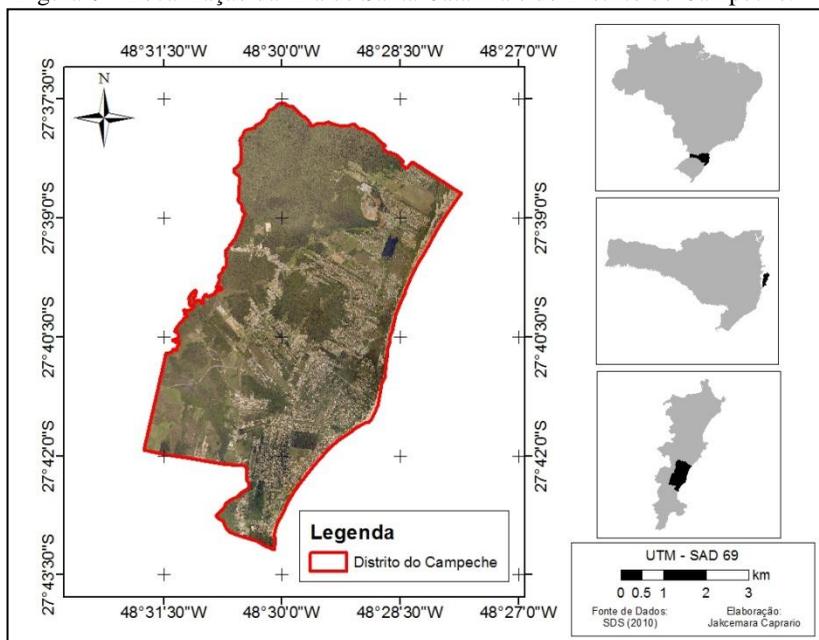
Este item traz informações sociais, econômicas e ambientais do Distrito do Campeche, a fim de caracterizar a área utilizada para o ensaio do instrumento desenvolvido.

### **4.1 LOCALIZAÇÃO DO DISTRITO DO CAMPECHE**

O Distrito do Campeche está localizado a aproximadamente 20 km do centro do município de Florianópolis, em uma faixa estreita paralela ao mar. Posicionado entre os paralelos 27°37'34'' e 27°43'16'' Sul e os meridianos 48°27'44'' e 48°31'49'' Oeste, na porção Sul da Ilha de Santa Catarina, conforme apresentado na Figura 6, o Distrito do Campeche possui uma área de 34,91 km<sup>2</sup>, sendo considerado, segundo Batista et al. (2011), como a maior área inundável da Ilha, rica em ecossistemas alagadiços como lagoas, charcos, pântanos, córregos e manguezais.

A região do Campeche está situada em uma planície litorânea sedimentar, denominada Planície do Campeche ou Planície Entremares, sendo limitada ao norte pelo Morro do Mato de dentro ou Morro do Campeche, ao sul pelo Morro das Pedras, Morro dos Padres e Lagoa do Peri, a oeste pela rodovia estadual SC 405, e a leste pelo Oceano Atlântico (PIPPI, 2004).

Figura 6 – Localização da Ilha de Santa Catarina e do Distrito do Campeche.



Fonte: desenvolvido pelo autor.

#### 4.2 CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÔMICAS

O Distrito do Campeche foi criado pela Lei nº 4805 de 21 de dezembro de 1995, sendo desmembrado dos Distritos Ribeirão da Ilha e Lagoa da Conceição (MOREIRA, 2009). De acordo com o levantamento censitário elaborado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, a população do Distrito do Campeche no ano de 2010 contabilizou um total de 24.023 habitantes. Já para o ano de 2015, em estudo conduzido pelo Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis – IPUF, Campanário (2007) estimou uma população de 54.645 habitantes dos quais 41.639 habitantes são residentes e 13.006 habitantes são considerados flutuantes, isto é, não residem no Distrito, mas visitam em épocas de férias. A densidade demográfica do Distrito do Campeche é estimada em 1192,75 hab./km<sup>2</sup>, sendo a taxa de crescimento total anual igual a 3,69%. Dados coletados no levantamento censitário do ano de 2010, demonstram que 62,22% da população residente no Distrito do Campeche é economicamente ativa.

Segundo Pazolini e Silva (2014) a ocupação popular do Distrito teve início no ano de 1880, com a migração de famílias rurais açorianas advindas da região da Lagoa da Conceição. A economia inicialmente baseava-se nas atividades agrícolas, com o cultivo de café, cana-de-açúcar e alho, pesqueira e artesã, visando unicamente à subsistência da comunidade.

De acordo com Moreira (2009), a partir do ano de 1960, as atividades tradicionais de subsistência foram gradativamente substituídas por atividades no centro do município de Florianópolis, trocando as atividades agrícolas, pesqueira e artesãs pelo serviço público e o comércio. A grande explosão urbana no Campeche ocorreu na década 1980 com o estopim do êxodo rural, acelerando o processo de urbanização e dando origem ao que hoje pode ser visto, inúmeros loteamentos e condomínios residenciais implantados (BATISTA et al., 2011; CONCEIÇÃO, 2013).

## 4.3 CARACTERÍSTICAS AMBIENTAIS

### 4.3.1 Clima

O Distrito do Campeche, assim como todo o município de Florianópolis, é caracterizado por um clima subtropical mesotérmico úmido, com verões quentes, invernos frescos e chuvas bem distribuídas ao longo do ano, sendo classificado como clima Cfa segundo Köppen (SMHSA, 2011). De acordo com Murana (2012) as características climáticas da região são controladas principalmente pela atuação das massas polar atlântica (mPa) e tropical atlântica (mTa), ocasionando bruscas mudanças climáticas. SMHSA (2009) complementa citando os fenômenos El Niño e La Niña como outros fatores que influenciam o clima da região, causando chuvas intensas ou mesmo secas prolongadas.

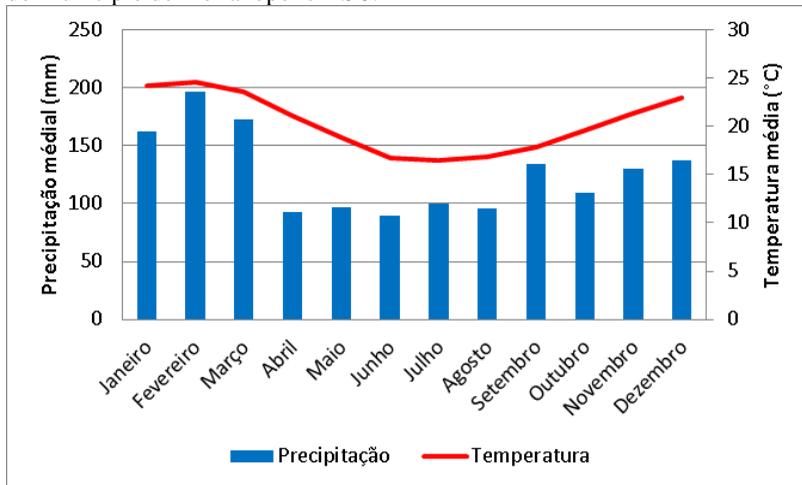
A pluviosidade oscila entre 1450 e 1650 mm por ano, apresentando uma média de 140 dias de chuva. As maiores precipitações ocorrem entre os meses de setembro a março, sendo fevereiro identificado como o mês mais chuvoso do ano, apresentando uma média de 197 mm de chuva. Entre os meses de menor pluviosidade destaca-se o mês de Junho, o qual apresenta os menores valores totais de precipitação, em média 89 mm de chuva. (INMET, 2017).

A temperatura média anual do Município de Florianópolis, bem como do Distrito do Campeche, segundo INMET (2017) mantem-se em torno de 20°C, sendo fevereiro considerado o mês mais quente,

apresentando médias em torno de 25°C, e julho o mês mais frio, com temperaturas médias em torno dos 16°C.

A Figura 7 mostra os valores médios mensais para os parâmetros temperatura e precipitação do Município de Florianópolis - SC, analisados durante o período de 1961 a 1990.

Figura 7 – Climograma dos dados médios mensais do período de 1961 a 1990 do Município de Florianópolis – SC.

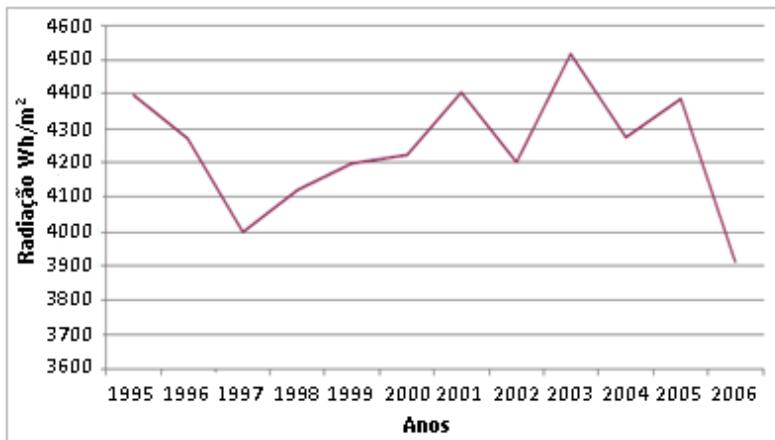


Fonte: Adaptado de INMET (2017).

Em função da localização, das correntes marinhas e dos fenômenos atuantes, a região apresenta uma elevada umidade relativa do ar, com valores médios de 80%. Os ventos predominantes são do quadrante norte, com velocidade média de 3,5 m/s, ocorrendo em dez dos doze meses do ano. Contudo, os ventos que atuam com maior intensidade e velocidade são os oriundos do sul, apresentando velocidade média de 10 m/s, anunciando a entrada de frentes frias (SMHSA, 2009; SILVEIRA et al., 2010).

Finalizando a caracterização climática ELETROSUL (2015) menciona que a insolação anual varia entre 2200 e 2400 horas, dependendo da região. Betiolo et al. (2008) complementam mencionando em seu estudo um valor médio anual de 4.241 Wh/m<sup>2</sup> para a radiação solar do Município de Florianópolis, sendo que o período analisado compreendeu os anos entre 1995 e 2006, conforme apresentado na Figura 8.

Figura 8 – Variação média anual da radiação solar no Município de Florianópolis – SC, durante o período de 1995 a 2006.



Fonte: Adaptado de Betiolo et al. (2008).

#### 4.3.2 Geologia e geomorfologia

A constituição geológica da Ilha de Santa Catarina é dada por basicamente duas formações distintas: os terrenos rochosos, também chamados de cristalino, e os terrenos sedimentares, que nada mais são do que depósitos recentes de solo (SMHSA, 2011). Segundo Tomazzoli et al. (2011) as rochas cristalinas que compõem o Escudo Catarinense, são de origem ígneas plutônicas e vulcânicas da idade pré-cambriana, sendo encontradas principalmente nos morros e elevações, sob forma de granitos, riolitos e rochas piroclásticas. Já os terrenos sedimentares são encontrados em áreas baixas e planas, tendo origem na era cenozoica compõem a cobertura Sedimentar Quaternária, denominada Planícies Costeiras (TOMAZZOLI; PELLERIN, 2001 e SMHSA, 2011).

Segundo SMHSA (2011. p.32) os terrenos sedimentares são representados pelos:

[...] (i) depósitos marinhos, que são cordões de areias distribuídas ao longo das praias; (ii) depósitos eólicos, que são dunas fixas e móveis compostas de areias; (iii) depósitos lagunares, que apresentam sedimentos resultantes do assoreamento paleolagunar por sedimentos predominantemente areno-argilosos de natureza

aluvial e/ou coluvial; (iv) depósitos colúvio-aluvionares, apresentam-se em forma de rampas formadas por sedimentos de diferentes tamanhos de grãos; e (v) depósitos de mangues, que são formadas por sedimentos ricos em matéria orgânica, característicos das regiões de mangue.

Segundo Gandolfo e Hanazaki (2014) o Distrito do Campeche, em sua maior parte, é caracterizado como uma zona plana formada pela deposição sucessiva de sedimentos arenosos advindos dos avanços e recuos do mar durante o período do Holoceno. Millon (2004) complementa mencionando em seu estudo que os morros da região do Campeche, especificamente os Morros das Pedras e do Campeche, apresentam formação geológica do tipo cristalina, destacando a ocorrência de granitos e riolitos. As feições geológicas presentes no Distrito do Campeche são apresentadas na Figura 9.

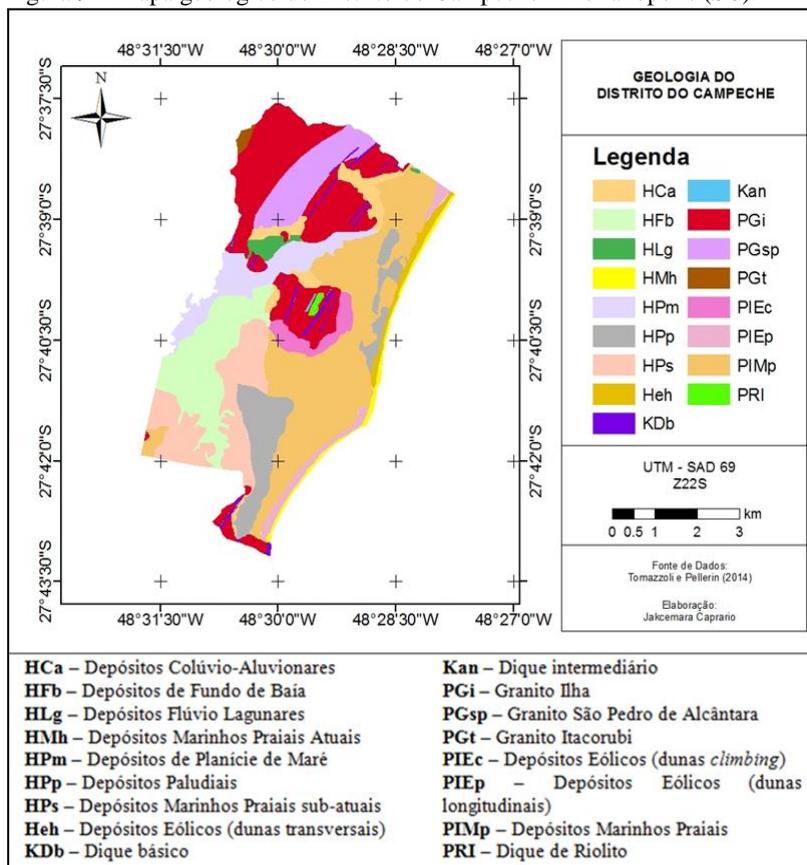
### **4.3.3 Pedologia**

Os solos do Distrito do Campeche são caracterizados pela presença de textura arenosa e franco arenosa, classificando quase 70% destes como sendo do tipo NEOSSOLO QUARTZARÊNICO (Tabela 4). Este tipo de solo segundo EMBRAPA (2006) é constituído por material mineral ou orgânico com menos de 20 cm de espessura, não apresentando horizonte B diagnóstico. Já a sequência de horizontes A-C possui profundidade mínima de 150 cm, tendo cerca de 95% ou mais de quartzo nas frações de areia grossa e fina, sendo destituídos de minerais primários e pouco resistentes ao intemperismo.

O restante dos solos do Distrito do Campeche é do tipo ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO, os quais são constituídos basicamente por material mineral, apresentando horizonte B textural imediatamente abaixo do horizonte A (EMBRAPA, 2006). Estes solos, segundo SMHSA (2009) derivam do intemperismo dos granitos, apresentando diferença textural entre os horizontes A e B devido à migração de argila, onde o horizonte A possui características mais arenosas e o B mais argilosas, o que os torna de baixa fertilidade.

A Figura 10 apresenta a classificação dos tipos de solo segundo a Embrapa, presentes no Distrito do Campeche.

Figura 9 – Mapa geológico do Distrito do Campeche - Florianópolis (SC).



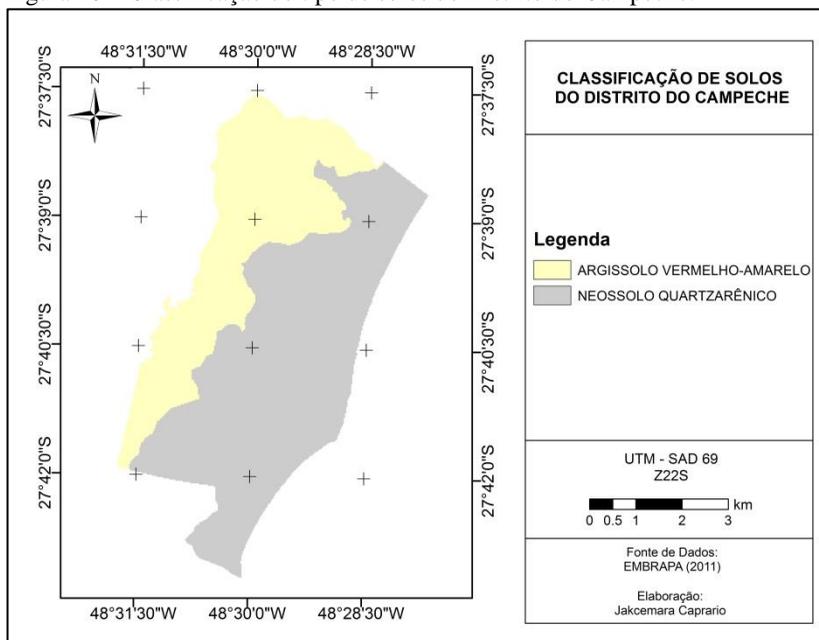
Fonte: Adaptado de Tomazzoli e Pellerin (2014).

Tabela 4 – Classificação dos solos do Distrito do Campeche.

Tipos de solo	Área (ha)	% da área
PVA – ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO	1143,13	32,74
RQ – NEOSSOLO QUARTZARÊNICO	2347,90	67,26
Área total	3491,03	100,00

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Figura 10 – Classificação do tipo de solos do Distrito do Campeche.



Fonte: Adaptado de EMBRAPA (2011).

#### 4.3.4 Vegetação

A cobertura vegetal do Distrito do Campeche é representada, segundo Bueno (2006, p.276), por “vegetação de mangue, restinga e floresta de planície quaternária, distribuídas em machas isoladas por vegetação de gramíneas de regeneração decorrente de desmatamento [...]”.

De acordo com Gandolfo e Hanazaki (2014) e Dias e Schuch (2015) a vegetação de predomínio no Distrito do Campeche é a restinga, sendo esta considerada uma vegetação arbóreo-arbustiva pioneira do bioma da Mata Atlântica.

Segundo Dias e Schuch (2015) a vegetação de restinga é encontrada principalmente nas faixas de praia e antedunas, eventualmente atingidas pelas marés altas, podendo também ser encontrada em depressões alagáveis denominadas brejos ou banhados. Este tipo de vegetação, conforme mencionado por Dias e Schuch (2015), é caracterizada por uma diversidade de espécies, que varia desde densos emaranhados de arbustos misturados a trepadeiras, bromélias e

cactáceas, até moitas com extensão e altura variáveis, conforme apresentado nas imagens a seguir.

Figura 11 – Exemplos da vegetação de Restinga no Distrito do Campeche.



Fonte: Dias e Schuch (2015).

Já a vegetação do tipo mangue, segundo SMHSA (2009) e Eller et al. (2013), é representada no Distrito do Campeche pelo Manguezal do Rio Tavares, apresenta espécies vegetais de gramínea (*Spartina montevidenses*), Siriúba (*Avicennia schaueriana*), mangue branco (*Laguncularia racemos*) e mangue vermelho (*Rhizophora mangle*). SMHSA (2009) define a vegetação do tipo mangue como “áreas de estuário, com pequenos rios, canais, margens de baías, banhados, brejos, com alta salinidade e muita matéria orgânica”, onde são encontradas plantas aquáticas seletivas dotadas de adaptações, conforme apresentado da Figura 12.

Figura 12 – Exemplos da vegetação do Mangue do Rio Tavares.



Fonte: Tempo Editorial, [data desconhecida].

Por último, ocorre a vegetação do tipo floresta ombrófila densa, encontrada nas planícies quaternárias litorâneas. Este tipo de formação apresenta pouco crescimento vegetal, atingindo alturas máximas que variam entre 15 e 20 metros, associadas provavelmente às baixas concentrações de nutrientes encontradas no solo. Apesar da baixa estatura, esta vegetação é considerada rica em diversidade, conforme representado na Figura 13, apresentando tanto variações estruturais como florísticas (DIAS; SCHUCH, 2015). Segundo Caruso (1983), as florestas das planícies quaternárias são representadas pelas espécies arbóreas, Olandi (*Calophyllum brasiliense*), Cupiúva (*Tapirira guianensis*), Figueira-da-folha-miúda (*Ficus organensis*), Figueira-dobrejo (*Coussapoa schottii*), Ipê-da-várzea (*Tabebuia umbellata*), Guamirim-de-facho (*Myrcia dichrophylla*) e Cambuí (*M. multiflora*). Entre os arbustos o autor destaca as palmeiras Guaricana (*Geonoma schottiana*) e Tucum (*Bactris lindmaniana*), e entre as plantas rasteiras são encontrados diversos tipos de bromeliáceas.

Figura 13 – Exemplos da vegetação Floresta Ombrófila Densa.



Fonte: Horn Filho et al., 2015.

#### 4.3.5 Recursos hídricos

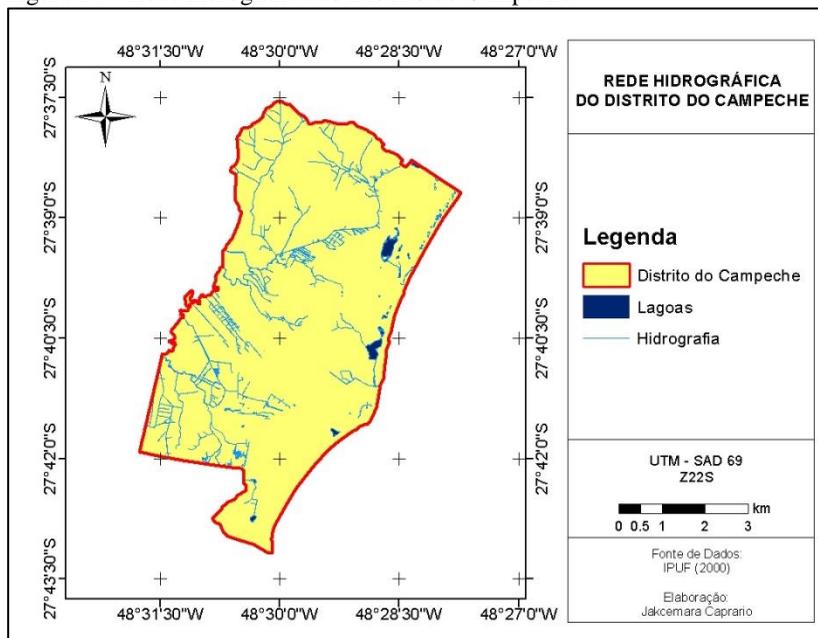
O Distrito do Campeche segundo PACHECO (2012) é composto basicamente por quatro tipos de recursos hídricos, sendo estes: lagoa, representado pela Lagoa Pequena e Lagoa da Chica, nascentes e rios, representados pelos Rios Tavares (maior relevância), Moca e Rafael, e por pequenos ribeirões que afloram no Maciço da Costeira do Pirajubaé,

Mangue, representado pelo Manguezal do Rio Tavares, e Aquífero, representado pelo Aquífero do Campeche. A distribuição dos recursos hídricos dentro do Distrito do Campeche é apresentada na Figura 14.

### Lagoa Pequena

Segundo Barbosa et. al. (1999 apud PACHECO, 2012) a Lagoa Pequena, cuja superfície total é de aproximadamente 186.372 m<sup>2</sup>, constitui uma das sub-bacias mais importantes da Ilha de Santa Catarina, pois representa o ponto de maior afloramento do Aquífero do Campeche. De acordo com Pippi (2004) junto ao corpo d'água da lagoa estão presentes um complexo de banhados, córregos e vegetações de restinga, tornando a área uma reserva ecológica de proteção ambiental. No entanto, Pippi (2004) menciona ainda que a área vem sofrendo com graves impactos ambientais, sendo degradada lentamente, por meio de queimadas, poluição, captação, ocupações ilegais, entre muitos outros.

Figura 14 – Rede hidrográfica do Distrito do Campeche.



Fonte: Adaptado de IPUF (2000).

## **Lagoa da Chica**

A Lagoa da Chica é considerada uma Área de Preservação Permanente (APP) que abrange um território de 4,6 ha, com uma vegetação diversificada e uma área periodicamente alagável, tem uma importante função de vertedouro natural de drenagem para a região (PIPI, 2004 e SILVEIRA et al., 2009)

Esta Lagoa, assim como a Lagoa pequena, é um ponto de afloramento do Aquífero do Campeche, sendo extremamente vulnerabilizada pelas atividades degradantes da urbanização (ENGEVIX, 1999 apud PACHECO, 2012). De acordo com Pippi (2004) os principais impactos que vulnerabilizam esta área são decorrentes das ocupações ilegais, poluição, captação e colocação de cercas na área tombada.

## **Rio Tavares**

A bacia hidrográfica do Rio Tavares possui uma área total de drenagem de 31,7 km<sup>2</sup>, sendo suas nascentes localizadas ao leste do maciço central e sua foz no Manguezal do Rio Tavares na baía Sul. Durante este percurso, o Rio Tavares recebe contribuição de águas do maciço Sul e do Morro do Lampião, percorrendo desde áreas de grande biodiversidade até áreas com alta densidade demográfica (PIPI, 2004 e BUENO, 2006). Segundo Bueno (2006), esta bacia tem grande importância, pois “recebe água da chuva dos morros ao norte e ao sul, alimentando o lençol freático quase na superfície”. Amocam (1997 apud PIPPI, 2004) complementam mencionando a existência de mais duas bacias hidrográficas na região, sendo estas a bacia que drena a Lagoa do Peri e a bacia que deságua na Praia do Campeche.

## **Manguezal do Rio Tavares**

Segundo Pippi (2004) o Manguezal do Rio Tavares, ou Reserva Extrativista Marinha do Pirajubaé, “representa um local de importante valor ecológico, frente à riqueza de sua fauna e flora, importantes para a pesca, reduto das espécies marinhas e pesquisas científicas”. O autor ainda menciona que a área do mangue tem sido ocupada ilegalmente para a construção de residências e salas comerciais, sofrendo com aterros, retirada de vegetação e poluição.

## **Aquífero do Campeche**

O Aquífero do Campeche situa-se na porção sudeste da Ilha de Santa Catarina, abrangendo parte do Distrito do Campeche e Parte do Distrito da Lagoa da Conceição. Com uma área de 39,2 km<sup>2</sup>, o aquífero livre com água de boa qualidade, é recarregado por infiltração direta da precipitação. Devido à proximidade da região com o Oceano Atlântico, o aquífero está sujeito à intrusão salina, ou seja, à penetração de água do oceano ilha adentro (PIPPI, 2004 e SMHSA, 2011).

Pacheco (2012 p.32) menciona ainda que a proximidade do Aquífero com a superfície o torna

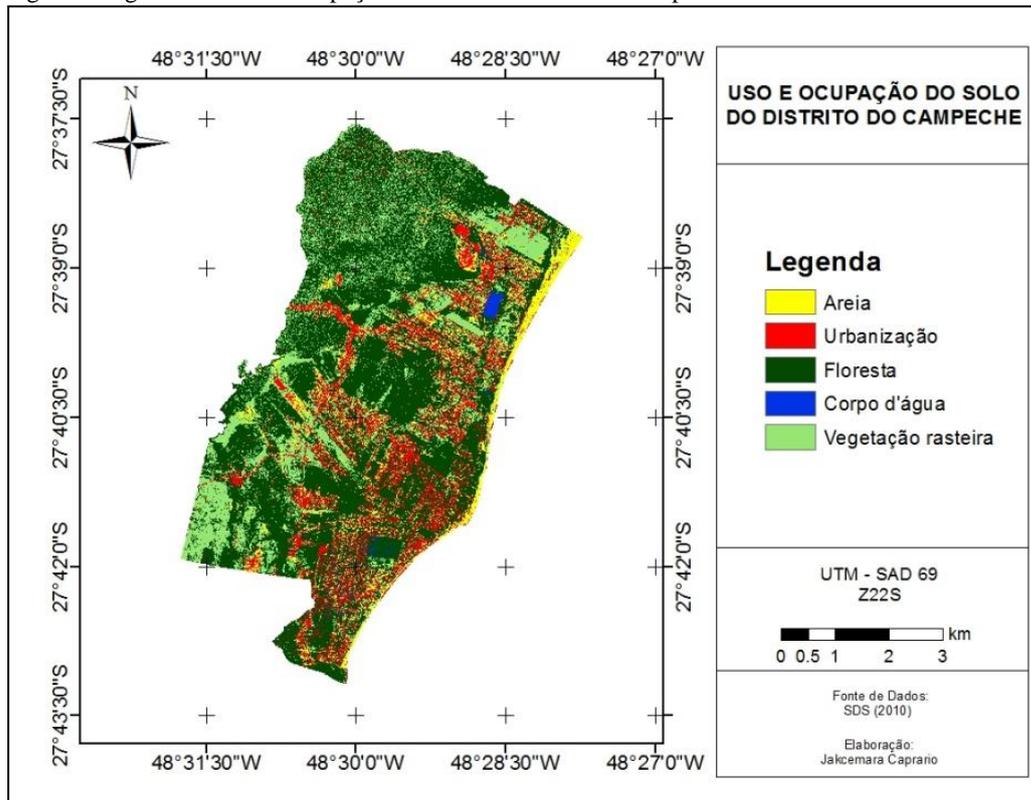
susceptível ao armazenamento e contaminação por águas superficiais de baixa qualidade, provenientes de efluentes domiciliares ou derramamento na superfície de líquidos não potáveis, devido a sua composição e lenta velocidade do fluxo de infiltração.

### **4.3.6 Classificação de uso e ocupação do solo**

O uso do solo no Distrito do Campeche foi classificado utilizando uma composição de imagens aerofotogramétricas, elaborada pela Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDS) de Santa Catarina. Esta composição apresenta resolução espacial de 39 cm, sendo datada no ano de 2010.

O mapa de classificação de uso e ocupação do solo no Distrito do Campeche é apresentado na Figura 15, sendo para tal adotadas as seguintes classes: vegetação rasteira, floresta, areia, corpo d' água e urbanização, estando as vias urbanas contempladas na última classe

Figura 15 – Uso e ocupação do solo do Distrito do Campeche.



Fonte: desenvolvido pelo autor.

As classes de uso e ocupação do solo do Distrito do Campeche, assim como suas respectivas áreas (km<sup>2</sup>) e porcentagens de ocupação, são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Usos do solo do Distrito do Campeche.

<b>Usos do Solo</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>%</b>
Areia	2,47	7,07
Floresta	20,17	57,78
Corpo d' água	0,30	0,86
Vegetação rasteira	7,40	21,20
Urbanização	4,57	13,09
<b>Total</b>	<b>34,91</b>	<b>100,00</b>

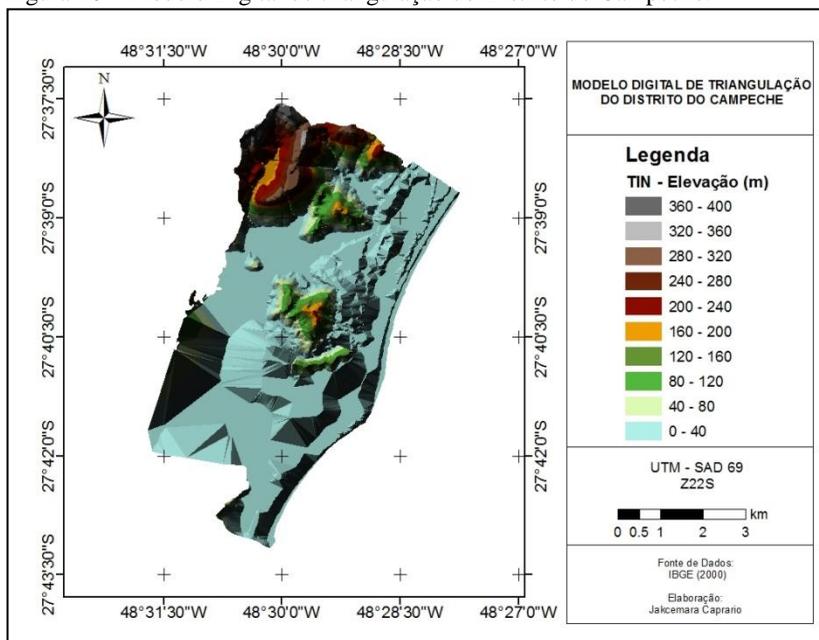
Fonte: desenvolvido pelo autor.

Analisando a Tabela 5, observa-se que o uso do solo predominante no Distrito do Campeche é Floresta, representando aproximadamente 58% da área total, sendo seguido por vegetação rasteira (aproximadamente 21%) e urbanização (13%). As áreas com corpos d' água e areia correspondem juntas a aproximadamente 8% de toda a área ocupada, representando 0,86% e 7,07%, respectivamente.

#### **4.3.7 Revelo**

O relevo do Distrito do Campeche foi mapeado a partir das curvas de nível digitalizadas pelo IBGE, possibilitando criar um modelo digital de vetores triangulares da área, o qual representou por meio de uma rede triangular irregular, toda a variação de elevação do terreno. Para melhor visualização da elevação do terreno, esta foi dividida em faixas de elevação com intervalos fixos de 40 m, sendo assim, obtidas dez faixas de elevação, que variam de 0 a 400 m. A Figura 16 representa a rede triangular irregular (TIN) do Distrito do Campeche.

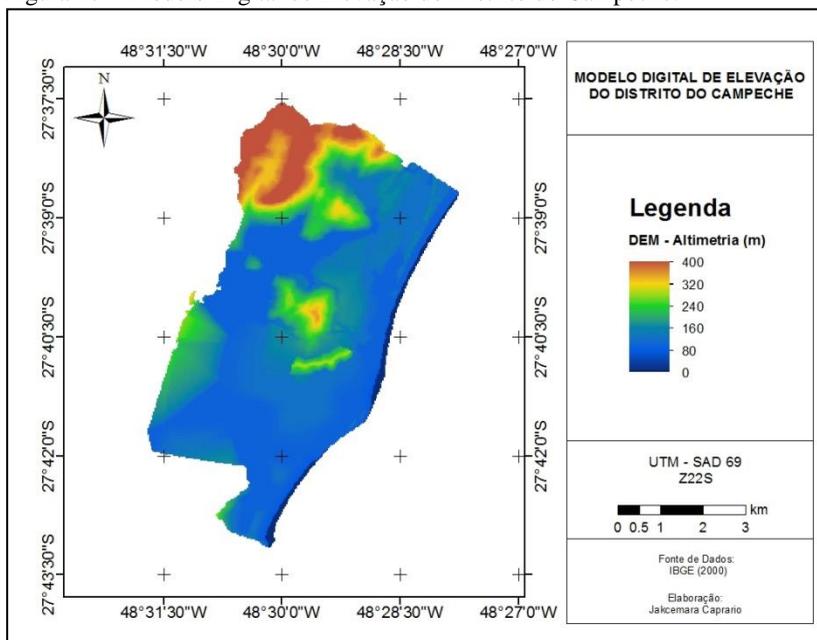
Figura 16 – Modelo Digital de triangulação do Distrito do Campeche.



Fonte: desenvolvido pelo autor.

Após a geração da rede triangular irregular do Distrito, foi convertida as informações em *raster*, gerando o Modelo digital de Elevação do terreno (DEM), o qual representa digitalmente a variação hipsométrica do Distrito do Campeche, por meio de uma matriz de pixels e suas respectivas altitudes. A Figura 17 representa o Modelo Digital de Elevação do Distrito do Campeche, Florianópolis (SC).

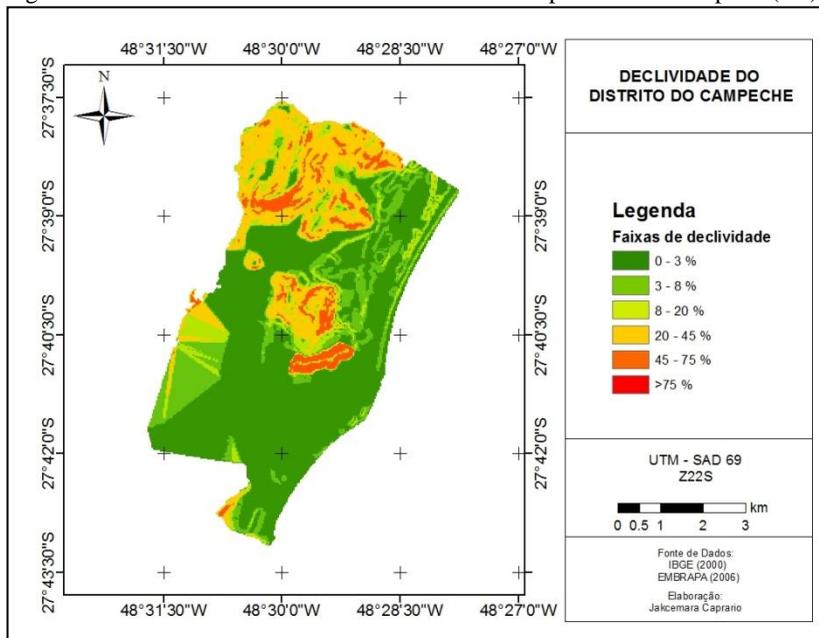
Figura 17 – Modelo Digital de Elevação do Distrito do Campeche.



Fonte: desenvolvido pelo autor.

A partir do DEM, foram geradas as faixas de declividade do Distrito do Campeche, representado na Figura 18 demonstrando em porcentagem (%) quais áreas são mais íngremes e quais áreas são mais planas. A declividade do Distrito do Campeche foi classificada em seis faixas distintas de relevo, sendo estas: 0-3% (terreno plano), 3-8% (terreno suavemente ondulado), 8-20% (terreno ondulado), 20-45% (terreno fortemente ondulado), 45-75% (terreno montanhoso) e maior que 75% (terreno fortemente montanhoso), conforme estabelecido pela EMBRAPA (2006).

Figura 18 – Faixas de declividade do Distrito do Campeche - Florianópolis (SC)



Fonte: desenvolvido pelo autor.

As faixas de declividade do Distrito do Campeche, assim como suas respectivas áreas (km<sup>2</sup>) e porcentagens de ocupação, são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 – Faixas de declividade do Distrito do Campeche.

Faixas de declividade	Área (km <sup>2</sup> )	%
Plano (0-3%)	17,94	51,40
Suavemente ondulado (3-8%)	4,98	14,27
Ondulado (8-20%)	3,34	9,56
Fortemente ondulado (20-45%)	6,67	19,10
Montanhoso (45-75%)	1,98	5,67
Fortemente montanhoso (>75%)	-	-
<b>Total</b>	<b>34,91</b>	<b>100,00</b>

Fonte: desenvolvido pelo autor.

Analisando a Tabela 6 é possível identificar que a declividade predominante no Distrito do Campeche é a plana, representando aproximadamente 51% da área total, sendo seguida pelo terreno

fortemente ondulado (aproximadamente 19%) e suavemente ondulado (aproximadamente 14%). As áreas com terreno ondulado e montanhoso correspondem juntas a aproximadamente 15 % de toda a área ocupada, representando 9,56% e 5,67%, respectivamente. A faixa de declividade fortemente montanhoso não teve representatividade no Distrito do Campeche.

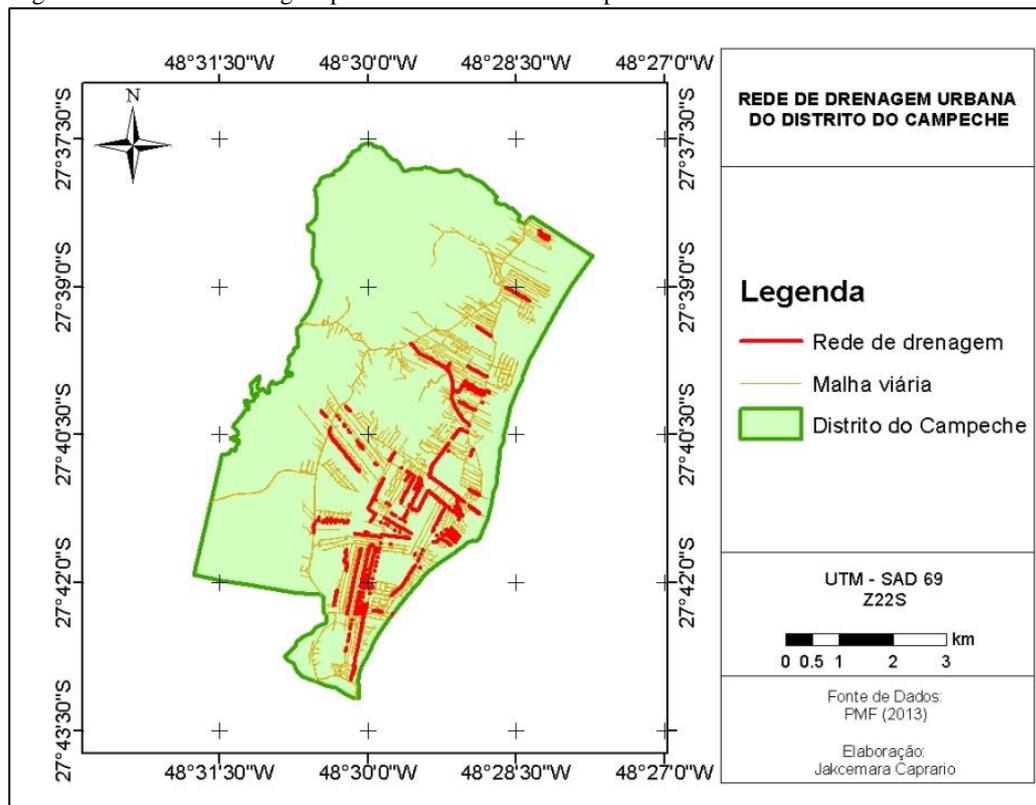
#### 4.4 CARACTERÍSTICAS DA REDE DE DRENAGEM URBANA

Segundo Pacheco e Finotti (2014) a rede de drenagem urbana do Distrito do Campeche dispõe de dispositivos de recarga, captação, armazenamento e infiltração de águas pluviais, sendo constituída basicamente por medidas estruturais, representadas por sarjetas, galerias, canais, tubulações, valas e poços de infiltração, tanques de retenção e percolação e sumidouros.

As autoras ainda afirmam que a adoção destas medidas estruturais degradam os recursos hídricos locais, tanto de maneira qualitativa, como quantitativa, devido à falta de um sistema de coleta de esgoto, o qual, aliado à rede de drenagem pluvial deficiente injeta parte da água de drenagem no solo da região, atingindo diretamente o Aquífero Campeche.

A rede de drenagem do Distrito do Campeche, assim como sua malha viária, é apresentada na Figura 19, a qual foi construída a partir de um banco de dados dos projetos de drenagem urbana do Distrito, fornecido pela Secretaria de Obras da Prefeitura Municipal de Florianópolis (PMF).

Figura 19 – Rede de drenagem pluvial do Distrito do Campeche.



Fonte: A partir de PMF (2013).

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Este capítulo apresenta os resultados obtidos nas duas etapas propostas na metodologia, bem como, a discussão destes em comparação a estudos similares.

### **5.1 DESENVOLVIMENTO DO INSTRUMENTO**

#### **5.1.1 Definição dos fatores de influência**

Com o intuito de subsidiar a seleção dos fatores influentes que foram considerados no desenvolvimento do instrumento de mapeamento de áreas suscetíveis à ocorrência de alagamentos e inundações, foi realizado um levantamento detalhado dos principais fatores adotados em uma gama de estudos similares, estando estes sintetizados no Quadro 11. Foram analisados 62 estudos, englobando Dissertações, Teses e artigos publicados em periódicos científicos nacionais e internacionais, perfazendo uma linha de tempo de 9 anos (período analisado de 2006 a 2015). Destaca-se que os estudos selecionados abordam diferentes metodologias de mapeamento de áreas suscetíveis à ocorrência de alagamentos, enchentes e inundações, possibilitando a obtenção de um panorama completo dos fatores que influenciam a ocorrência destes fenômenos. A Figura 20 ilustra a frequência de uso dos fatores de influência, considerados pelos estudos analisados como condicionantes para um bom mapeamento das áreas de suscetibilidade a inundação.

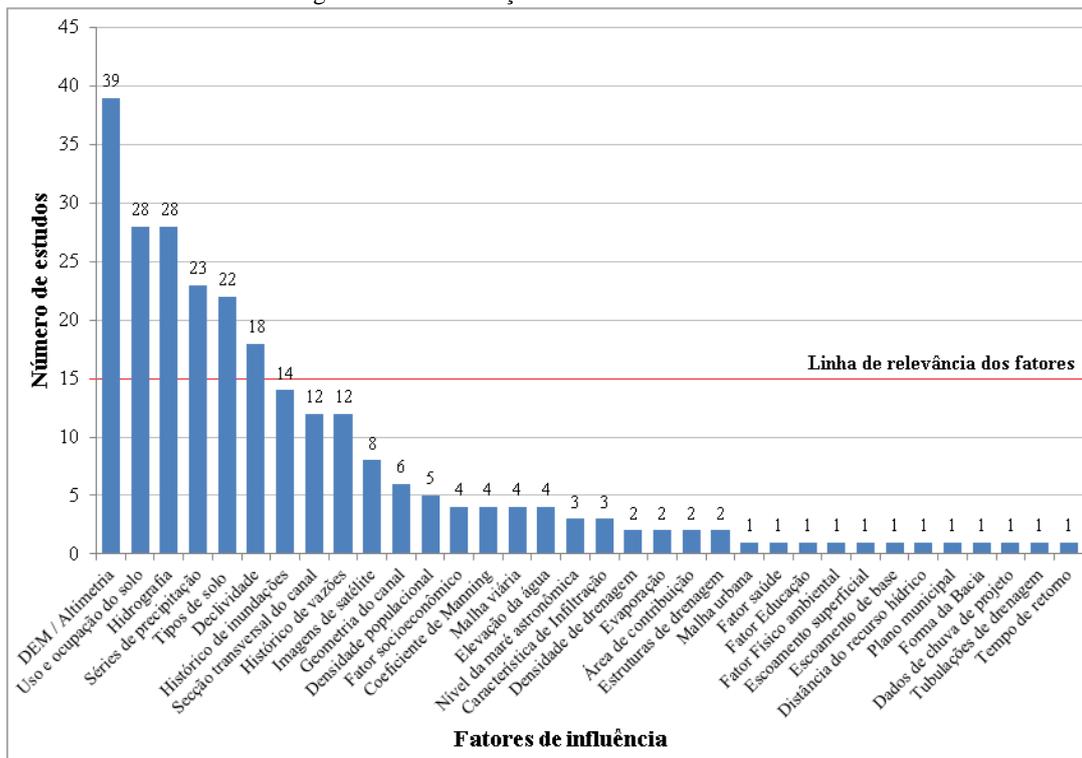
Cabe salientar que não existe um fator específico que caracterize com precisão as áreas de suscetibilidades à ocorrência de alagamentos e inundações urbanas, sendo necessária para obter tal resultado a combinação de diversos fatores ambientais e/ou antrópicos, considerados influentes para a suscetibilidade das áreas urbanas.







Figura 20 – Sintetização dos fatores condicionantes utilizados em estudos de mapeamento de áreas suscetíveis a ocorrência de alagamentos e inundações.



Fonte: desenvolvido pelo autor.

O número de fatores de influência combinados nos estudos analisados variou de um (SULEIMAN, 2006; GUIMARÃES e PENHA, 2009; RAI e MOHAN, 2014; POSEIRO et al., 2014a; POSEIRO et al., 2014b; JOO et al., 2014; POSEIRO et al., 2015) a oito (CAJUZEIRO, 2012), sendo as combinações entre três, quatro e cinco fatores as de maior reincidência, destacando-se em 13, 11 e 11 trabalhos, respectivamente. No geral foram adotados 34 fatores diferentes para o mapeamento das áreas suscetíveis a alagamentos, enchentes e inundações, variando em função do objetivo do trabalho, do método adotado para o mapeamento e do foco da aplicação, abrangendo desde características físicas, ambientais, demográficas e socioeconômicas das áreas em estudo, até complexas informações da infraestrutura das redes de macro e microdrenagem.

Dentre todos os fatores de influência analisados, a altimetria foi a que apresentou maior repetição, sendo adotada em 39 dos 62 estudos. Outros fatores que merecem destaque são: uso e ocupação do solo, hidrografia, séries de precipitação e tipos de solo, sendo adotados em mais de 20 estudos. Em virtude da grande quantidade de fatores apresentados, uma linha de relevância foi traçada, sendo definidos como fatores de influência para este estudo, os que apresentarem 15 ou mais repetições. Esta linha de relevância foi traçada tomando-se como base o foco de aplicação do presente estudo, que visa mapear as áreas suscetíveis a alagamentos e inundações urbanas associadas principalmente à rede de microdrenagem, diferentemente dos outros trabalhos que estudam a macrodrenagem. Abaixo da linha de relevância encontram-se os fatores influentes em estudos de canais, macrodrenagem e a nível de bacia, não sendo relevantes para este trabalho, por esta razão a linha de relevância foi traçada em 15.

Sendo assim, os fatores de influência adotados para este estudo foram: altimetria, uso e ocupação do solo, hidrografia, séries de precipitação, tipos de solo e declividade, além dos fatores: rede de drenagem pluvial e estruturas compensatórias, os quais foram previamente definidos pela autora.

### **5.1.2 Classificação e ponderação dos fatores**

Tendo definido os fatores de influência, foram elencadas as classes representantes destes, sendo atribuída a cada uma, uma nota, de acordo com seu grau de influência sobre os eventos de alagamentos e inundações urbanas.

## Fator Altimetria

O fator altimetria foi subdividido em intervalos constantes de 250m entre as cotas, variando de 0 a 3000m de altitude, totalizando 12 classes distintas. Esta escala de altitude foi adotada com base nos mapeamentos hipsométricos elaborados por CPRM e ANA (2013) e Cardoso [data desconhecida], visando à representação de todas as classes altimétricas presentes no território brasileiro. A atribuição de notas às classes do fator altimetria foi realizada considerando o favorecimento da elevação em relação ao direcionamento do escoamento superficial, que está diretamente relacionado com alagamentos e inundações nas regiões com cotas baixas. De acordo com Magalhães et al. (2011) e Prochmann (2014) quanto maior a elevação do terreno, menor é a probabilidade de ocorrência de inundação, devido a ação da gravidade que direciona o escoamento superficial, bem como o subterrâneo, para as regiões com menor elevação, favorecendo seu acúmulo e, conseqüentemente, elevando a tendência de inundação destas regiões. Tucci (2009) e Chaves e Peixoto Filho (2015) complementam mencionando que as áreas com maior suscetibilidade à ocorrência de inundações estão associadas às cotas altimétricas mais baixas, sendo geralmente observadas em regiões próximas aos cursos d'água. Com base nestas informações foi atribuída maior nota à classe altimétrica que representa o intervalo com menores cotas, reduzindo sucessivamente as notas conforme aumenta a elevação do terreno. As classes e as notas do fator altimetria são apresentadas no Quadro 12.

Quadro 12 – Classificação e ponderação das classes do fator altimetria.

Fator	Classes	Ponderação
Altimetria (m)	0 – 250	10
	250 – 500	9
	500 – 750	8
	750 – 1000	7
	1000 – 1250	6
	1250 – 1500	5
	1500 – 1750	4
	1750 – 2000	3
	2000 – 2250	2
	2250 – 2500	2
	2500 – 2750	1
	2750 – 3000	1

Fonte: desenvolvido pelo autor.

## **Fator uso e ocupação do solo**

O fator uso e ocupação do solo foi subdividido em treze classes distintas: corpos d'água, mangue/pântano, rizicultura, urbanização, estrada pavimentada, estrada não pavimentada, solo exposto, estepe, agricultura, pastagem, vegetação rasteira, reflorestamento e fragmento florestal. Estas classes foram adotadas buscando representar o máximo de usos do solo existentes, sendo construída pela composição das classes adotadas nos estudos de Silva (2007), Lima (2010), Magalhães et al. (2011), Muller (2012) e Andrade et al. (2014).

A atribuição de notas às classes do fator uso e ocupação do solo foi realizada considerando a permeabilidade do solo, estando diretamente relacionada com as taxas de infiltração e produção de escoamento superficial. De acordo com Magalhães et al (2011) e Ouma e Tateishi (2014), as formas de uso e ocupação do solo influenciam nos processos de infiltração e escoamento superficial, aumentando a vazão de pico e, conseqüentemente, favorecendo a ocorrência de inundações. Segundo Muller (2012), as áreas onde ocorre maior impermeabilização tendem a favorecer o escoamento superficial, atingindo o exutório de forma mais rápida e concentrada, gerando um aumento na magnitude e frequência das enchentes, contribuindo diretamente com a ocorrência de inundações. Muller (2012), menciona ainda que áreas cobertas por vegetação aumentam a capacidade de infiltração da precipitação, retardando o pico de inundação. Ressalta-se que quanto mais densa for a cobertura vegetal, maior será a interceptação da água precipitada, reduzindo o volume do escoamento superficial. Para as áreas vegetadas representadas por mangues, pântanos e rizicultura abre-se uma exceção, visto as características geomorfológicas e pedológicas destas favorecerem naturalmente a inundação.

Com base nestas informações, foi atribuída maior nota à classe de uso e ocupação do solo representada por corpos d'água, visto estas áreas serem naturalmente e constantemente inundadas. As notas seguintes foram sucessivamente reduzindo, conforme o grau de encharcamento, a impermeabilização do solo e a densidade da vegetação. As classes do fator uso e ocupação do solo, bem como suas respectivas notas são apresentadas no Quadro 13.

Quadro 13 – Classificação e ponderação das classes do fator uso e ocupação do solo.

<b>Fator</b>	<b>Classes</b>	<b>Ponderação</b>
Uso e ocupação do solo	Corpos d'água	10
	Mangue/pântano	9
	Rizicultura	9
	Urbanização	8
	Estrada pavimentada	8
	Estrada não pavimentada	7
	Solo exposto	7
	Estepe	6
	Agricultura	5
	Pastagem	4
	Vegetação rasteira	3
	Reflorestamento	2
Fragmento florestal	1	

Fonte: desenvolvido pelo autor.

### **Fator Hidrografia**

O fator hidrografia foi dividido em duas classes distintas, uma representando as áreas onde existe rede hidrográfica e outra representando as áreas onde a rede hidrográfica é ausente. A atribuição de notas às classes do fator hidrografia foi realizada considerando apenas a existência ou não de corpos d'água. De acordo com Cunha et al. (2012), todos os cursos de água contribuem para a ocorrência de cheias e inundações, visto que o transbordo e conseqüente alagamento dos terrenos ribeirinhos, constituem um processo natural associado a todos os cursos de água. Robaiana et al. (2013) complementa mencionando que canais de menor ordem apresentam risco de inundação relativamente mais baixo, principalmente quando comparados com canais de maior ordem (canais principais). Com base nestas informações foi atribuída nota 7 à classe que representa as áreas onde existe rede hidrográfica, considerando que estas são naturalmente inundadas, e nota 3 à classe que representa as áreas onde a rede hidrográfica é ausente. A escala de ponderação para este fator variou de 3 a 7, única e exclusivamente por motivo de ajuste no mapeamento, pois, ao ser adotada a escala normal de 0 a 10, o fator hidrografia se sobrepõe aos outros fatores, dominando e inviabilizando o mapeamento.

As classes do fator hidrografia, bem como suas respectivas notas são apresentadas no Quadro 14.

Quadro 14 – Classificação e ponderação das classes do fator hidrografia.

<b>Fator</b>	<b>Classes</b>	<b>Ponderação</b>
Hidrografia	Existência	7
	Ausência	3

Fonte: desenvolvido pelo autor.

### **Fator precipitação**

O fator séries históricas de precipitação, adotado neste estudo como precipitação média anual, foi subdividido em onze classes. Nas dez primeiras classes os intervalos são constantes com variação de 300 mm, variando de 0 a 3000 mm de precipitação média anual. Já na última classe não existe um intervalo constante, sendo esta representante de todos os volumes precipitados acima de 3000 mm. A atribuição de notas às classes do fator precipitação foi realizada considerando apenas o volume médio anual precipitado, desconsiderando frequências e magnitudes de eventos isolados. Esta escala de precipitação foi adotada com base no Atlas Geográfico de Recursos Hídricos do Brasil, elaborado por CPRM e ANA (2013), visando a representação de todas as classes pluviométricas presentes no território nacional. A atribuição de notas às classes do fator precipitação foi realizada com base no volume, considerando que quanto maior for o volume precipitado, maior será a probabilidade de ocorrência de alagamentos e inundações nas regiões urbanas. De acordo com Ouma e Tateishi (2014) as inundações urbanas ocorrem devido ao elevado escoamento superficial e consequente acúmulo em regiões baixas, causado principalmente por precipitações de grande intensidade. Cunha et al. (2012) complementa mencionando que as cheias e inundações podem resultar tanto de precipitações intensas, como também, de longos períodos de precipitação moderada. Com base nestas informações foi atribuída maior nota à classe de precipitação que representa o intervalo com maiores volumes, reduzindo sucessivamente as notas conforme reduz o volume médio anual precipitado. As classes do fator precipitação, bem como suas respectivas notas são apresentadas no Quadro 15.

Quadro 15 – Classificação e ponderação das classes do fator precipitação média anual.

<b>Fator</b>	<b>Classes</b>	<b>Ponderação</b>
Precipitação média anual (mm)	< 300	1
	300 – 600	2
	600 – 900	3
	900 – 1200	4
	1200 – 1500	5
	1500 – 1800	6
	1800 – 2100	7
	2100 – 2400	8
	2400 – 2700	9
	2700 – 3000	9
	> 3000	10

Fonte: desenvolvido pelo autor.

### **Fator tipo de solo**

O fator tipos de solo foi subdividido em treze classes distintas, conforme estabelecido no 1º nível categórico do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos elaborado pela EMBRAPA (2006), sendo estas: ARGISSOLOS, CAMBISSOLOS, CHERNOSSOLOS, ESPODOSSOLOS, GLEISSOLOS, LATOSSOLOS, LUVISSOLOS, NEOSSOLOS, NITOSSOLOS, ORGANOSSOLOS, PLANOSSOLOS, PLINTOSSOLOS e VERTISSOLOS. A atribuição de notas às classes do fator tipos de solo foi realizada considerando a capacidade de infiltração, que está diretamente associada às frações de areia, silte e argila presentes no solo. De acordo com Barbosa Júnior (2014) quanto maior for a capacidade de infiltração do solo, maior será a velocidade do escoamento subterrâneo e, em consequência, maior será a quantidade de água absorvida pela superfície, reduzindo consideravelmente a suscetibilidade à ocorrência de alagamentos e inundações. Barbosa Júnior (2014) menciona ainda que solos arenosos caracterizam-se por sua elevada capacidade de infiltração, reduzindo o escoamento superficial. Tucci e Mendes (2006) complementam afirmando que solos siltosos e/ou argilosos apresentam alta capacidade de infiltração quando secos, no entanto, após receber umidade, rapidamente são saturados, tornando-se impermeáveis. Com base nestas informações foi atribuída maior nota à classe pedológica que apresenta solos naturalmente inundados, reduzindo as notas sucessivamente conforme aumenta a

fração de areia e, conseqüentemente, a capacidade de infiltração. As classes do fator tipos de solo, bem como suas respectivas notas são apresentadas no Quadro 16.

Quadro 16 – Classificação e ponderação das classes do fator tipos de solo.

<b>Fator</b>	<b>Classes</b>	<b>Ponderação</b>
Tipos de solo	GLEISSOLOS	10
	ORGANOSSOLOS	9
	PLANOSSOLOS	8
	VERTISSOLOS	8
	LUVISSOLOS	7
	CHERNOSSOLOS	6
	NITOSSOLOS	6
	ARGISSOLOS	5
	LATOSSOLOS	5
	PLINTOSSOLOS	4
	NEOSSOLOS	3
	CAMBISSOLOS	2
	ESPODOSSOLOS	1

Fonte: desenvolvido pelo autor.

### **Fator declividade**

O fator declividade foi subdividido em seis classes distintas, conforme estabelecido pela EMBRAPA (2006), sendo estas: 0-3% (terreno plano), 3-8% (terreno suavemente ondulado), 8-20% (terreno ondulado), 20-45% (terreno fortemente ondulado), 45-75% (terreno montanhoso) e maior que 75% (terreno fortemente montanhoso). A atribuição de notas às classes do fator declividade foi realizada considerando a concentração do fluxo de escoamento superficial, que está diretamente relacionada com a capacidade de armazenamento de água sobre a superfície do solo. De acordo com Magalhães et al. (2011) a declividade influencia diretamente o acúmulo de água no solo, sendo a probabilidade de ocorrência de inundações muito maior em áreas planas. Muller (2012) e Prochmann (2014) complementam mencionando que quando maior a declividade, maior é a velocidade do escoamento superficial e menor é a capacidade de armazenamento de água no solo, contribuindo diretamente como o acúmulo de água nas áreas mais planas. Com base nestas informações foi atribuída maior nota à classe de declividade considerada plana, reduzindo sucessivamente as notas

conforme aumento da inclinação do terreno. As classes do fator declividade, bem como suas respectivas notas são apresentadas no Quadro 17.

Quadro 17 – Classificação e ponderação das classes do fator declividade.

<b>Fator</b>	<b>Classes</b>	<b>Ponderação</b>
Declividade (%)	0 – 3	10
	3 – 8	7
	8 – 20	5
	20 – 45	4
	45 – 75	3
	> 75	1

Fonte: desenvolvido pelo autor.

### **Fator rede de drenagem**

O fator rede de drenagem foi dividido em duas classes, uma representando as áreas onde existe rede de drenagem pluvial e a outra onde a rede é ausente. A atribuição de notas às classes do fator rede de drenagem foi realizada considerando apenas a existência ou não de um sistema de drenagem urbana. De acordo com Pompeo (1999 *apud* SALES, 2011) a drenagem urbana nada mais é que um conjunto de medidas que visam à redução dos riscos e prejuízos causados à população por inundações urbanas. Segundo Sales (2011) os sistemas de drenagem urbana são considerados sistemas essencialmente preventivos de inundações. Meller e Paiva (2005) afirmam em seu estudo que os alagamentos e inundações urbanas ocorrem devido à expansão urbana desordenada, aliada a ineficiência dos sistemas de microdrenagem, derivados do subdimensionamento das estruturas de captação e condução do escoamento na rede. Com base nestas informações, foi atribuída nota 7 à classe que representa as áreas onde existe rede de drenagem pluvial, bem como, a toda a área de contribuição destas, e nota 3 à classe que representa as áreas onde a rede de drenagem é ausente. A escala de ponderação para este fator variou de 3 a 7, única e exclusivamente por motivo de ajuste no mapeamento, pois ao ser adotada a escala normal de 0 a 10, o fator rede de drenagem se sobrepõem aos outros fatores, dominando e inviabilizando o mapeamento. As classes do fator rede de drenagem, bem como suas respectivas notas são apresentadas no Quadro 18.

Quadro 18 – Classificação e ponderação das classes do fator rede de drenagem.

<b>Fator</b>	<b>Classes</b>	<b>Ponderação</b>
Rede de drenagem	Ausência	7
	Existência	3

Fonte: desenvolvido pelo autor.

### **Fator presença de estruturas compensatórias de drenagem**

O fator estruturas compensatórias foi subdividido em cinco classes distintas, sendo estas: poço de infiltração, trincheira, vala de infiltração, bacia de retenção e ausência de estruturas. A atribuição de notas às classes do fator estruturas compensatórias foi realizada considerando apenas a capacidade de armazenamento, seja ela para retenção, infiltração ou evaporação, não sendo levado em conta o custo de implantação e manutenção e a integração da estrutura com a área urbana. De acordo com Lucas et al. (2015), as técnicas compensatórias de drenagem ganham destaque dentre as alternativas de controle de alagamentos e inundações urbanas, retendo e/ou infiltrando um grande volume de água pluvial, reduzindo, desta forma, os efeitos da urbanização. Segundo Hamel et al. (2013), a capacidade de retenção das técnicas compensatórias varia de acordo com o *design*, diretamente relacionado com o volume de armazenamento, e com o ambiente de instalação, relacionado com as características ambientais da área. Com base nestas informações, foi atribuída maior nota, isto é, maior influência na suscetibilidade à ocorrência de alagamentos e inundações, à classe que representa as áreas onde não existem estruturas compensatórias associadas ao sistema de drenagem, reduzindo sucessivamente as notas conforme a capacidade de armazenamento da estrutura. As classes do fator estruturas compensatórias, bem como suas respectivas notas são apresentadas no Quadro 19.

Quadro 19 – Classificação e ponderação das classes do fator estruturas compensatórias.

<b>Fator</b>	<b>Classes</b>	<b>Ponderação</b>
Estruturas compensatórias	Ausência	10
	Trincheira	5
	Poço de infiltração	3
	Vala de infiltração	2
	Bacia de retenção	1

Fonte: desenvolvido pelo autor.

Desta forma, agrupando todos os quadros dos fatores de influencia, obteve-se um quadro de classificação e ponderação nacional de todas as possíveis classes dos fatores de influencia, representado pelo Quadro 20.

Quadro 20- Classificação e ponderação nacional das classes dos fatores de influência.

(continua)

<b>Fator</b>	<b>Classes</b>	<b>Ponderação</b>
Altimetria (m)	0 – 250	10
	250 – 500	9
	500 – 750	8
	750 – 1000	7
	1000 – 1250	6
	1250 – 1500	5
	1500 – 1750	4
	1750 – 2000	3
	2000 – 2250	2
	2250 – 2500	2
	2500 – 2750	1
	2750 – 3000	1
Uso e ocupação do solo	Corpos d'água	10
	Mangue/pântano	9
	Rizicultura	9
	Urbanização	8
	Estrada pavimentada	8
	Estrada não pavimentada	7
	Solo exposto	7
	Estepe	6
	Agricultura	5
	Pastagem	4
	Vegetação rasteira	3
	Reflorestamento	2
	Fragmento florestal	1
Hidrografia	Existência	7
	Ausência	3

(conclusão)

Precipitação média anual (mm)	< 300	1
	300 – 600	2
	600 – 900	3
	900 – 1200	4
	1200 – 1500	5
	1500 – 1800	6
	1800 – 2100	7
	2100 – 2400	8
	2400 – 2700	9
	2700 – 3000	9
> 3000	10	
Tipos de solo	GLEISSOLOS	10
	ORGANOSSOLOS	9
	PLANOSSOLOS	8
	VERTISSOLOS	8
	LUVISSOLOS	7
	CHERNOSSOLOS	6
	NITOSSOLOS	6
	ARGISSOLOS	5
	LATOSSOLOS	5
	PLINTOSSOLOS	4
	NEOSSOLOS	3
	CAMBISSOLOS	2
ESPODOSSOLOS	1	
Declividade (%)	0 – 3	10
	3 – 8	7
	8 – 20	5
	20 – 45	4
	45 – 75	3
	> 75	1
Rede de drenagem	Ausência	7
	Existência	3
Estruturas compensatórias	Ausência	10
	Trincheira	5
	Poço de infiltração	3
	Vala de infiltração	2
	Bacia de detenção	1

### 5.1.3 Elaboração das faixas de suscetibilidade

Tendo estabelecido as notas, foi construída uma escala de suscetibilidade à alagamentos e inundações, combinando notas máximas e mínimas de cada fator. A escala construída apresentou variação de 8 a 80 pontos, sendo fragmentada em quatro faixas de suscetibilidade com intervalos distintos, representando 50%, 10%, 15% e 25%, conforme apresentado na Figura 21. Os intervalos foram definidos com base em testes no processamento, sendo estes representantes da melhor distribuição dos resultados quando comparados com informações reais de suscetibilidade a alagamentos e inundações.

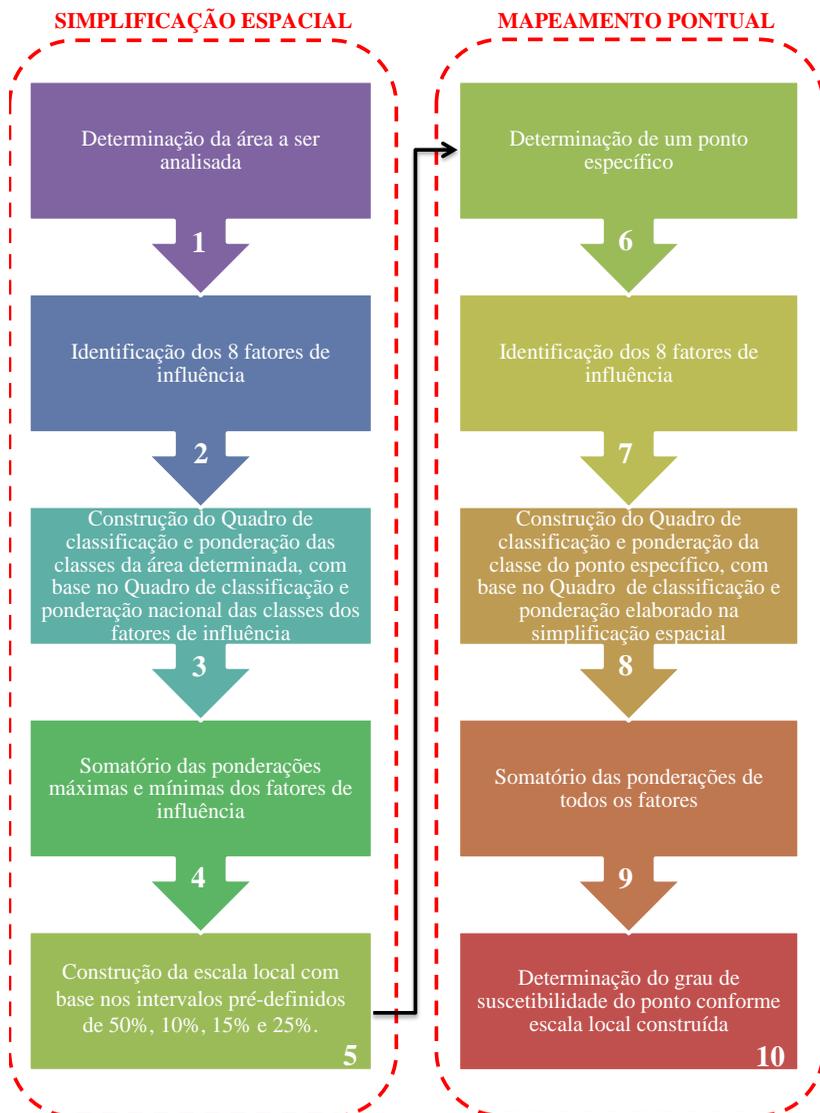
Figura 21 – Escala de suscetibilidade à ocorrência de alagamentos e inundações.



Fonte: desenvolvido pelo autor.

Finalizado o desenvolvimento do instrumento metodológico, foi construído um fluxograma do passo a passo para facilitar o entendimento e aplicação do IMAAI. O Fluxograma é composto de 10 passos, sendo os 5 primeiros passos referentes à simplificação espacial das características da área a ser estudada, incluindo desde a escolha da área e identificação das classes dos fatores, até a construção da escala de suscetibilidade, e, os 5 últimos passos, referentes ao mapeamento pontual propriamente dito, incluindo desde a determinação do ponto a ser analisado, até a determinação do seu grau de suscetibilidade. O fluxograma do passo a passo para a aplicação da metodologia IMAAI é apresentado na Figura 22.

Figura 22 - Fluxograma de aplicação passo a passo da metodologia IMAAI.



Fonte: desenvolvido pelo autor.

## 5.2 AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE DESEMPENHO

Nesta etapa, foram realizados os ensaios com o instrumento desenvolvido e com o instrumento AHP-SIG, além de inventariar os pontos de alagamentos e inundações ocorridos no Distrito do Campeche. A seguir, os resultados dos ensaios e do procedimento de inventário são abordados de forma sucinta e objetiva, juntamente com a comparação de seus resultados, ajustes e correções realizadas.

### 5.2.1 Aplicação do IMAAI à área de estudo

Para integralizar o banco de dados dos fatores considerados influentes para o mapeamento da suscetibilidade à ocorrência de alagamentos e inundações na área de ensaio, fez-se necessário o levantamento de informações de precipitação média anual e estruturas compensatórias presentes na região.

Para representar o regime de precipitação anual no Distrito do Campeche utilizaram-se informações de oito estações meteorológicas distribuídas em toda a região da Grande Florianópolis, conforme relação apresentada na Tabela 7. As séries de dados obtidas (Tabela 8) são referentes ao ano de 2015, não apresentando falhas. Não foi possível utilizar um intervalo de tempo maior, devido a grande quantidade de falhas nas séries, o que induziria um erro ao processamento.

Tabela 7 – Estações meteorológicas utilizadas para espacializar o regime pluviométrico anual do Distrito do Campeche.

<b>Código</b>	<b>Local</b>	<b>Responsável</b>
420540703A	Campeche	CEMADEM
420540707A	Canasvieiras	CEMADEM
420540702A	Coqueiros	CEMADEM
420540706A	Costeira do Pirajubaé	CEMADEM
2748004	Palhoça	CASAN
420540708A	Rio Vermelho	CEMADEM
420540705A	SC 406	CEMADEM
Sem código	Trindade	UFSC

Fonte: Adaptado de ANA (2016), CEMADEM (2016) e UFSC (2016)

Tabela 8 – Série de dados de precipitação mensal e anual para a região da Grande Florianópolis.

(continua)

<b>X - Lat</b>	<b>Y - Long</b>	<b>Local</b>	<b>Jan</b>	<b>Fev</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>Mai</b>
-48.5730	-27.5990	Coqueiros	77,12	176,26	89,45	51,53	104,14
-48.4580	-27.4320	Canasvieiras	125,57	367,99	195,11	91,09	187,68
-48.5220	-27.6340	Costeira do Pirajubaé	138,81	371,51	245,64	142,37	251,05
-48.4180	-27.4910	Rio Vermelho	118,52	379,44	170,09	88,46	25,20
-48.5100	-27.7540	Rod SC 406	131,12	424,75	325,18	184,86	238,92
-48.5000	-27.7060	Arreias do Campeche	137,11	354,78	320,48	176,62	187,68
-48.7108	-27.6925	Palhoça	238,00	254,00	183,40	125,60	228,00
-48.5192	-27.5994	Trindade	141,53	368,00	210,82	119,79	211,61

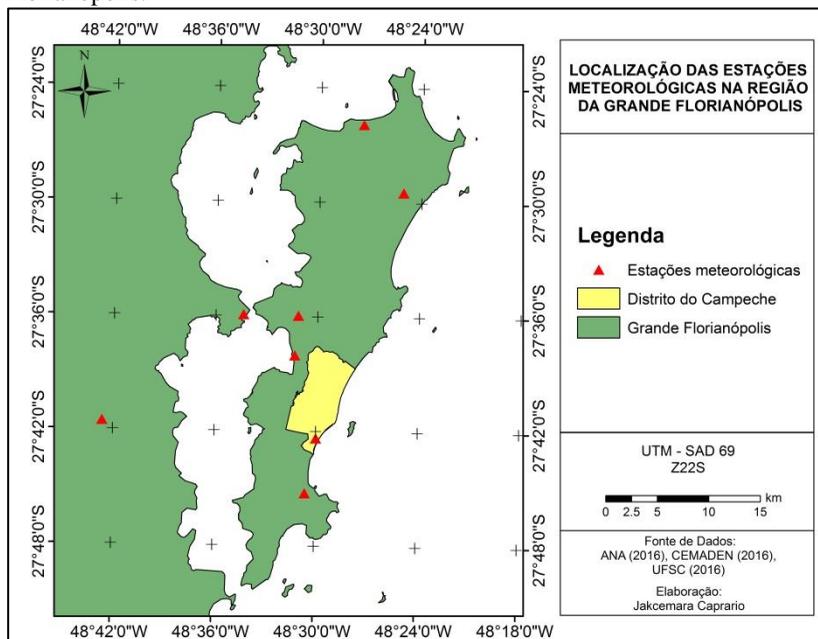
(conclusão)

<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Out</b>	<b>Nov</b>	<b>Dez</b>	<b>Precipitação anual</b>
42,87	122,35	35,11	122,80	138,85	63,54	82,43	1106,44
102,03	138,50	57,20	241,06	304,58	21,74	0,00	1832,54
94,89	194,90	67,66	245,01	49,10	26,60	10,60	1838,14
11,20	5,00	70,43	225,28	286,78	144,63	135,70	1660,73
107,71	311,57	74,61	342,14	345,65	215,47	157,81	2859,79
96,48	287,20	74,63	301,72	299,18	174,21	175,15	2585,25
106,60	252,20	75,00	291,00	347,60	217,00	185,40	2503,80
103,66	237,92	68,35	286,77	274,55	207,82	141,94	2372,74

Fonte: desenvolvido pelo autor.

A espacialização das estações meteorológicas utilizadas para a construção do regime pluviométrico anual do Distrito do Campeche é apresentada na Figura 23.

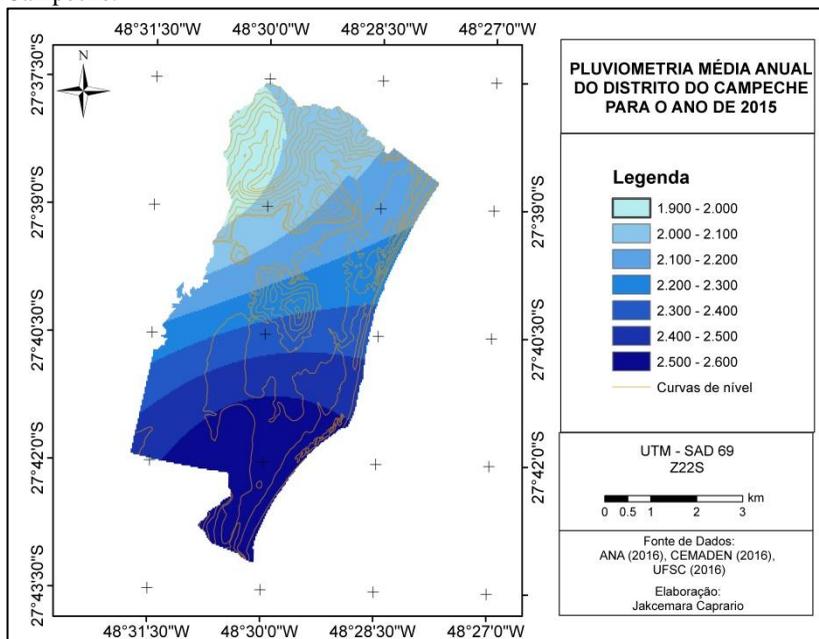
Figura 23 – Espacialização das estações meteorológicas na região da Grande Florianópolis.



Fonte: desenvolvido pelo autor.

O método IDW foi utilizado para interpolar os dados de precipitação das oito estações meteorológicas selecionadas, obtendo como resultado a distribuição do regime pluviométrico de toda a região. O método de interpolação IDW consiste basicamente na multiplicação dos valores de precipitação pelo inverso de suas distâncias ao ponto de referência (VARELLA e SENA, 2008; WATSON e PHILIP *apud* ARCGIS, 2013). O recorte da distribuição do regime pluviométrico anual para a área de ensaio é apresentado na Figura 24.

Figura 24 – Distribuição do regime pluviométrico anual para o Distrito do Campeche.



Fonte: desenvolvido pelo autor.

As informações referentes à distribuição das estruturas de infiltração/compensatórias na área de ensaio foram levantadas por meio de análise dos projetos de drenagem urbana executados no Distrito do Campeche. O banco de dados dos projetos foi cedido pela Prefeitura Municipal de Florianópolis, sendo composto por vários arquivos CAD (*computer aided design*) das via do Distrito, apresentando tanto os projetos construtivos, como também os de distribuição das estruturas de drenagem. Como resultado da análise dos projetos foram identificadas 1.017 estruturas compensatórias, sendo estas representadas por vala e poços de infiltração, sendo o último denominado nos projetos como sumidouro de drenagem. A relação dos tipos, localização e quantidade de estruturas compensatórias encontradas nos projetos de drenagem do Distrito do Campeche são apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9 – Relação dos tipos, localização e quantidade de estruturas compensatórias presentes no Distrito do Campeche.

(continua)

<b>Técnica compensatória</b>	<b>Localização</b>	<b>Número de estruturas</b>
Vala	Av. Pequeno Príncipe	1
Poço	Rua Auroreal	52
Poço	Rua Aviação Francesa	30
Poço	Rua das Graças	30
Poço	Rua Jardim dos Eucaliptos	70
Poço	Rua Raymundo Carlos Lopes	28
Poço	Rua Recanto do Beija Flor	18
Poço	Rua Revoar das Gaivotas	52
Poço	Rua Sagrado Coração de Jesus	14
Poço	Rua Tem. Orlando Basto Schroder	24
Poço	Rua Vento Sul	32
Poço	Ser. Alexandrina Marcelino Martins	4
Poço	Ser. Alfredo José Rodrigues	13
Poço	Ser. Alvorada	30
Poço	Ser. Ambrósia Carolina de Jesus	4
Poço	Ser. Bambuzal	12
Poço	Ser. Cana da Índia	4
Poço	Ser. Canteiros	16
Poço	Ser. Canto do Tucano	16
Poço	Ser. Corujas do Sul	16
Poço	Ser. dos Quero Quero	8
Poço	Ser. Estrela da Manhã	4
Poço	Ser. Fidélis Govoni	90
Poço	Ser. Jaborandi	58
Poço	Ser. José Elias Lopes	86
Poço	Ser. José João Vieira	34
Poço	Ser. Manoel Pires Bello	6
Poço	Ser. Maria Cordeiro Fernandes	34
Poço	Ser. Morro Verde	6
Poço	Ser. Nelson Conrado da Silva	30
Poço	Ser. Recanto do Buriti/Chico Mendes	6
Poço	Ser. Rosa dos Ventos	14
Poço	Ser. Santos Silva	10
Poço	Ser. Saturnino Manoel de Quadros	4
Poço	Ser. Sérvulo Chagas	22
Poço	Ser. Teixeira	34

		(conclusão)
Poço	Ser. Tipuana	14
Poço	Ser. Toca da Coruja	4
Poço	Ser. Vitor H das Chagas	26
Poço	Ser. Zeferino João Bregue	22
Poço	Trav. Beco dos Surfistas Nativos	4
Poço	Trav. das Andorinhas	7
Poço	Trav. Flor de Pérola	12
Poço	Trav. Magnólia Branca	16
<b>Total</b>		<b>1017</b>

Fonte: desenvolvido pelo autor.

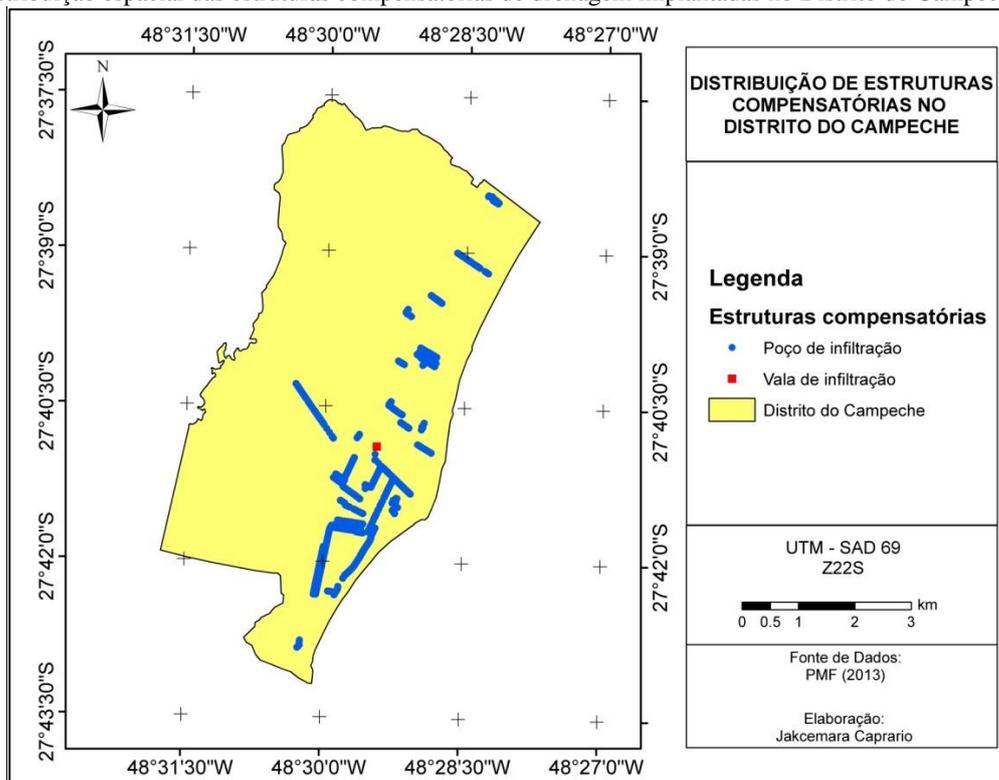
A distribuição espacial das estruturas compensatórias de drenagem implantadas no Distrito do Campeche é apresentada na Figura 25.

Tendo integralizado o banco de dados dos fatores que influenciam na suscetibilidade à ocorrência de alagamentos e inundações na área de ensaio, procedeu-se a aplicação do instrumento de mapeamento desenvolvido. Para tal, foram elencadas as classes presentes em cada fator de influencia encontrado na área de ensaio, bem como suas respectivas notas, conforme determinado no instrumento desenvolvido. Todas as informações foram agrupadas em um único quadro (Quadro 21) para então construir a escala de suscetibilidade à ocorrência de alagamentos e inundações.

A escala de suscetibilidade foi construída conforme previsto no instrumento desenvolvido, sendo obtida pela combinação das notas mínimas e máximas de cada fator, uma escala com variação de 29 a 68 pontos. As faixas da escala de suscetibilidade foram definidas respeitando os intervalos de 50%, 10%, 15% e 25% da variação dos pontos, conforme previsto no instrumento desenvolvido.

A escala de suscetibilidade à ocorrência de alagamentos e inundações, construída a partir do quadro de classificação e ponderação das classes dos fatores de influência encontrados no Distrito do Campeche, é apresentada na Figura 26.

Figura 25 – Distribuição espacial das estruturas compensatórias de drenagem implantadas no Distrito do Campeche.



Fonte: desenvolvido pelo autor a partir de dados de PMF (2013).

Quadro 21 – Classificação e ponderação das classes dos fatores de influência adaptada para o Distrito do Campeche.

<b>Fator</b>	<b>Classes</b>	<b>Ponderação</b>
Altimetria (m)	0 – 250	10
	250 – 500	9
Uso e ocupação do solo	Corpos d'água	10
	Urbanização	8
	Solo exposto	7
	Vegetação rasteira	3
	Fragmento florestal	1
Hidrografia	Existe hidrografia	7
	Não existe hidrografia	3
Precipitação média anual (mm)	1800 – 2100	7
	2100 – 2400	8
	2400 – 2700	9
Tipos de solo	ARGISSOLOS	5
	NEOSSOLOS	3
Declividade (%)	0 – 3	10
	3 – 8	7
	8 – 20	5
	20 – 45	4
	45 – 75	3
	>75	1
Rede de drenagem	Não existe	7
	Existe rede	3
Estruturas compensatórias	Não existe	10
	Poço de infiltração	3
	Vala de infiltração	2

Fonte: desenvolvido pelo autor.

Figura 26 – Escala de suscetibilidade à ocorrência de alagamentos e inundações.



Fonte: desenvolvido pelo autor.

### **Aplicação do IMAAI a um ponto do Campeche**

Como resultado da aplicação do instrumento desenvolvido é possível determinar a suscetibilidade à ocorrência de alagamentos e

inundações de qualquer local/ponto do Distrito do Campeche, bastando apenas conhecer as características dos fatores presentes no local desejado. Como exemplo adotaremos o final da Rua Jardim dos Eucaliptos, local com ocorrência constante de alagamentos. Este ponto é caracterizado por uma altimetria variando entre as cotas de 0 e 5 metros, uso do solo classificado como solo exposto, ausência de hidrografia, precipitação média anual variando entre 2500 e 2600 mm, solo classificado como NEOSSOLO QUARTZARÊNICO, declividade variando entre 0 e 3%, ausência de rede de drenagem e ausência de estruturas compensatórias. Adequando as características dos fatores do local escolhido com as classes elencadas no instrumento desenvolvido, podemos construir o quadro de classificação e ponderação dos fatores, conforme apresentado abaixo.

Quadro 22 – Classificação e ponderação das classes dos fatores de influência encontrados no Distrito do Campeche.

<b>Fator</b>	<b>Classes</b>	<b>Ponderação</b>
Altimetria (m)	0 – 250	10
Uso e ocupação do solo	Solo exposto	7
Hidrografia	Não existe hidrografia	3
Precipitação média anual (mm)	2400 - 2700	9
Tipos de solo	NEOSSOLO	3
Declividade (%)	0 – 3	10
Rede de drenagem	Não existe	7
Estruturas compensatórias	Não existe	10

Fonte: desenvolvido pelo autor.

Somando as ponderações, obtemos um total de 59 pontos, o que segundo a escala de suscetibilidade à ocorrência de alagamentos e inundações construída para o Distrito do Campeche, classifica a área como sendo de suscetibilidade muito alta, validando os constantes eventos de alagamentos ocorridos na área.

### **Aplicação do IMAAI a toda área do distrito do Campeche**

A fim de representar visualmente a suscetibilidade à ocorrência de alagamentos e inundações em toda a área do Distrito do Campeche, foi gerado um *raster* para cada fator de influência utilizado pelo instrumento desenvolvido, contendo as classes de cada fator, bem como, as ponderações adotadas para cada uma. Tendo preparado todos os fatores foi realizado a sobreposição destes, gerando a distribuição

especial das faixas de suscetibilidade para todo o Distrito do Campeche, conforme apresentado na Figura 27.

A Tabela 10 apresenta a distribuição das faixas de suscetibilidade à ocorrência de alagamentos e inundações no Distrito do Campeche.

Tabela 10 – Faixas de suscetibilidade a alagamentos e inundações obtidas por meio do instrumento desenvolvido.

<b>Suscetibilidade</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>%</b>
Baixa	8,49	24,33
Média	8,60	24,62
Alta	13,84	39,63
Muito alta	3,98	11,41
<b>Total</b>	<b>34,91</b>	<b>100,00</b>

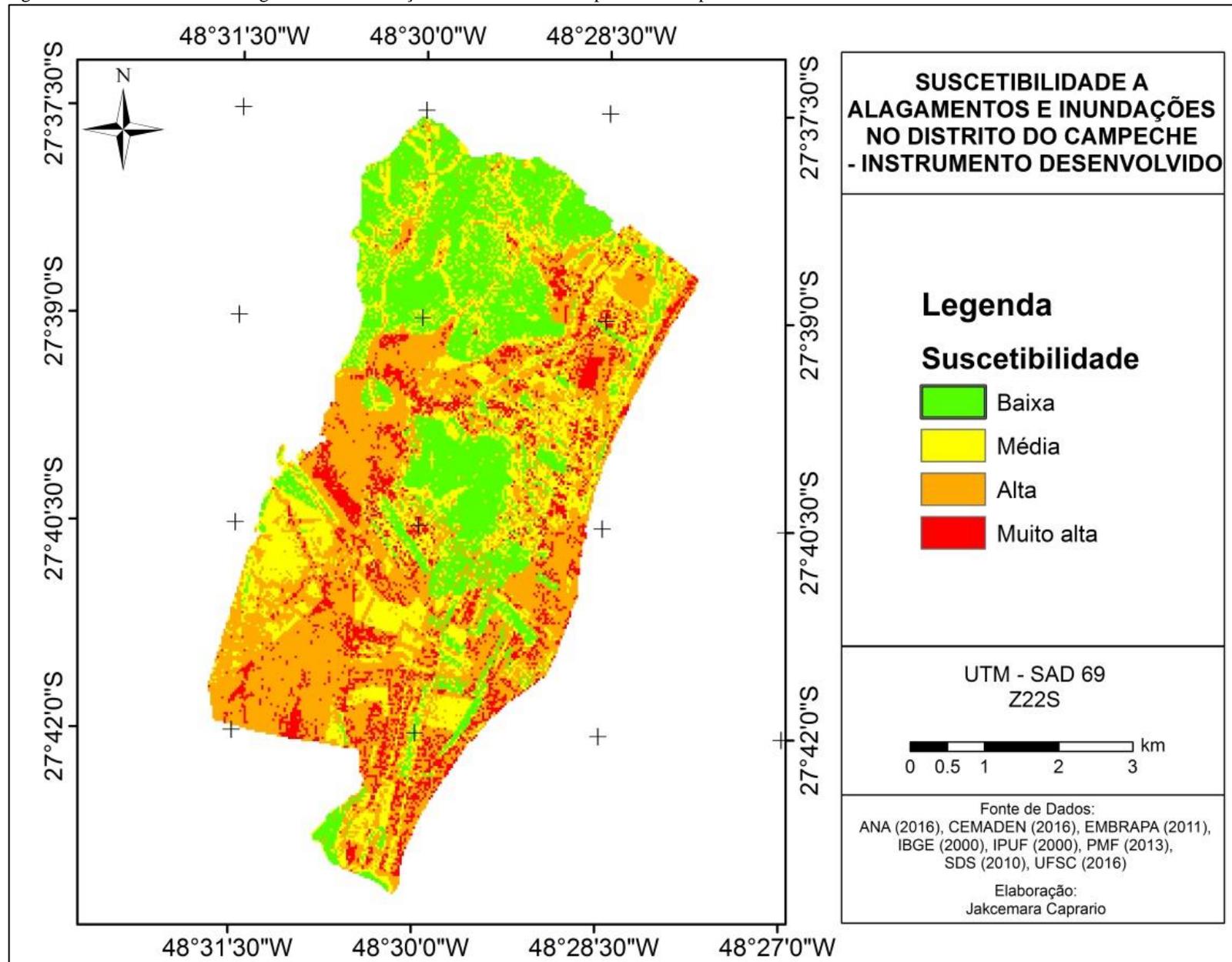
Fonte: desenvolvido pelo autor.

Analisando a Tabela 10 pode-se verificar que a faixa de suscetibilidade muito alta representa a menor proporção do Distrito, apresentando apenas 3,98 km<sup>2</sup>, ou seja, aproximadamente 11% da área total. No entanto, a faixa de suscetibilidade alta representa a maior proporção do Distrito, abrangendo 13,84 km<sup>2</sup> (39,63%). Estas duas classes são evidenciadas basicamente em toda a planície do Campeche, o que segundo Cunha et al. (2012), pode ser explicado devido à relação entre os baixos declives, a existência de um aquífero livre próximo da superfície e a rápida subida do nível freático por saturação do solo, em períodos de maior pluviosidade, proporcionando uma maior suscetibilidade à ocorrência de alagamentos e inundações nestas áreas.

As faixas de suscetibilidade classificadas como baixa e média representam juntas aproximadamente 49% da área do distrito, apresentando áreas com proporções semelhantes de 8,49 km<sup>2</sup> e 8,60 km<sup>2</sup>, respectivamente.

Devido à quantidade de fatores considerados influentes para o mapeamento da suscetibilidade à ocorrência de alagamentos e inundações pelo instrumento desenvolvido, não foi possível identificar relações diretas entre os fatores e as faixas de suscetibilidade. No entanto, percebe-se que em áreas onde ocorre a presença de rede de drenagem pluvial, associadas a estruturas compensatórias, a suscetibilidade à ocorrência de alagamentos e inundações reduz, sendo classificadas como áreas de baixa suscetibilidade.

Figura 27 – Suscetibilidade a alagamentos e inundações no Distrito do Campeche obtido por meio do IMAAI.



Fonte: desenvolvido pelo autor.



## 5.2.2 Aplicação do AHP-SIG à área de estudo

Após todos os fatores ambientais exigidos pelo instrumento terem sido produzidos, foi realizada a reclassificação destes, adotando para cada classe uma nota que varia de 0 a 10 conforme seu grau de suscetibilidade à inundação. As notas que representam o grau de suscetibilidade das classes dos fatores uso do solo, tipo de solo, declividade e altimetria, são apresentadas no Quadro 23, Quadro 24, Quadro 25 e Quadro 26, respectivamente.

Quadro 23 – Reclassificação dos dados espaciais de uso do solo.

Uso do solo	Nota
Floresta	1
Vegetação rasteira	2
Areia	4
Urbanização	8
Corpo d'água	10

Fonte: desenvolvido pelo autor.

Para as classes do fator uso do solo, a reclassificação foi dada respeitando a condição de quanto menor a interferência humana, menor será o grau de suscetibilidade à inundação, bem como, sua contribuição ao processo de escoamento superficial. Desta forma, áreas cobertas por floresta ou mesmo por vegetação rasteira foram consideradas com maior capacidade de infiltração, retardando possíveis picos de inundação, sendo a densidade da cobertura vegetal o fator de diferenciação das notas, visto que quanto mais densa a cobertura, maior será a interceptação da precipitação e conseqüentemente, menor será o escoamento superficial.

Para as áreas recobertas por areia, foi adotada uma nota média para representar o grau de suscetibilidade à inundação, visto que apesar destas áreas não possuírem cobertura vegetal, apresentam boa capacidade de infiltração, devido o teor de areia presente na composição do solo. Já as áreas urbanizadas receberam nota elevada, sendo que quanto maior for a impermeabilização de uma área, maior será o escoamento superficial, gerando um aumento na magnitude e frequência de eventos como alagamentos, enchentes e inundações.

Ressalta-se ainda que para áreas recobertas pela classe corpo d'água, foi adotado grau máximo de suscetibilidade, visto estas estarem naturalmente alagadas/inundadas.

Quadro 24 – Reclassificação dos dados espaciais de tipo de solo.

<b>Tipo de solo</b>	<b>Nota</b>
NEOSSOLO QUARTZARÊNICO (RQ)	2
ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO (PVA)	4

Fonte: desenvolvido pelo autor.

Para as classes do fator tipo de solo, a reclassificação foi dada respeitando as condições de absorção de água, profundidade e textura. Segundo EMBRAPA (2006) e Lepsch (2010) os solos do tipo NEOSSOLO QUARTZARÊNICO são solos pouco evoluídos, sem horizonte B diagnóstico definido, formados por materiais praticamente inertes, sem argilas. O horizonte A apresenta menos de 20 cm de espessura, seguido por camadas com 90% ou mais de fragmentos de rocha. Esta classe de solo ocorre em relevo plano ou levemente ondulado, apresentando baixa capacidade de armazenamento de água devido sua textura arenosa.

Já os solos do tipo ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO são solos desenvolvidos com presença de um horizonte B textural, onde pode-se observar acúmulo de argila. A diferença entre o horizonte A, mais arenoso, e o horizonte B, mais argiloso, favorece o escoamento superficial, pois diminui a permeabilidade do solo, criando um obstáculo à infiltração da água (GUERRA; BOTELHO, 2001 e EMBRAPA, 2006)

Desta forma, os solos do tipo ARGILOSSOLO VERMELHO-AMARELO foram considerados mais propensos a causar inundações que os solos do tipo NEOSSOLO QUARTZARÊNICO, visto sua composição apresentar maior quantidade de argila, dificultando a infiltração e favorecendo o rápido o escoamento superficial.

Quadro 25 – Reclassificação dos dados espaciais de declividade.

<b>Declividade (%)</b>	<b>Nota</b>
0 - 3	10
3 - 8	9
8 - 20	5
20 - 45	3
45 - 75	2
> 75	1

Fonte: desenvolvido pelo autor.

Para as classes do fator de declividade, a reclassificação foi dada respeitando a condição de quanto mais íngreme menor é o grau de suscetibilidade à inundação. Desta forma, quanto maior a declividade, maior será o escoamento superficial e menor será a infiltração,

contribuindo com o acúmulo do fluxo de água nas áreas mais planas, aumentando a suscetibilidade destas à ocorrência de alagamentos e inundações.

Quadro 26 – Reclassificação dos dados espaciais de altimetria.

Altitude (m)	Nota
0 - 40	10
40 - 80	9
80 - 120	8
120 - 160	7
160 - 200	6
200 - 240	5
240 - 280	4
280 - 320	3
320 - 360	2
360 - 400	1

Fonte: desenvolvido pelo autor.

Para as classes do fator altimetria, a reclassificação foi dada respeitando a condição de quanto maior a elevação do terreno menor o grau de suscetibilidade a inundação, e vice versa.

Reclassificadas as classes dos fatores prosseguiu-se para a determinação dos pesos estatísticos. Primeiramente foi construída uma matriz de comparação dos fatores, elencando o grau de importância do fator linha em relação ao fator coluna, utilizando para tal a escala fundamental proposta por Saaty (1977). A matriz construída pela comparação par a par dos fatores ambientais exigidos pelo Instrumento AHP-SIG é apresentada no Quadro 27.

Quadro 27 – Matriz de comparação dos fatores ambientais exigidos pelo instrumento.

Fatores	Tipo de solo	Uso do solo	Altimetria	Declividade
Tipo de solo	1	1/3	1/5	1/7
Uso do solo	3	1	1/2	1/3
Altimetria	5	2	1	1/3
Declividade	7	3	3	1
Soma	16,00	6,33	4,70	1,81

Fonte: desenvolvido pelo autor.

Tendo sido elaborada a matriz de comparação, foram calculados os pesos estatísticos para cada fator, dividindo cada fator linha pelo seu

respectivo valor soma da coluna. Por fim, foram determinados os pesos estatísticos por meio da média simples dos fatores linha (Quadro 28).

Quadro 28 – Determinação dos pesos estatísticos para cada fator ambiental.

Fatores	Tipo de solo	Uso do solo	Altimetria	Declividade	Peso
<b>Tipo de solo</b>	0,0625	0,0526	0,0426	0,0789	0,0592
<b>Uso do solo</b>	0,1875	0,1579	0,1064	0,1842	0,1590
<b>Altimetria</b>	0,3125	0,3158	0,2128	0,1842	0,2563
<b>Declividade</b>	0,4375	0,4737	0,6383	0,5260	0,5255

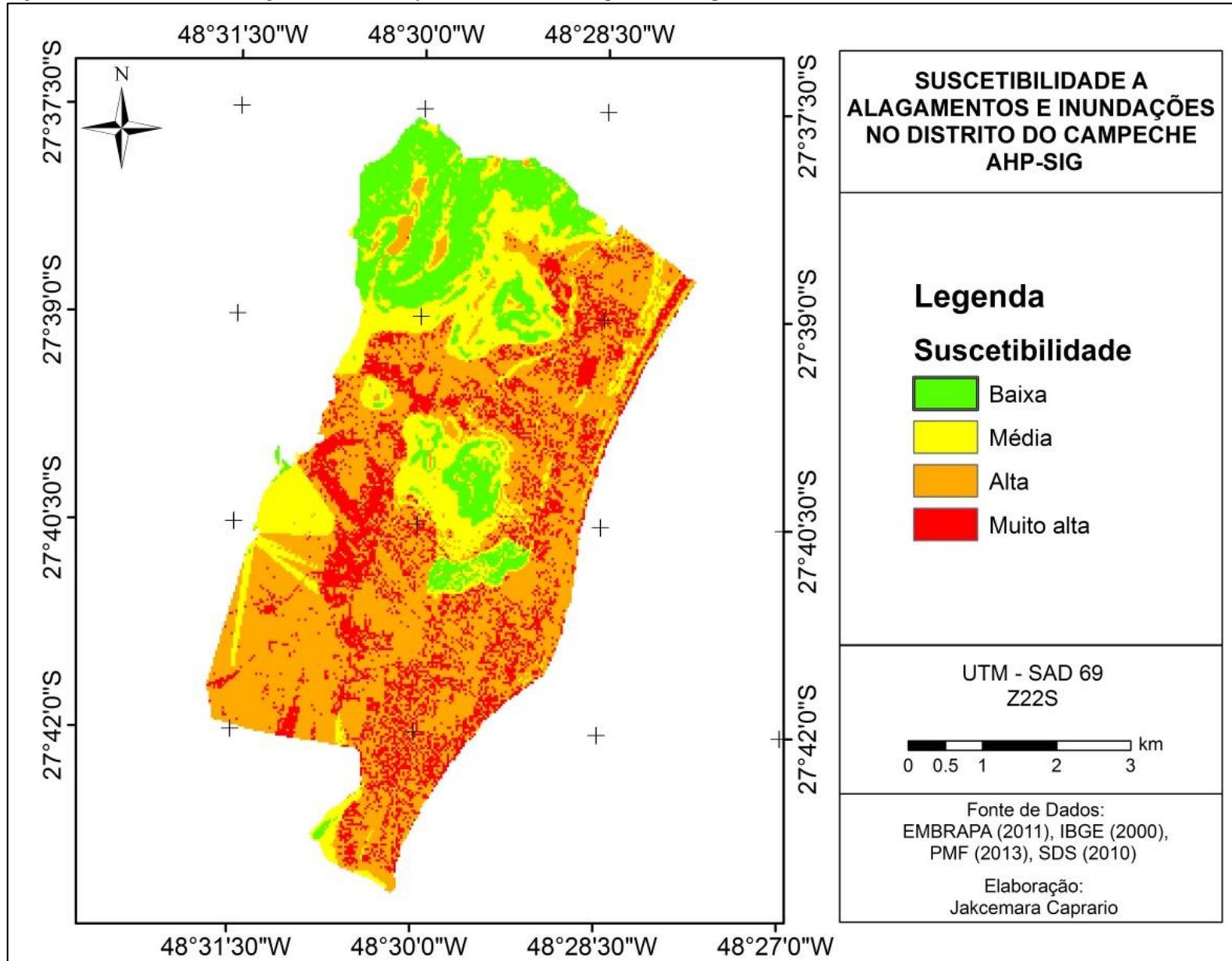
Fonte: desenvolvido pelo autor.

Pelo Quadro 28 é possível verificar que o fator de maior contribuição para a ocorrência de inundações foi a declividade, representando 52,55% do peso total, seguido pela altimetria com 25,63% e uso do solo com 15,90%. A menor influência constatada foi do fator tipo de solo, o qual contribui com apenas 5,92% do peso total. A veracidade de representação dos pesos para o processo de mapeamento de alagamentos e inundações foi estimado por meio do cálculo da razão de consistência (RC), sendo obtido como resultado um valor de 0,0271 (valor <1), indicando que os pesos calculados são aceitáveis e o modelo construído (5) é consistente.

$$\begin{aligned}
 \text{Suscetibilidade à inundação} &= 0,0592 \text{ (Tipo de solo)} \\
 &+ 0,1590 \text{ (Uso do solo)} + 0,2563 \text{ (Altimetria)} \\
 &+ 0,5255 \text{ (Declividade)} \qquad \qquad \qquad (5)
 \end{aligned}$$

Como resultados da aplicação do modelo construído obteve-se a distribuição espacial das áreas suscetíveis a alagamentos e inundações no Distrito do Campeche – Florianópolis (SC). Na Figura 28 são apresentadas as áreas com os variados graus de suscetibilidade a alagamentos e inundações geradas pela aplicação da metodologia AHP-SIG.

Figura 28 – Suscetibilidade a alagamentos e inundações no Distrito do Campeche obtido por meio do método AHP-SIG.



Fonte: desenvolvido pelo autor.



A Tabela 11 apresenta a distribuição das faixas de suscetibilidade à ocorrência de alagamentos e inundações no Distrito do Campeche, bem como, suas respectivas áreas (km<sup>2</sup>) e porcentagens de ocupação.

Tabela 11 – Faixas de suscetibilidade a alagamentos e inundações obtidos pelo método AHP-SIG.

Suscetibilidade	Área (km <sup>2</sup> )	%
Baixa	4,89	14,00
Média	6,78	19,42
Alta	16,60	47,54
Muito alta	6,65	19,04
Total	34,91	100,00

Fonte: desenvolvido pelo autor.

Analisando a Tabela 11, pode-se verificar que a faixa de baixa suscetibilidade à ocorrência de alagamentos e inundações representa a menor proporção do Distrito, apresentando apenas 4,89 km<sup>2</sup>, ou seja, 14% da área total, sendo evidenciada nos topos dos morros, onde a declividade e a altimetria são elevadas.

As faixas de suscetibilidade classificadas como média e muito alta apresentam proporções intermediárias, sendo representantes de 6,78 km<sup>2</sup> (19,42%) e 6,65 km<sup>2</sup> (19,04%), respectivamente. Assim como na faixa de suscetibilidade baixa, a faixa média também é encontrada quase predominantemente nos morros, tendo algumas poucas áreas representadas na região da Planície do Campeche, geralmente onde a declividade varia entre 8 e 20% (terreno ondulado). Já as áreas com suscetibilidade muito alta à ocorrência de alagamentos e inundações são encontradas na Planície do Campeche, onde a faixa de declividade predominante é a plana (0-3%), estando associadas a estas áreas a baixa altitude e a concentração de uso do solo dos tipos urbanização, corpo d'água e areia (solo exposto).

As áreas com faixa de suscetibilidade classificada como alta representam aproximadamente 48% do Distrito, ocupando basicamente toda a planície do Campeche. Assim como na faixa muito alta, esta também está associada com a declividade plana (0-3%) e a baixa altimetria, diferenciando apenas em relação ao uso do solo, que nestas áreas tem predomínio das classes floresta e vegetação rasteira.

O fator tipo de solo não apresentou grande influência no mapeamento de áreas suscetíveis à alagamentos e inundações. No entanto, apresentou uma concentração de áreas com suscetibilidade

classificada como muito alta, principalmente nas regiões onde o solo é do tipo ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO, associado a áreas com declividade plana (0-3%) e baixa altimetria.

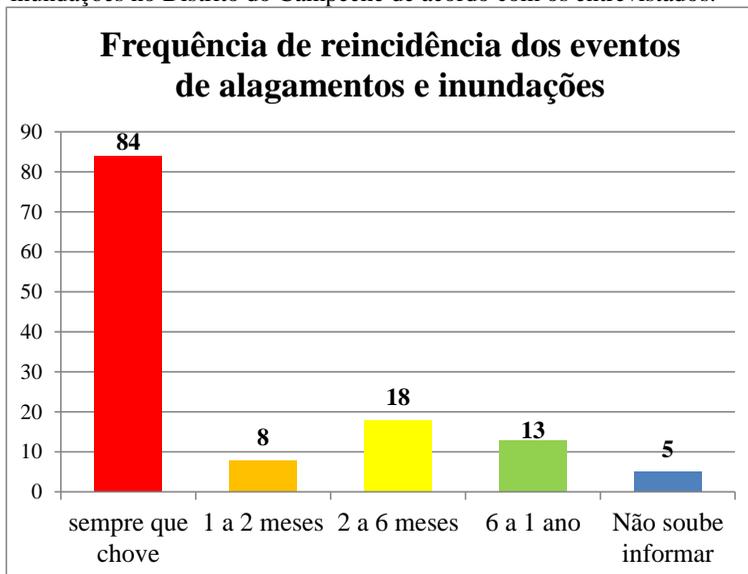
### **5.2.3 Mapa de inundações e alagamentos ocorridos no distrito do Campeche**

Para construir o inventário dos pontos de alagamentos e inundações frequentemente ocorridos no Distrito do Campeche, foram aplicados questionários à população local.

No total, foram aplicados 157 questionários (Anexo A), dos quais 136 entrevistados afirmaram serem moradores do Distrito do Campeche, 15 trabalhadores e 06 comerciantes. Dentre os entrevistados, 29 pessoas responderam que não conhecem ou nunca viram nenhum lugar alagado ou inundado no Distrito, sendo estes questionários retirados da pesquisa. Desta forma, para a consolidação do inventário dos pontos de alagamentos e inundações no Distrito do Campeche foram considerados do montante, 128 questionários.

Em relação à frequência com que ocorrem eventos de alagamentos e inundações nas áreas indicadas nos questionários, 84 entrevistados afirmam que sempre que chove alaga, variando a magnitude da ocorrência apenas em função da intensidade da precipitação ocorrida. Os outros 44 entrevistados, conforme apresentado na Figura 29, afirmam que a ocorrência de alagamentos e inundações tem reincidência bimestral, semestral ou anual, sendo que destes 05 entrevistados não souberam informar a frequência com que ocorrem os eventos.

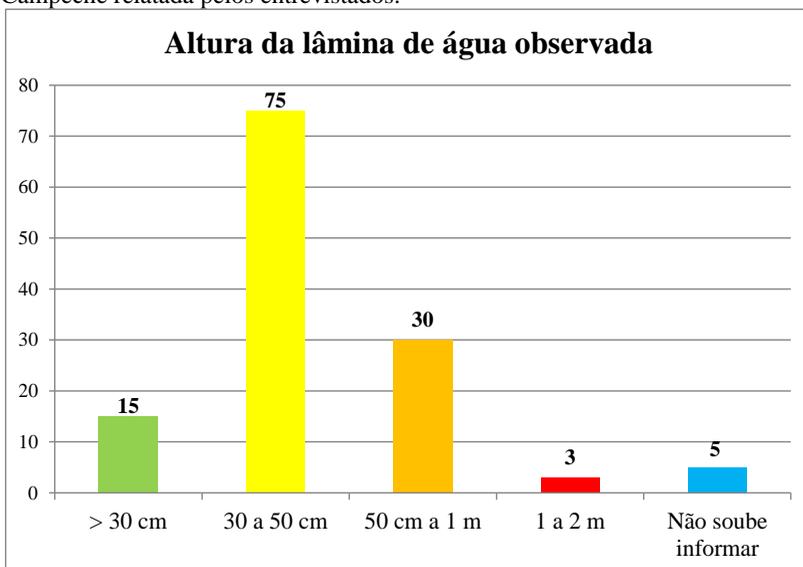
Figura 29 – Frequência de reincidência dos eventos de alagamentos e inundações no Distrito do Campeche de acordo com os entrevistados.



Fonte: desenvolvido pelo autor.

Em relação à lâmina de água observada, 75 entrevistados relataram níveis variando entre 30 e 50 cm de altura, o que em uma pessoa adulta de estatura mediana atingiria a região entre o tornozelo e o joelho. Outros 33 entrevistados, conforme apresentado na Figura 30, relataram níveis da lâmina de água variando entre 50 cm e 2 metros. Já 15 entrevistados relataram níveis abaixo de 30 cm e outros 05 não souberam informar o nível de água atingido.

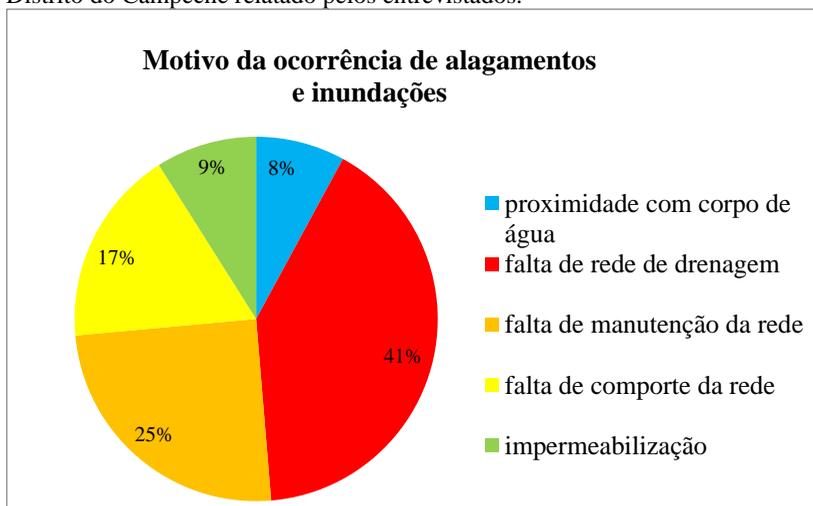
Figura 30 – Altura da lâmina de água nos eventos ocorridos no Distrito do Campeche relatada pelos entrevistados.



Fonte: desenvolvido pelo autor

Entre os principais motivos de ocorrência dos alagamentos e inundações no Distrito do Campeche, a falta de rede de drenagem foi indicada por 41% dos entrevistados, sendo seguida pela falta de manutenção da rede existente, representando 25% dos questionários, e pela falta de comportamento da rede implantada, mencionada por 17% dos entrevistados. A impermeabilização e a proximidade com corpos d'água foram indicadas por 17% dos entrevistados, representando individualmente 9% e 8% das entrevistas, respectivamente. Na Figura 31 é apresentada a distribuição dos principais motivos de ocorrência de alagamentos e inundações no Distrito do Campeche relatada pelos entrevistados.

Figura 31 – Principal motivo da ocorrência de alagamentos e inundações no Distrito do Campeche relatado pelos entrevistados.



Fonte: desenvolvido pelo autor

Durante a aplicação dos questionários foram identificadas e fotografadas algumas irregularidades que sustentam as informações repassadas pelos entrevistados, estando estas apresentadas na Figura 32. Entre as irregularidades foram identificadas a falta de manutenção das estruturas existentes, o lançamento inadequado de resíduos orgânicos de varrição e de resíduos sólidos urbanos, o lançamento irregular de águas residuais, além da falta de planejamento integrado do sistema de drenagem pluvial e da pavimentação urbana, reduzindo a capacidade de entrada do escoamento pluvial nas poucas redes de drenagem existentes.

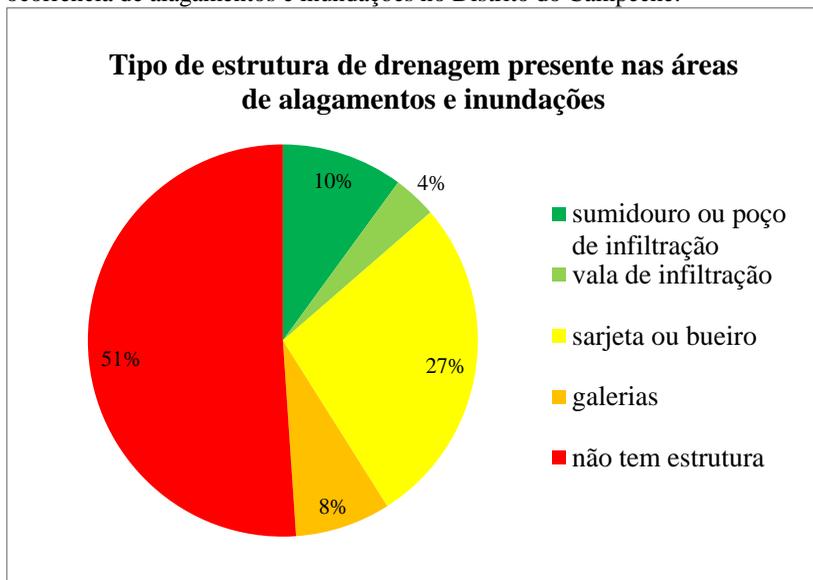
Figura 32 – Irregularidades identificadas no sistema de drenagem pluvial do Distrito do Campeche.

	
<p>Falta de manutenção das estruturas de drenagem pluvial.</p>	
	
<p>Lançamento inadequado de resíduos orgânicos de varrição.</p>	<p>Lançamento inadequado de resíduos sólidos urbanos.</p>
	
<p>Lançamento irregular de águas residuais.</p>	
	
<p>Falta de planejamento integrado do sistema de drenagem pluvial e da pavimentação urbana.</p>	

Fonte: desenvolvido pelo autor

Em relação aos tipos de estruturas de drenagem existentes nas áreas de ocorrência de alagamentos e inundações no Distrito do Campeche, 51% dos entrevistados afirmam a inexistência de um sistema de drenagem pluvial, 27 % mencionam a existência de sarjetas ou bueiros e 10% indicam a presença de sumidouros ou poços de infiltração. Dentre os 12% dos entrevistados restantes, 8% mencionam a presença de galerias de drenagem e 4% indicam a presença de valas de infiltração, sendo estas últimas confundidas pela população local com as áreas de extravasamento natural dos córregos e lagoas. Na Figura 33 é apresentada a distribuição dos principais tipos de estruturas de drenagem urbana presentes no Distrito do Campeche, conforme relatado pela população entrevistada.

Figura 33 – Tipos de estruturas de drenagem urbana presentes nas áreas de ocorrência de alagamentos e inundações no Distrito do Campeche.



Fonte: desenvolvido pelo autor

Concomitantemente à aplicação dos questionários foi feito um levantamento de informações sobre alagamentos e inundações no Distrito do Campeche divulgado em mídia local (Quadro 29). No total, foram encontradas 13 notícias e 01 estudo de caso desenvolvido na porção sul do Distrito, abrangendo o período de 2005 a 2016.

Quadro 29 – Eventos de alagamentos e inundações ocorridos no Distrito do Campeche e divulgados em mídia local.

<b>Notícia</b>	<b>Data</b>	<b>Local</b>	<b>Site</b>
<b>1</b>	17/11/2005	Rua José Elias Lopes	<a href="http://www.jornaldocampeche.com.br/2005/11/alagamento-provoca-caos-em-rua-do-bairro/">http://www.jornaldocampeche.com.br/2005/11/alagamento-provoca-caos-em-rua-do-bairro/</a>
<b>2</b>	23/07/2011	Rua Sabino Anísio da Silveira	<a href="http://velho.cmf.sc.gov.br/destaques-da-camara/322-vereadores-protestam-contr-a-alagamento-de-rua-no-campeche">http://velho.cmf.sc.gov.br/destaques-da-camara/322-vereadores-protestam-contr-a-alagamento-de-rua-no-campeche</a>
<b>3</b>	31/08/2011	Rua Valdomiro José Vieira	<a href="http://floripamanha.org/2011/08/florianopolis-conta-ruas-alagadas-pela-chuva/">http://floripamanha.org/2011/08/florianopolis-conta-ruas-alagadas-pela-chuva/</a>
<b>4</b>	Março e Junho de 2012 e 2013	Travessa Caraguatá, 60 - 129	<a href="http://www.cartografia.org.br/cbc/trabalhos/1/175/CT01-11_1404150908.pdf">http://www.cartografia.org.br/cbc/trabalhos/1/175/CT01-11_1404150908.pdf</a>
		Rua Capim Capoa, 65	
		Rua Flor de Pérola, 18	
		Rua Francisco Vieira, 642	
		Travessa Magnólia Branca, 92	
Rua Tereza Lopes, 68			
<b>5</b>	11/03/2013	Rua Maria Cordeiro Fernandes	<a href="http://www.deolhonilha.com.br/florianopolis/noticias/prefeitura-lanca-forca-tarefa-para-resolver-problemas-causados-pelas-chuvas.html">http://www.deolhonilha.com.br/florianopolis/noticias/prefeitura-lanca-forca-tarefa-para-resolver-problemas-causados-pelas-chuvas.html</a>
		Rua Valdomiro José Vieira	
		Rua Bosque dos Araçás	
		Rua João Cândido da Rocha	
SC-406			
<b>6</b>	08/04/2013	Servidão Dona Vitorina Lopes	<a href="http://ricmais.com.br/sc/eu-sou-o-reporter/noticias/moradores-aguardam-calcamento-em-rua-do-campeche-em-florianopolis/">http://ricmais.com.br/sc/eu-sou-o-reporter/noticias/moradores-aguardam-calcamento-em-rua-do-campeche-em-florianopolis/</a>

<b>7</b>	10/04/2013	Travessa Coruja Dourada	<a href="http://ricmais.com.br/sc/eu-sou-o-reporter/videos/rua-no-campeche-na-capital-alaga-quando-chove/">http://ricmais.com.br/sc/eu-sou-o-reporter/videos/rua-no-campeche-na-capital-alaga-quando-chove/</a>
<b>8</b>	01/06/2013	Travessa Magnólia Branca	<a href="http://ndonline.com.br/florianopolis/noticias/estimulados-por-alunos-da-udesc-moradores-se-reorganizam-em-areias-do-campeche-em-florianopolis">http://ndonline.com.br/florianopolis/noticias/estimulados-por-alunos-da-udesc-moradores-se-reorganizam-em-areias-do-campeche-em-florianopolis</a>
		Rua Capim Capoa	
		Rua Caraguatá	
		Rua Flor de Peroba	
		Rua Francisco Vieira	
<b>9</b>	31/10/2014	Travessa Ibiza	<a href="http://www.tudosobrefloripa.com.br/index.php/desc_noticias/moradores_do_bairro_areias_do_campeche_reclamam_de_alagamentos">http://www.tudosobrefloripa.com.br/index.php/desc_noticias/moradores do bairro areias do campeche reclamam de alagamentos</a>
<b>10</b>	19/02/2015	Rua Valdemiro José Vieira	<a href="http://ricmais.com.br/sc/eu-sou-o-reporter/videos/rua-no-bairro-campeche-em-florianopolis-alaga-ha-decadas-com-temporais/">http://ricmais.com.br/sc/eu-sou-o-reporter/videos/rua-no-bairro-campeche-em-florianopolis-alaga-ha-decadas-com-temporais/</a>
<b>11</b>	23/04/2015	Rua Laura Duarte Prazeres, 600	<a href="http://www.tudosobrefloripa.com.br/index.php/desc_noticias/moradores_de_rua_do_campeche_reclamam_de_barro_e_alagamentos">http://www.tudosobrefloripa.com.br/index.php/desc_noticias/moradores de rua do campeche reclamam de barro e alagamentos</a>
<b>12</b>	15/07/2015	Rua Valdemiro José Vieira	<a href="http://ducampeche.com.br/megafone/alagamento-rua-valdemiro-jose-vieira-ilhada">http://ducampeche.com.br/megafone/alagamento-rua-valdemiro-jose-vieira-ilhada</a>
		Rua Laureano	
<b>13</b>	24/07/2015	Rua Ângelo Pecini	<a href="http://robertolorenzon.com.br/noticia/sc-morador-de-florianapolis-mostra-casa-totalmente-alagada/46402#sthash.wkw011Ha.dpuf">http://robertolorenzon.com.br/noticia/sc-morador-de-florianapolis-mostra-casa-totalmente-alagada/46402#sthash.wkw011Ha.dpuf</a>
<b>14</b>	24/07/2015	Rua Jardim dos Eucaliptos	<a href="http://ndonline.com.br/florianopolis/noticias/fortes-chuvas-provocam-estragos-na-grande-florianopolis">http://ndonline.com.br/florianopolis/noticias/fortes-chuvas-provocam-estragos-na-grande-florianopolis</a>
		SC- 405	

<b>15</b>	17/08/2015	Ruas que desembocam no Morro do Lampião	<a href="http://www.jornaldocampeche.com.br/2015/08/enxurrada-volta-a-causar-estragos-no-campeche-e-regiao/">http://www.jornaldocampeche.com.br/2015/08/enxurrada-volta-a-causar-estragos-no-campeche-e-regiao/</a>
		Rua Jardim dos Eucaliptos	
		Travessa Harmonia	
		Rua José Cândido da Rocha	
		Travessa Magnólia Branca	
		Rua Lua Clara	
		Rua das Corticeiras	
		Recanto das Dunas	
		Travessa dos Surfistas	
<b>16</b>	17/02/2016	Servidão Maria Cordeiro Fernandes/ Rua da Capela	<a href="http://ilhacap.com.br/site/moradores-do-campeche-reclamam-de-descaso-da-prefeitura/">http://ilhacap.com.br/site/moradores-do-campeche-reclamam-de-descaso-da-prefeitura/</a>
<b>17</b>	03/03/2016	Rua Jardim dos Eucaliptos/ Rua Gabriel Eduardo	<a href="http://g1.globo.com/sc/santa-catarina/noticia/2016/03/chuva-causa-estragos-e-alagamentos-em-regioes-de-santa-catarina.html">http://g1.globo.com/sc/santa-catarina/noticia/2016/03/chuva-causa-estragos-e-alagamentos-em-regioes-de-santa-catarina.html</a>
<b>18</b>	11/03/2016	Rua Jardim dos Eucaliptos	<a href="http://horadesantacatarina.clicrbs.com.br/sc/noticia/2016/03/mario-motta-moradores-pedem-ajuda-para-resolver-alagamento-na-rua-do-campeche-4997650.html">http://horadesantacatarina.clicrbs.com.br/sc/noticia/2016/03/mario-motta-moradores-pedem-ajuda-para-resolver-alagamento-na-rua-do-campeche-4997650.html</a>

Fonte: desenvolvido pelo autor

Como dados para o levantamento das informações nas secretarias municipais e órgão responsáveis, foi utilizado o diagnóstico parcial produzido pela Comissão Especial DreMAP. No total foram extraídos do diagnóstico parcial 24 pontos/áreas de alagamentos e inundações de interesse para a região em estudo, sendo estes listados no Quadro 30.

Quadro 30 – Pontos de alagamentos e inundações no Distrito do Campeche extraídos do diagnóstico parcial elaborado pela Comissão Especial DreMAP.

<b>Nº do registro</b>	<b>Endereço do local</b>
1	SC-405 entre Serv. Elza May Farias e Posto de Combustível Galo
2	SC-406 entre Servidão Vassourinha e Servidão Batuel Cunha
3	Servidão Porto Velho (final de via)
4	Servidão Quimboas/ Rua Nossa Senhora de Fátima
5	Rua Nossa senhora de Fátima/Rua Francisco Vieira
6	Servidão Pedro Castanho/ João Basílio da Cunha
7	Servidão Nova Esperança/ Rua Valdomiro José Vieira
8	Rua Valdomiro José Vieira / Rua Laureano
9	SC-405/ Rua Laura Duarte Prazeres
10	SC-405 Rua dos Veleiros
11	Rua Recanto do Beija-Flor (final de via)
12	Rua Coral (final de via)
13	Rua Revoar das Perdizes (final de via)
14	Rua Canto das Pérolas (final de via)
15	Rua Jardim dos Eucaliptos entre as Ruas da Coruja e Rua dos Pinheiros
16	Travessa Jataíba / Flor de Pérola
17	Avenida Pequeno Príncipe (final de via)
18	Servidão Mar Azul (final de via)
19	Servidão Dionísio Rafael Ignácio (final de via)
20	Rua Francisco Vieira/ Rua Sagrado Coração de Jesus
21	Rua Ambrósio João da Silveira
22	Servidão Maria Cordeiro/Rua Cândido José da Rocha
23	Servidão Cecília Jacinta de Jesus/ Servidão Mar do Leste
24	SC-406 entre Servidão Francisca Maria Vidal e Servidão Padre Alvino Bertholdo Braun

Fonte: desenvolvido pelo autor

Sintetizando as informações obtidas pela aplicação dos questionários, levantamento das notícias divulgadas em mídia local e

dos dados extraídos do diagnóstico parcial da Comissão Especial DreMAP, foram levantados 110 pontos/áreas distintas de ocorrência frequente de alagamentos e inundações no Distrito do Campeche, listados no Quadro 31 ,sendo estes adotados para a construção do mapa de inventário.

Quadro 31 – Sintetização dos pontos/áreas de ocorrência frequente de alagamentos e inundações no Distrito do Campeche.

Nº do registro	Endereço do local
1	Av. Campeche, 628
2	Av. Campeche/ Servidão Hipólito Bernardino das Chagas
3	Av. Campeche/ Travessa Lagoa Azul
4	Av. Campeche/ Rua Delorme Pinheiro Daniel
5	Av. Campeche/ Servidão Gonçalves
6	Av. Pequeno Príncipe, 799
7	Av. Pequeno Príncipe, 891
8	Av. Pequeno Príncipe (final de via)
9	Rua Ambrósio João da Silveira
10	Rua Auroreal/ Rua das Corticeiras
11	Rua Auroreal/ Rua Eugênio Raulino Silva
12	Rua Cândido José da Rocha (Toda a via)
13	Rua Canto das Pérolas (final de via)
14	Rua Capim Capoa, 109
15	Rua Capim Capoa, 65
16	Rua Coral (final de via)
17	Rua Coruja Dourada/ Rua Francisco Vieira
18	Rua da Capela/ Servidão Maria Cordeiro Fernandes
19	Rua das Corticeiras, 1110
20	Rua das Corticeiras, 966
21	Rua das Corticeiras/Rua Lomba do Sabão
22	Rua das Graças, 1999
23	Rua das Graças/ Rua Eugênio Raulino Silva
24	Rua das Graças/ Rua Gramal
25	Rua do Gramal, 192
26	Rua do Gramal/ Rua Coral
27	Rua do Gramal/Rua Bosque das Aroeiras
28	Rua do Trapiche, 20
29	Rua dos Pinheiros/Rua Marino Ademar Schweitzer
30	Rua Eugênio Raulino Silva, 500

31	Rua Flor de Pérola, 18
32	Rua Francisco Vieira/ Rua Sagrado Coração de Jesus
33	Rua Francisco Vieira, 642
34	Rua Gabriel Eduardo até nº 62
35	Rua Isaltina de Assunção Farias (meio da via)
36	Rua Jardim dos Eucaliptos entre as Ruas da Coruja e dos Pinheiros
37	Rua Jardim dos Eucaliptos, 1085
38	Rua Jardim dos Eucaliptos, 1963
39	Rua Jardim dos Eucaliptos, 2121
40	Rua Jardins dos Eucaliptos, 2063
41	Rua José Elias Lopes, 285
42	Rua José Elias Lopes, 913
43	Rua Laura Duarte Prazeres, 600
44	Rua Laura Duarte Prazeres/ SC-405
45	Rua Nossa Senhora de Fátima, 351
46	Rua Nossa Senhora de Fátima, 427
47	Rua Nossa Senhora de Fátima, 931
48	Rua Nossa Senhora de Fátima, 784
49	Rua Nossa senhora de Fátima/Rua Francisco Vieira
50	Rua Paulo Simões Martins (meio da via)
51	Rua Pequi/ Rua Capim Capoa
52	Rua Pequi/Rua Iburana
53	Rua Professor Emanuel Paulo Peluso, 65
54	Rua Recanto das Dunas/ Rua das Corticeiras
55	Rua Recanto do Beija-Flor (final de via)
56	Rua Revoar das Perdizes (final de via)
57	Rua Sabino Anísio da Silveira/ Rua Valdemiro José Vieira
58	Rua sol e Lua, 44
59	Rua Sol e Lua/ Travessa Liberdade
60	Rua Tereza Lopes, 68
61	Rua Valdomiro José Vieira (final de via)
62	Rua Valdomiro José Vieira / Rua Laureano
63	Rua Valdomiro José Vieira/ Rua Huberto Rohden
64	Rua Valdomiro José Vieira/ Servidão Arnaldo Alegre
65	SC - 405 / Servidão Cachoeira
66	SC - 405/ Rua Laureano

67	SC-405 entre Servidão Elza May Farias e Posto de Combustível Galo
68	SC-405, 2563
69	SC-405/ Rua dos Veleiros
70	SC-406 entre Servidão Francisca Maria Vidal e Servidão Padre Alvino Bertholdo Braun
71	SC-406 entre Servidão Vassourinha e Servidão Batuel Cunha
72	Servidão Ângelo Pecini/Servidão Gente da Terra
73	Servidão Araçás da Praia/ Servidão Coruja Dourada
74	Servidão Araçás da Praia/ Servidão Dona Vitorina Lopes
75	Servidão Bosque dos Girassóis, 17
76	Servidão Bosque dos Girassóis/ Rua Pau de Canela
77	Servidão Bosque dos Girassóis/ Servidão do Cravo Branco
78	Servidão Caminho dos Surfistas, 108
79	Servidão Caminho dos Surfistas/ Rua das Corticeiras
80	Servidão Cecília Jacinta de Jesus (meio da via)
81	Servidão da Vida, 154
82	Servidão Dionísio Raphael Ignácio (final de via)
83	Servidão Dionísio Raphael Ignácio, 282
84	Servidão Dona Vitorina Lopes (final da via)
85	Servidão Dunas da Joaquina (meio da via)
86	Servidão Família Nunes/ Avenida Campeche
87	Servidão Gabriel Eduardo/ Travessa Água Viva
88	Servidão João Batista Pires/ Rua José João Vieira
89	Servidão José Francisco Bardança Filho/ Travessa da Liberdade
90	Servidão Mar Azul (final de via)
91	Servidão Mar do Leste (meio da via)
92	Servidão Maria Cordeiro Fernandes/Rua Cândido José da Rocha
93	Servidão Nova Esperança (final de via)
94	Servidão Piloto, 185
95	Servidão Piloto/ Pequeno Príncipe
96	Servidão Porto Velho (final de via)
97	Servidão Quimboas/ Rua Nossa Senhora de Fátima
98	Servidão Revoar das Gaivotas, 650
99	Servidão Sotero José de Farias (meio da via)
100	Servidão Vila Harmonia, 328

101	Servidão Vila Harmonia/ Servidão Lua Clara
102	Travessa Caraguatá, 129
103	Travessa Caraguatá, 60
104	Travessa da Liberdade/ Bosque das Aroeiras
105	Travessa da Liberdade, 434
106	Travessa da Liberdade, 97
107	Travessa da Liberdade/ Rua do Gramal
108	Travessa da Liberdade/ Vento Sul
109	Travessa Magnólia Branca (toda a via)
110	Travessa Magnólia Branca, 92

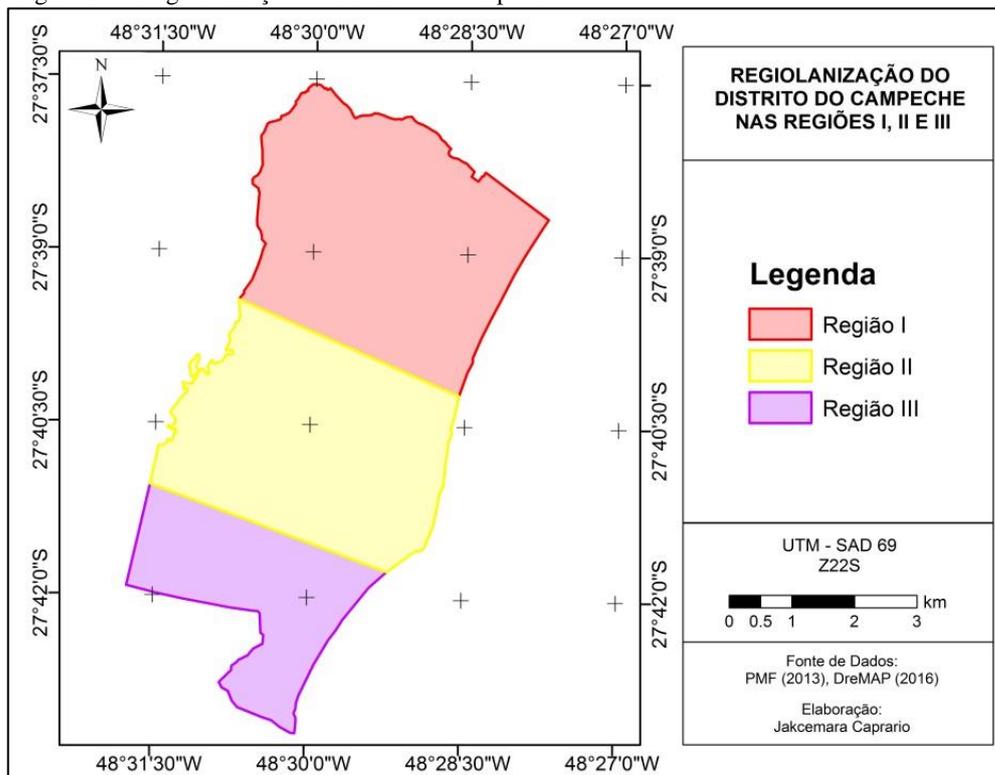
Fonte: desenvolvido pelo autor

Tendo sintetizado os pontos de alagamentos e inundações ocorridas no Distrito do Campeche, foi realizado a plotagem destes no SIG, utilizando como referência de localização o *shape* das vias urbanas do Distrito. Após a plotagem dos pontos foi realizado um *buffer* para adicionar limites representativos das áreas alagadas. Para localizações pontuais foi adotado um *buffer* de 10m, considerando que a maior parte destes pontos são localizados na confluência de duas ou mais vias. Já para as localizações que abrangem toda a via foi adotado um *buffer* de 5m, a fim de que toda a área da via seja delimitada.

Como resultado da plotagem e *buffer* dos pontos inventariados obteve-se a distribuição espacial das áreas frequentemente alagadas e inundadas no Distrito do Campeche – Florianópolis (SC). Na Figura 35 são apresentadas as localizações das áreas inventariadas que sofrem frequentemente com eventos de alagamentos e inundações no Distrito do Campeche.

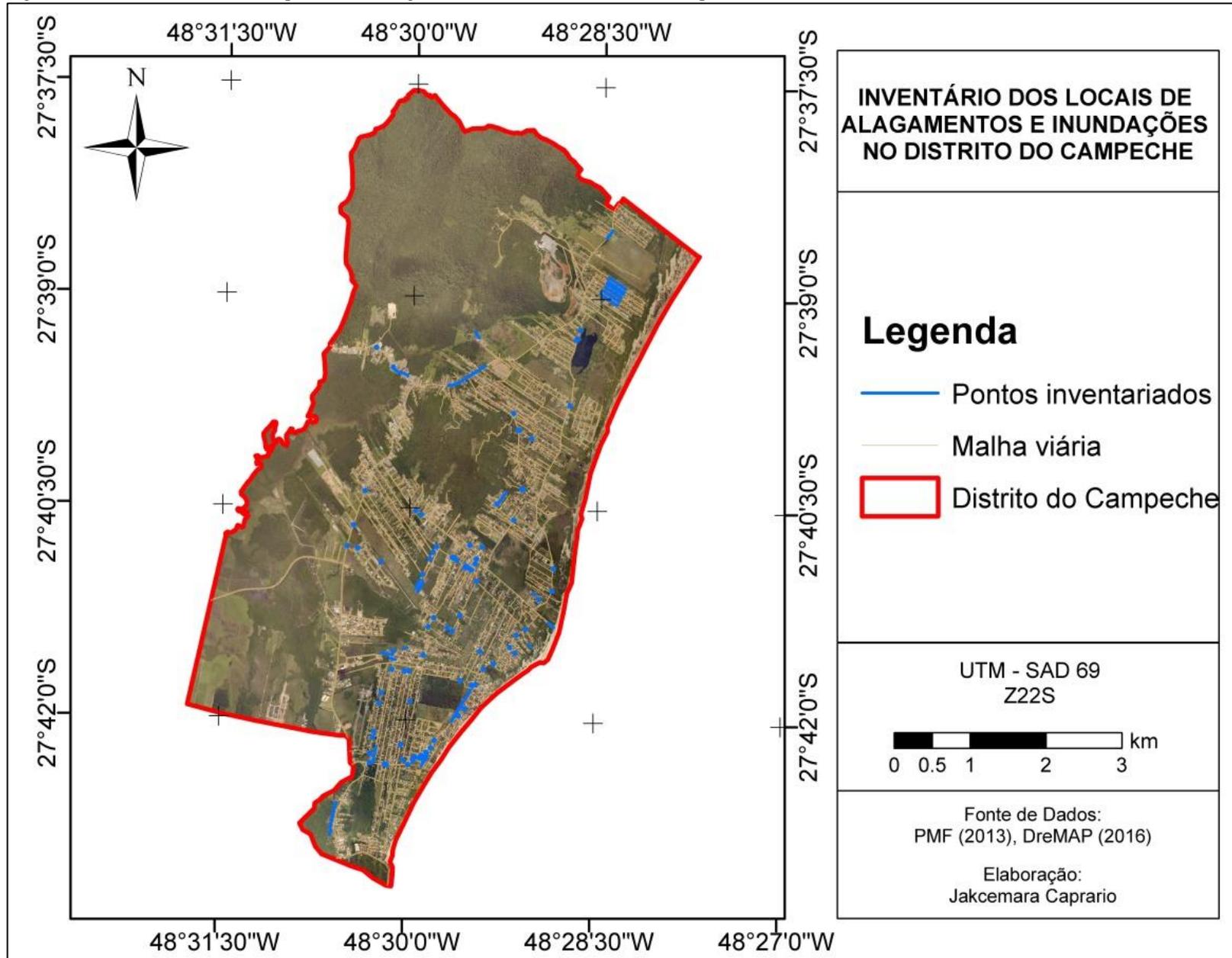
Para melhor visualização dos resultados, foi dividido o Distrito do Campeche em 3 regiões: Região I, representando a porção norte; Região II, representando a porção central; e Região III, representando a porção sul do Distrito, conforme apresentado na Figura 34.

Figura 34 – Regionalização do Distrito do Campeche.



Fonte: desenvolvido pelo autor

Figura 35 – Inventário das áreas frequentemente alagadas e inundadas no Distrito do Campeche.



Fonte: desenvolvido pelo autor



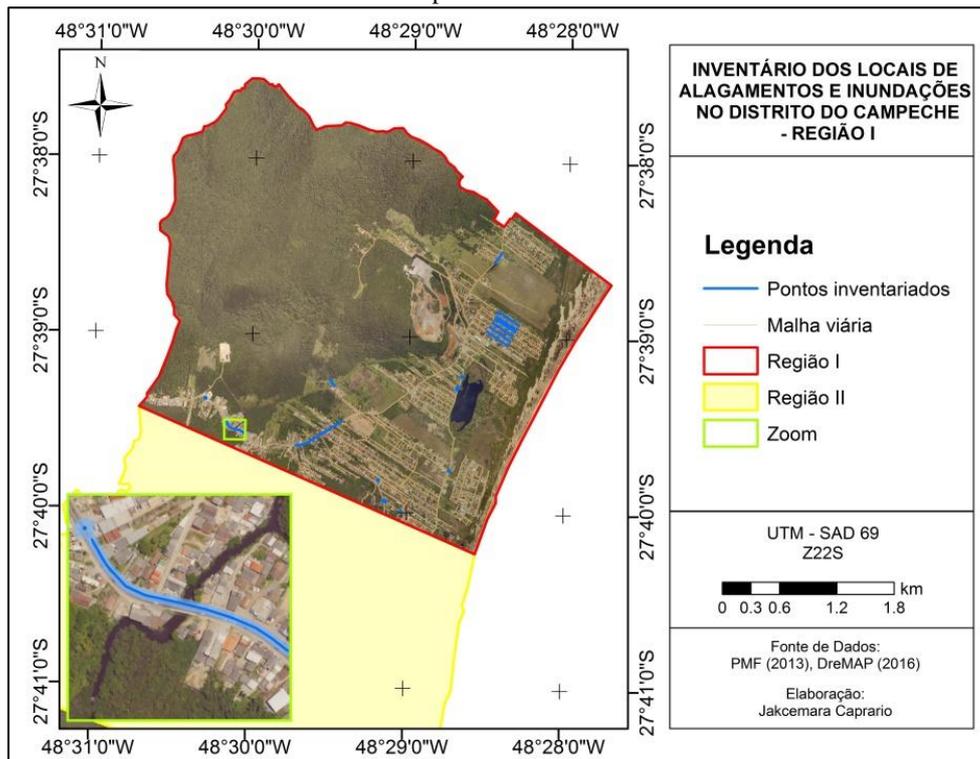
## Região I

Na porção norte do Distrito do Campeche foram inventariados 20 pontos/áreas com ocorrência frequente de alagamentos e inundações. Dentre estes, destaca-se o acesso pela SC-405, entre a Servidão Elza May Farias e Posto de Combustível Galo (Figura 36). Os constantes eventos ocorridos nesta área estão diretamente relacionados com a falta de um sistema de drenagem pluvial adequado, aliado à impermeabilização do solo e à presença de um braço do Rio Tavares. Esta região ainda é fortemente influenciada pelas características ambientais da área, principalmente em relação à presença de bacias hidrográficas, vegetação do tipo mangue e influência direta da elevação da maré. Os pontos inventariados na Região I, bem como a área da SC-405 destacada acima são apresentados na Figura 37.

Figura 36 – Inundações ocorridas no acesso da SC-405, entre a Servidão Elza May Farias e Posto de combustível Galo.



Figura 37 – Pontos de alagamentos e inundações frequentes ocorridos na Região I do Distrito do Campeche, com zoom no acesso pela SC-405.



Fonte: desenvolvido pelo autor.

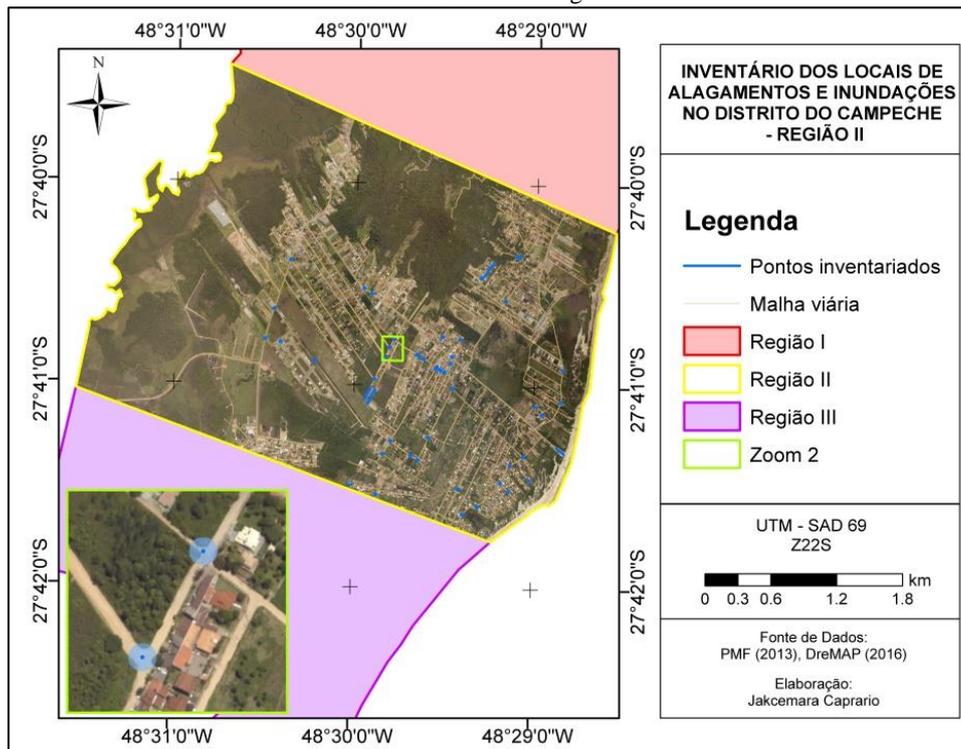
## Região II

Na porção central do Distrito do Campeche foram inventariados 51 pontos/áreas com ocorrência frequente de alagamentos e inundações. Dentre estes, destacam-se as Ruas Valdomiro José Vieira, Rua Laureano e Travessa da Liberdade, as quais dão acesso a Escola Engenho, constantemente mencionada nas entrevistas (Figura 38). Os constantes eventos ocorridos nestas áreas estão diretamente relacionados com a falta de um sistema de drenagem pluvial, visto estas ruas serem parcialmente calçadas. Os pontos inventariados na Região II, bem como as ruas mencionadas acima são apresentados na Figura 39.

Figura 38 – Alagamentos ocorridos nas de acesso à Escola Engenho: Rua Valdomiro José Vieira, Travessa Liberdade e Rua Laureano.



Figura 39 – Pontos de alagamentos e inundações frequentes ocorridos na Região II do Distrito do Campeche, com zoom nas ruas de acesso à Escola Engenho.



Fonte: desenvolvido pelo autor

### **Região III**

Na porção sul do Distrito do Campeche foi inventariado 39 pontos/áreas com ocorrência frequente de alagamentos e inundações. Dentre estas, destacam-se as ruas Pequi, Francisco Vieira, Capim Capoa, Travessa Flor de Pérola, Travessa Caraguatá, Travessa Ibiza e Travessa Magnólia Branca, que constituem a região conhecida como Areias do Campeche. Além destas, destaca-se ainda a Rua Jardim dos Eucaliptos, constantemente mencionada pelos entrevistados. Todas as ruas pertencentes ao Areias do Campeche, com exceção da Rua Pequi, não possuem um sistema de drenagem pluvial, visto não serem calçadas ou asfaltadas. A Rua Pequi, bem como a Rua Jardim dos Eucaliptos, possui cobertura parcial de um sistema de drenagem pluvial, composto basicamente por caixas tipo sumidouro que transbordam com chuvas intensas, alagando ruas transversais com menor decaimento.

Na Figura 40 são apresentados alguns exemplos dos constantes alagamentos e inundações ocorridos na porção sul do Distrito do Campeche. Já os pontos inventariados em toda a Região III, com zoom na região Areias do Campeche, são apresentados na Figura 41.

Figura 41Figura 40 – Alagamentos e inundações ocorridos nas Ruas Jardim dos Eucaliptos, Travessa Ibiza e Travessa Magnólia Branca.



Travessa Ibiza  
Foto: Dora Duarte (2014)

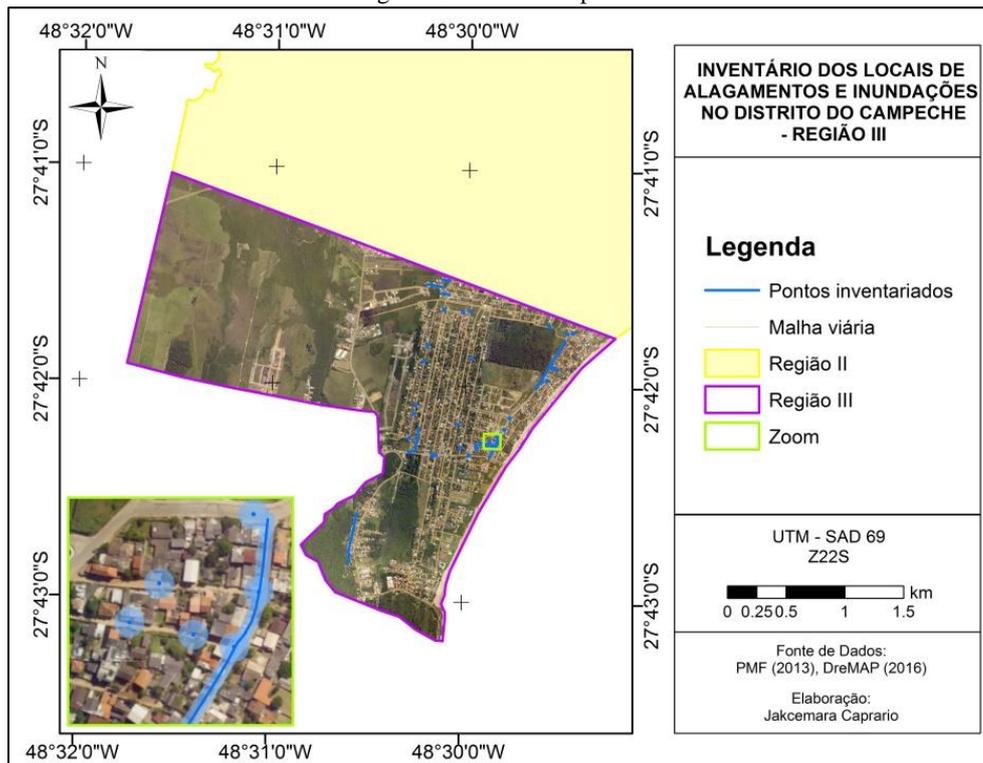


Travessa Magnólia Branca  
Foto: Eli Carlos de Souza (2013)



Rua Jardim dos Eucaliptos  
Foto: Marina Saito (2016)

Figura 41 – Pontos de alagamentos e inundações frequentes ocorridos na Região III do Distrito do Campeche, com zoom na região Areias do Campeche.



Fonte: desenvolvido pelo autor

## 5.2.4 Comparação de resultados

Os resultados obtidos nos ensaios do instrumento desenvolvido e método AHP-SIG foram comparados por meio de sobreposição com os resultados obtidos no processo de inventário dos pontos de alagamentos e inundações ocorridos no Campeche. Foi adotado o mapa de pontos inventariados como referência de comparação e avaliação do grau de acerto das outras metodologias, visto este ter sido construído com base em relatos de eventos que realmente ocorreram na área de ensaio. A avaliação do grau de acerto permitiu determinar a eficiência dos instrumentos, gerando como resultado a porcentagem das áreas classificadas como suscetíveis, isto é, que apresentam suscetibilidade alta e muito alta à ocorrência de alagamentos e inundações.

Sobrepondo o mapa gerado pelo instrumento desenvolvido com o mapa dos pontos inventariados, obteve-se um grau de acerto das áreas frequentemente alagadas e inundadas na ordem de 80%, sendo aproximadamente 48% das áreas classificadas como suscetibilidade alta e aproximadamente 32% classificadas como suscetibilidade muito alta. As porcentagens de acerto do mapeamento gerado pelo instrumento desenvolvido são apresentadas na Tabela 12.

Tabela 12 – Grau de acerto do mapeamento gerado pelo instrumento desenvolvido.

Suscetibilidade	Acerto (%)
 Baixa	6,01
 Média	13,92
 Alta	48,10
 Muito alta	31,96

Fonte: desenvolvido pelo autor.

Sobrepondo o mapa gerado pelo método AHP-SIG com o mapa dos pontos inventariados, obteve-se um grau de acerto das áreas frequentemente alagadas e inundadas na ordem de 91%, sendo aproximadamente 41% das áreas classificadas como suscetibilidade alta e 50% classificadas como suscetibilidade muito alta. As porcentagens de acerto do mapeamento gerado pelo método AHP-SIG são apresentadas na Tabela 13.

Tabela 13 – Grau de acerto do mapeamento gerado pelo método AHP-SIG.

<b>Suscetibilidade</b>	<b>Acerto (%)</b>
 Baixa	1,27
 Média	7,28
 Alta	41,46
 Muito alta	50,00

Fonte: desenvolvido pelo autor.

O elevado grau de acerto do método AHP-SIG está diretamente relacionado com o tempo de criação do instrumento e o número de testes e ajustes realizados. Outro fator que pode ter influenciado no grau de acerto do mapeamento é o baixo número de fatores utilizados e a diferença de relevância associada a estes. No instrumento IMAAI, além dos 4 fatores tradicionalmente utilizados pelo AHP-SIG, ainda foram adotados mais 4 fatores, sendo o grau de importância (relevância) igual para todos.

### 5.2.5 Ajustes e correções

Para o desenvolvimento e aplicação do novo instrumento de mapeamento de áreas suscetíveis à ocorrência de alagamentos e inundações, foi necessária a realização de três ajustes na ponderação das classes dos fatores e uma correção nas faixas da escala de suscetibilidade.

As ponderações ajustadas foram referentes às classes dos fatores: hidrografia, rede de drenagem e estruturas compensatórias. As classes do fator hidrografia foram ajustadas para valores medianos, devido estarem influenciando a atribuição de elevada suscetibilidade aos topos de morro, visto a presença das nascentes. Os ajustes realizados nas ponderações das classes do fator hidrografia são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 – Ajuste na ponderação das classes do fator hidrografia.

<b>Classes</b>	<b>Ponderação inicial</b>	<b>Ponderação ajustada</b>
Existe hidrografia	10	7
Não existe hidrografia	1	3

Fonte: desenvolvido pelo autor.

Assim como os ajustes realizados no fator hidrografia, as classes do fator rede de drenagem também foram ajustadas para valores

medianos, devido estarem atribuindo suscetibilidades elevadas às regiões sem rede de drenagem, generalizando uma condição de suscetibilidade que não representa a realidade dos eventos ocorridos. Os ajustes realizados nas ponderações das classes do fator rede de drenagem são apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 – Ajuste na ponderação das classes do fator rede de drenagem.

<b>Classes</b>	<b>Ponderação inicial</b>	<b>Ponderação ajustada</b>
Existe rede de drenagem	1	3
Não existe rede de drenagem	10	7

Fonte: desenvolvido pelo autor.

Já para o fator estruturas compensatórias foram ajustadas as ponderações de apenas duas classes: poço e vala de infiltração, visto estas estarem se sobrepondo as notas das classes dos outros fatores, atribuindo erroneamente baixas suscetibilidades a todas as áreas que possuem estruturas compensatórias, não representando a realidade dos eventos ocorridos na área de ensaio. Os ajustes realizados nas ponderações das classes do fator estruturas compensatórias são apresentados na Tabela 16.

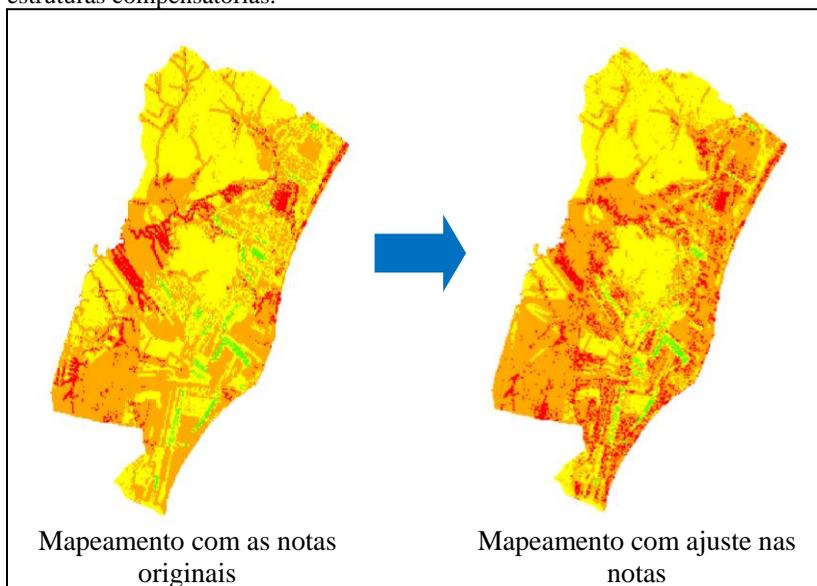
Tabela 16 – Ajuste na ponderação das classes do fator estruturas compensatórias.

<b>Classes</b>	<b>Ponderação inicial</b>	<b>Ponderação ajustada</b>
Vala de infiltração	5	3
Poço de infiltração	3	2
Ausência de estrutura	10	10

Fonte: desenvolvido pelo autor.

O resultado dos ajustes realizados nas ponderações das classes dos fatores hidrografia, rede de drenagem urbana e estruturas compensatórias são visualmente apresentados na Figura 42.

Figura 42 – Ajuste nas notas dos fatores hidrografia, rede de drenagem e estruturas compensatórias.



Fonte: desenvolvido pelo autor

As correções realizadas nas faixas da escala de suscetibilidade são referentes ao tamanho dos intervalos. Inicialmente foi proposta uma escala com intervalos equivalentes, ou seja, todas as faixas de suscetibilidade teriam intervalos de mesmo tamanho. Com a apresentação visual dos resultados de suscetibilidade para todo o Distrito do Campeche, foi verificada uma subestimação da faixa de suscetibilidade baixa, a qual deveria aparecer principalmente nas regiões de morros, onde a combinação dos fatores de influência afere uma baixa suscetibilidade à ocorrência de alagamentos e inundações.

A definição dos novos intervalos para a construção da escala de suscetibilidade, foi alcançada por meio de testes de classificação dos resultados obtidos pela sobreposição dos fatores no *software* ArcGIS, considerando como referência para a definição dos intervalos, conceitos básicos de localização de áreas suscetíveis a ocorrência de alagamentos e inundações. Os intervalos testados para a classificação da suscetibilidade à ocorrência de alagamentos e inundações na área de ensaio são apresentados na Tabela 17.

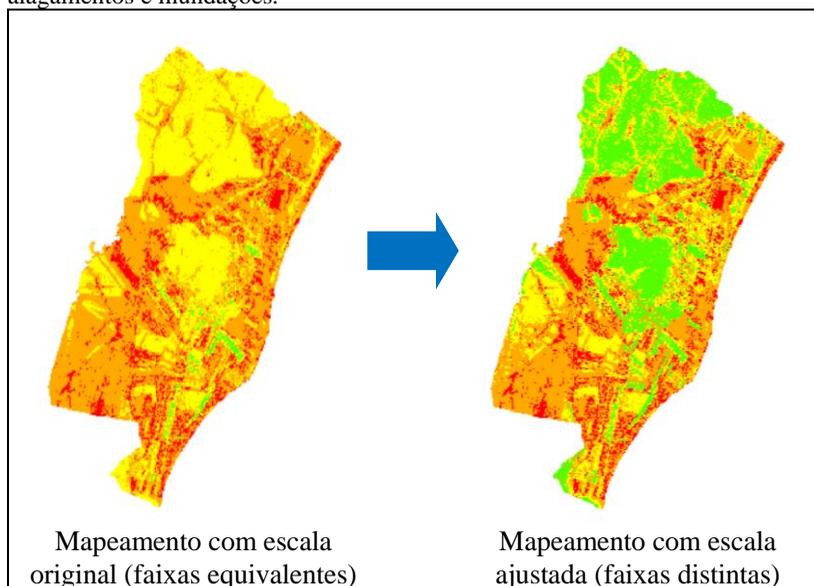
Tabela 17 – Intervalos testados para classificação da suscetibilidade à ocorrência de alagamentos e inundações na área de ensaio.

Classes	Intervalos iniciais	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Intervalos corrigidos
Baixa	0 – 25 %	0 – 40%	0 – 50%	0 – 50%	0 – 50%
Média	25 – 50%	40 – 70%	50 – 70%	50 – 60%	50 – 60%
Alta	50 – 75%	70 – 90%	70 – 85%	60 – 80%	60 – 75%
Muito alta	75 – 100%	90 – 100%	85 – 100%	80 – 100%	75 – 100%

Fonte: desenvolvido pelo autor.

O resultado da correção dos intervalos da escala de suscetibilidade, construída pelo instrumento desenvolvido, é visualmente apresentado na Figura 43.

Figura 43 – Ajuste dos intervalos da escala de suscetibilidade a ocorrência de alagamentos e inundações.



Fonte: desenvolvido pelo autor.

Como os ajustes realizados foram tanto em nível de ponderação, como de escala, não foi possível apresentar a melhora dos resultados em relação ao grau de acerto da metodologia, visto que os resultados inicialmente gerados não se aproximavam dos resultados esperados e

tradicionalmente encontrados na literatura. Para fazer a comparação do grau de acerto da metodologia, tem-se como requisito básico a apresentação espacial de resultados aproximados ou semelhantes. Fato este, não observado nos primeiros resultados do instrumento, onde a distribuição espacial dos resultados não apresentava veracidade quanto às condições naturalmente encontradas na área e descritas na literatura.

Tendo realizado os ajustes necessários, o instrumento metodológico IMAAI demonstrou ser uma ferramenta eficiente para o mapeamento de alagamentos e inundações urbanas. O instrumento conseguiu atingir os objetivos propostos, apresentando simplicidade, confiabilidade e reduzido custo de aplicação, demonstrando ser uma potencial ferramenta de apoio ao planejamento urbano e gestão dos recursos hídricos. As principais vantagens do IMAAI quando comparado com as metodologias tradicionalmente consagradas, como o AHP-SIG, está relacionada principalmente aos custos de aplicação e necessidade de capacitação especializada dos funcionários públicos. Como desvantagem o IMAAI apresentou apenas uma redução no grau de acerto do mapeamento de alagamentos e inundações, o qual pode ser considerado efêmero quando comparado com as vantagens oferecidas.



## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente estudo foi desenvolvido um instrumento metodológico simplificado e de baixo custo para mapear as áreas suscetíveis à ocorrência de alagamentos e inundações urbanas. Este instrumento pode ser adotado pelos setores públicos como forma de apoio à tomada de decisão em relação ao zoneamento das cidades, bem como, na gestão da drenagem urbana e preservação dos recursos hídricos.

Como base para o novo instrumento, foi utilizada a combinação e adaptação dos procedimentos metodológicos propostos por Furtado (2014) e SMPC (2015). Por meio de revisão de literatura foram elencados 34 fatores que influenciam a ocorrência de alagamentos e inundações urbanas, dos quais, apenas 6 foram considerados de maior relevância, sendo adotados, juntamente com outros 2 fatores pré-definidos, para o desenvolvimento do instrumento IMAAI. No total foram adotados 8 fatores de influência, sendo estes, altimetria, uso e ocupação do solo, hidrografia, precipitação média anual, tipos de solo, declividade, rede de drenagem e estruturas compensatórias.

O instrumento desenvolvido resumiu-se em um quadro, onde são elencados os oito fatores considerados influentes, bem como, todas as classes que representam cada um, em nível de território nacional, e as ponderações adotadas para cada classe, conforme seu grau de influência sobre os eventos de alagamentos e inundações. Para a classificação da suscetibilidade de cada área foi definida uma escala genérica com quatro faixas de suscetibilidade: baixa, média, alta e muito alta, onde o início da escala corresponde à soma das notas mínimas atreladas as classes dos fatores e o término corresponde à soma das notas máximas. As faixas foram definidas com intervalos distintos, correspondentes a 50%, 10%, 15% e 25% da variação total.

Para avaliar o desempenho da nova metodologia foram realizados ensaios tanto do instrumento desenvolvido, como de outra metodologia consagrada na literatura, denominada neste estudo como Instrumento AHP-SIG, utilizando como área de teste o Distrito do Campeche, localizado na porção sul da Ilha de Florianópolis - SC.

Pelo ensaio com o instrumento desenvolvido concluiu-se que a faixa de suscetibilidade alta representa a maior proporção do Distrito do Campeche (39,63%), sendo evidenciada basicamente em toda a região da Planície Entremares. As faixas de suscetibilidade baixa e média apresentaram proporções intermediárias, representando juntas aproximadamente 49% da área do Distrito. Já a suscetibilidade muito

alta é evidência em menor proporção, representando apenas 11% de toda a área. Não foi possível identificar relações diretas entre os fatores e as faixas de suscetibilidade. No entanto, verificou-se que em áreas onde ocorre a presença de rede de drenagem urbana, associada a estruturas compensatórias, a suscetibilidade à ocorrência de alagamentos e inundações reduz, ao ponto de serem classificadas como áreas de baixa suscetibilidade.

Assim como no ensaio do instrumento desenvolvido, no ensaio do instrumento AHP-SIG, a faixa de suscetibilidade classificada como alta também apresentou predomínio no Distrito do Campeche. No entanto, a proporção ocupada por esta faixa representou aproximadamente 48% de toda a área, sendo também evidenciada em basicamente toda a Planície Entremares, onde ocorre a associação entre declividade plana, baixa altimetria e predomínio de florestas e vegetações rasteiras. As faixas de suscetibilidade média e muito alta apresentaram proporções intermediárias, representando juntas aproximadamente 38% da área. Já a faixa de suscetibilidade baixa apresentou a menor proporção do Distrito, representando apenas 14% da área, sendo evidenciada basicamente nos topos de morros, onde a declividade e altimetria são elevadas.

A comparação dos resultados gerados pelos ensaios foi realizada tomando como referência um mapa de distribuição das áreas de alagamentos e inundações frequentemente ocorridas no Distrito do Campeche, o qual foi construído com base em um inventário de registros de inundações e alagamentos de fato ocorridos na área de estudo. Para a construção do inventário foi utilizado fontes oficiais e alternativas, que incluem a aplicação de questionários à população residente na área de ensaio, a pesquisa documental de notícias divulgadas nas mídias locais e o levantamento de informações junto aos órgãos e secretarias de gestão pública da drenagem urbana.

No total, considerando as três fontes de informação, foram inventariadas 110 áreas distintas de ocorrência frequente de alagamentos e inundações no Distrito do Campeche, sendo estas distribuídas em toda a área de ensaio, aferindo confiança na qualidade e quantidade de informações levantadas, visto o inventário ser utilizado como referência de comparação e análise de desempenho dos instrumentos aplicados. O método de inclusão de informação de fontes oficiais e alternativas demonstrou ser eficaz, reproduzindo corretamente as informações levantadas. A validação do método de inventário foi realizada pelas próprias fontes utilizadas, haja vista a ocorrência de sobreposição das informações levantadas.

Pela comparação dos resultados dos ensaios com o mapa das áreas de alagamentos e inundações inventariadas, foi possível determinar a eficiência dos instrumentos no mapeamento das áreas de suscetibilidade classificadas entre as faixas alta e muito alta. O instrumento desenvolvido apresentou um grau de acerto das áreas frequentemente alagadas e inundadas na ordem de 80%, enquanto o instrumento AHP-SIG apresentou um grau de acerto na ordem de 91%. Apesar do instrumento desenvolvido ter apresentado eficiência menor no grau de acerto das áreas de alagamentos e inundações, este ainda é considerado muito representativo, visto a metodologia ser simplificada e de baixo custo, não exigindo profissional com conhecimento especializado e nem condições infraestruturais tecnológicas avançadas.

No decorrer deste trabalho foram identificadas algumas dificuldades em relação ao desenvolvimento do novo instrumento, sendo estas relacionadas com a ponderação das classes dos fatores e com a construção da escala de suscetibilidade. As dificuldades relatadas foram solucionadas por meio de ajustes e correções no instrumento desenvolvido, melhorando a distribuição e representação dos dados, permitindo a análise do grau de acerto da metodologia.

Fica evidenciada a importância do desenvolvimento de metodologias simplificadas e com baixo custo de aplicação, que permitam os gestores públicos planejar e gerenciar o desenvolvimento dos municípios, elaborando estratégias que levem em consideração a sustentabilidade financeira, ambiental e social, a curto, médio e longo prazo.

Por fim, o desenvolvimento do instrumento simplificado e de baixo custo, permitiu a realização, com eficiência, do mapeamento da suscetibilidade à ocorrência de alagamentos e inundações no Distrito do Campeche. Contudo, diante do exposto neste estudo, seria de fundamental importância o ensaio do instrumento em outras áreas com menor propensão natural de ocorrência a alagamentos e inundações, buscando um melhor ajuste na construção da escala de suscetibilidade, aferindo maior precisão à metodologia.



## 7 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Ao final deste estudo recomenda-se a sua continuidade levando em conta os seguintes aspectos:

- Considerar precipitações com períodos de retorno de 2, 5 e 10 anos;
- Considerar o dimensionamento do sistema de drenagem pluvial;
- Testar ponderações diferentes para os fatores altimetria, relacionando classes com intervalos menores de variação, e tipos de solo, incluindo outros níveis categóricos.
- Testar os intervalos da escala para outras áreas de estudo, buscando aperfeiçoar os resultados.
- Construir um *website* com registros das estruturas de drenagem, situação de manutenção e pontos de alagamentos e inundações recorrentes, que possa ser acessado e atualizado pela população, a fim de auxiliar na gestão da drenagem urbana e redução de eventos de alagamentos e inundações.



## REFERÊNCIAS

AMARAL, R.; RIBEIRO, R. R. Inundações e enchentes. In: TOMINAGA, L. K; SANTORO, J; AMARAL, R (Organizadores). Desastres Naturais: conhecer para prevenir. 2ª reimpressão. São Paulo: Instituto Geológico, 2012. p.39-52.

ANA – Agência Nacional de Águas. Plano Nacional de Recursos Hídricos: documento base de referência – minuta. Brasília: ANA; Secretaria de Recursos Hídricos, 2003.

ANA, Agência Nacional de Águas. Dados hidrológicos: séries históricas. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 15 ago. 2016.

ANDRADE, S. L; FERREIRA, V. O; SILVA, M. M. Elaboração de um mapa de risco de inundação da bacia hidrográfica do córrego São Pedro, área urbana de Uberlândia – MG. Caderno de Geografia. 2014; 24(41): 1-16.

ARCGIS, Resource Center. Professional Library: IDW (Spatial Analyst). Disponível em: <<http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help./index.html#/009z0000006m000000.htm>>. Acesso em: 13 out. 2013.

ARRUDA, J. N. F. Potencialidades e limitações dos produtos de sensoriamento remoto para o processo de ensino-aprendizagem de geografia no ensino fundamental II. [dissertação]. Paraíba: Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Exatas e da Natureza; 2013.

ARUEIRA, A. B. Aplicação do método AHP para avaliação de transportadores. [dissertação]. Rio de Janeiro: Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro; 2014.

BAGSTEVOLD, L. O. Hydrological modelling of the Ilabekken Catchment, and flood simulations of Ilabekken using HEC-HMS and HEC\_RAS. Noruega: Norwegian University of Science and Technology; 2015.

BARBOSA, F. A. R. Medidas de proteção e controle de inundações urbanas na bacia do Rio Mamanguape/PB. Paraíba: Universidade Federal da Paraíba, Centro de Tecnologia; 2006.

BARBOSA JÚNIOR, A. R. Elementos de hidrologia aplicada. Universidade Federal de ouro Preto. Ouro Preto, 2014. (Apostila).

BARROS, E. F. S. Avaliação do saneamento ambiental em assentamentos de reforma agrária utilizando o método de análise hierárquica de processos. [dissertação]. Goiânia: Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil; 2013.

BATISTA, G. V; ORTH, D. M; BORTOLUZZI, S. D. Geoprocessamento para determinação de acessibilidade aos equipamentos educacionais como ferramenta de apoio aos Estudos de Impacto de Vizinhança: estudo de caso na Planície do Campeche – Florianópolis/SC- Brasil. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR; 2011 Mai 30-05; Paraná – BR. Curitiba: INPE; 2011.

BENINI, R. M, MEDIONDO, E. M. Urbanização e impactos no ciclo hidrológico na bacia do Mineirinho. *Floresta e Ambiente*. 2015, 22(2): 211-222.

BETIOLO, C. R; PERELA, A. C. F; MARTINS, F. R. Avaliação antrópica e climatológica dos Mangues Ratoles e Saco Grande da Ilha de Florianópolis – SC. XII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VIII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação; São Paulo: Universidade do Vale do Paraíba; 2008.

BOARDMAN, J. Soil erosion Science: reflections on the limitations of current approaches. *Catena*. 2006; 68: 73-86.

BRASIL, Ministério das Cidades. Plano diretor participativo: guia para a elaboração pelos municípios e cidadãos. Brasília: Confea, 2004.

\_\_\_\_\_. Ministério das Cidades; IPT, Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Mapeamento de riscos em encostas e margem de rios. Ministério das Cidades e IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Brasília, 2007.

\_\_\_\_\_. Lei n. 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil – SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil – CONPDEC; autoriza a criação de sistemas de informações e monitoramento de desastres; altera as Leis nº 12.340, de 1º de dezembro de 2010, 10.257, de julho de 2001, 6.766, de 19 de dezembro de 1997, 8.239, de 4 de outubro de 1991, e 9.394, de 20 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Portal da Legislação: Leis Ordinárias. 2012. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2012/Lei/L12608.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12608.htm)

\_\_\_\_\_. Ministério da Interação Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres. Anuário brasileiro de desastres naturais: 2012. Brasília: CENAD, 2012.

\_\_\_\_\_. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Plano Nacional de Saneamento Básico - PLANSAB. Brasília, 2013.

BUENO, A. P. Patrimônio paisagístico e turismo na Ilha de Santa Catarina: a premência da paisagem no desenvolvimento sustentável da atividade turística. [tese]. São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo; 2006.

CAJAZEIRO, J. M. D. Análise da susceptibilidade à formação de inundações nas bacias e áreas de contribuição do Ribeirão Arruda e Córrego da Onça em termos de índice morfométricos e impermeabilização. [dissertação]. Minas Gerais: Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Geografia; 2012.

CAMPANÁRIO, P. Florianópolis: dinâmica e projeção da população por sexo, grupos etários, distritos e bairros (1950-2050). Florianópolis: IPUF, 2007.

CARDOSO, M. R. D. Atlas escolar Brasil. [data desconhecida]. Disponível em: <http://atlascolarbrasil.blogspot.com.br/p/mapa-do-brasil-relevo-hipsografico.html>

CARDOZO, F. S; HERRMANN, M. L. P; PEREIRA, G. Análise das áreas suscetíveis a inundações na bacia do Rio Forquilhas, São José/SC. GEOUSP – Espaço e Tempo. 2010; 27: 33-45.

CARUSO, M. M. L; O desmatamento da Ilha de Santa Catarina de 1500 aos dias atuais. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1983.

CARVALHO, C. S; MACEDO, E. S; OGURA, A. T (organizadores). Mapeamento de riscos em encostas e margem de rios. Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – ITP, 2007.

CASTELLO BRANCO, M. L. G. A geografia e os sistemas de informação geográfica. Rer. Território. 1997; 1(2): 77-91.

CASTRO, A. L. C. Manual de desastres. Vol. 1. Brasília: Ministérios da Integração Nacional, 2003.

CAVALCANTE, L. V. B. A bacia do rio Arruda: análise das inundações entre 1930 a 2005 no município de Belo Horizonte/MG [dissertação]. Minas gerais: Universidade Federal de Minas gerais, Instituto de Geociências; 2011.

CAVALCANTE, R. C; TAVARES JUNIOR, J. R; CANDEIAS, A. L. B. Simulação de mapeamento de riscos de inundações usando dados LIDAR: estudo de caso da bacia do Rio Uma – PE. Rev. Brasileira de Cartografia. 2013; 64(4): 703-716.

CEMADEM, Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. Dados Pluviométricos: séries históricas. Disponível em: <<http://www.cemaden.gov.br/>>. Acesso em: 15 ago. 2016.

CHAVES, I. S. B; PEIXOTO FILHO, G. E. Identificação de áreas suscetíveis à ocorrência de inundações na Região Administrativa Fercal (RA XXXI). XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. João Pessoa –PB. 2015.

CONCEIÇÃO, M. L. O desenvolvimento urbano do Bairro do Campeche: um olhar sobre a mudança repentina dos padrões de ocupação do solo. [trabalho de conclusão de curso]. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas; 2013.

CORDERO, A; MEDEIROS, P. A; TERAN, A. L. Medida de controle de cheias e erosões. CEOPS – Centro de Operação do Sistema de Alerta, FURB. 1999.

CORREIA, E. F. Modelagem hidrológica da bacia hidrográfica do Rio Bengalas, Nova Friburgo, RJ, utilizando o potencial de geotecnologias na definição de áreas de risco de inundação. [dissertação]. Rio de Janeiro: Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia e Ciência; 2011.

COSTA, A. H. A. Simulação dos impactos da urbanização sobre as inundações urbanas na bacia hidrográfica do Rio Cuiá (PB). [dissertação]. João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, Centro de Tecnologia; 2013.

COSTA, F. S; ALONSO, J. M; FASSETTA, G. A; MARQUES, A. As grandes cheias de Ponte de Lima: uma abordagem metodológica a análise do risco de inundação na perspectiva da directiva relativa a avaliação e gestão dos risco de inundação. Rev. Geonorte. Ed. Especial. 2012; 1(4): 487-500.

COUTINHO, M. M. Avaliação do desempenho da modelagem hidráulica unidimensional e bidimensional na simulação de eventos de inundação em Colatina/ES. [dissertação]. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas gerais; 2015.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil e ANA – Agência Nacional de Águas. Atlas Geográfico de Recursos Hídricos do Brasil. 2013. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/atlasrh2013livro/>

CUNHA, L; LEAL, C; TAVARES, A. SANTOS, P. Risco de inundação no município de Torres Nova (Portugal). Rev. Geonorte. Ed. Especial. 2012; 1(4): 961-973.

DAI, F. C.; ZHANG, X. H. GIS-based geo-environmental evaluation for urban land-use planning: a case study. *Engineering Geology*. 2001; 61(4): 257-271.

DENÚBILA, L. A. Alterações ambientais associadas à mineração no Município de São Carlos (SP), utilizando AHP e SIG. [dissertação]. São Carlos: Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos; 2013.

DIAS, E. S.; SCHUCH, F. S. A ocupação do distrito do Campeche: plano diretor versus características do solo. XV Simpósio de Geografia da UDESC – SIMGeo. Florianópolis: UDESC. 2015.

DIAS, G. H. Identificação da vulnerabilidade socioambiental na área urbana de Mossoró-RN, a partir do uso de técnicas de análises espaciais. [dissertação]. Mossoró: Universidade do Oeste do Rio Grande do Norte; 2013.

DIXON, B; EARLS, J. Effects of urbanization on streamflow using SWAT with real and simulated meteorological data. *Applied Geography*. 2012 Nov; 35: 174-190.

DU, J; QIAN, Li; RUI, H; ZUO, T; ZHENG, D; XU, Y; XU, C. Y. Assessing the effects of urbanization on annual runoff and flood events using an integrated hydrological modeling system for Quinhuai River, China. *Journal of Hydrology*. 2012; 127-139.

ELETROSUL. Caracterização climática de Florianópolis – geral. Florianópolis: ELETROSUL/UFSC; [citado em 2015 Nov 18]. Disponível em: <http://www2.eletrosul.gov.br/casaeficiente/br/home/conteudo.php?cd=32>

ELLER, J. R. G.; SANTOS, L.; NASCIMENTO, R. S. Análise ambiental do manguezal do Rio Tavares – Florianópolis – Brasil. 14 Encuentro de Geógrafos de America Latina – EGAL. 2013.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de classificação de solos. 2ª edição. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

\_\_\_\_\_. Mapa de Solos do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2011 - escala 1:5.000.000. Disponível em: [http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/mapa\\_solos.php](http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/mapa_solos.php)>. Acesso em: 12 nov. 2015.

FERNANDO, S. L. J. Hydro dynamics simulation of floods in Kushabadra River using remote sensing and GIS. *International Journal of Science, Environment and Technology*. 2013; 2(6): 1307-1317.

FLORENZANO, T. G. Iniciação em sensoriamento remoto. 3ª edição. São Paulo: Oficina de Textos; 2011.

FLORIANÓPOLIS, Casa Civil. Decreto n. 14.942, de 21 de julho de 2015. Institui comissão especial para propor medidas vinculadas à drenagem e manejo das águas pluviais, tendo por objetivo subsidiar a elaboração do plano diretor de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas do município de Florianópolis. Leis Municipais. 2015. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a/sc/f/florianopolis/decreto/2015/1495/14942/decreto-n-14942-2015-institui-comissao-especial-para-propor-medidas-vinculadas-a-drenagem-e-manejo-das-aguas-pluviais-tendo-por-objetivo-subsidiar-a-elaboracao-do-plano-diretor-de-drenagem-e-manejo-das-aguas-pluviais-urbanas-do-municipio-de-florianopolis?q=14942>>

FRASSON, A. C. Escolha de alternativa tecnológica para tratamento e destino final de lodo gerado no tratamento de efluentes líquidos de agroindústria com base no método AHP. [dissertação]. Londrina: Universidade Estadual de Londrina; 2011.

FURTADO, J. R (coordenadora). Metodologia de avaliação de vulnerabilidade para mapeamento de áreas suscetíveis a deslizamentos e inundações: proposta piloto em Santa Catarina. Florianópolis: CEPED UFSC; 2014.

GALVÃO, M. I. S. Zoneamento de risco à inundação da área urbana de Porto Xavier/RS [dissertação]. Porto Alegre: universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências; 2014.

GANDOLFO, E. S.; HANAZAKI, N. Distribution of local plant knowledge in a recently urbanized area (Campeche District, Florianópolis, Brasil). Rev. Urban Ecosyst. 2014; 17: 775-785.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 5ª edição. São Paulo: Atlas; 2010.

GIUNTOLI, I. Sistema Web-GIS participativo associado a indicadores de gestão descentralizada de risco de inundações. [dissertação]. São Carlos: Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos; 2008.

GOMES, L. F. A. M; ARAYA, M. C. G; CARIGNANO, C. Tomada de decisões em cenários complexos: introdução aos métodos discretos do apoio multicritério a decisão. São Paulo: Thomson, 2004.

GRACIOSA, M. C. P; MENDIONDO, E. M; CHAUDHRY, F. H. Simulação hidráulica de trincheiras de infiltração de águas pluviais. Rev. Bras. Rec. Hídricos. 2008 Abr/Jun; 13(2): 89-99.

GUERRA, A. J. T.; BOTELHO, R. G. M. Erosão dos solos. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (Organizadores). Geomorfologia do Brasil. 2ª edição. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001.

GUIMARÃES, N. A.; PENHA, J. W. Mapeamento das áreas de risco de inundação com a utilização do modelo digital de elevação hidrologicamente consistente: estudo de caso em Muriaé – MG. Rev. Agrogeoambiental. 2009 Ago; 46-52.

HAGEMEIER-KLOSE, M., WAGNER, K. Evaluation of flood hazard maps in print and web mapping services as information tools in flood risk communication. Natural Hazards and Earth System Sciences. 2009 Abr, 563-574.

HAMEL, P.; DALY, E.; FLETCHER, T. D. Source-control stormwater management for mitigating the impacts of urbanization on baseflow: A review. Journal of Hydrology. 2013 Jan; 485: 201-211.

HERRMANN, M. L. P (organizadora). Atlas de desastres naturais do Estado de Santa Catarina: período de 1980 a 2010. 2ª edição. Florianópolis: IHGSC/Cadernos Geográficos, 2014.

HORA, S. B.; GOMES, R. L. Mapeamento e avaliação do risco a inundação do Rio Cachoeira em trecho da área urbana do Município de Itabuna/BA. Rev. Sociedade & natureza. 2009 Ago; 21(2): 57-75.

HORN FILHO, N. O; MATEUS, A. P; MOREIRA, A. C; PERIN, E. B; LIMA, F. A. V; GOES, I. M. A; MARINI, M; MATOS, I. S; SCHIMIDT, A. D. Texto explicativo para o mapeamento geológico e fisiográfico da Ilha do Campeche, SC, Brasil. Florianópolis: UFSC, 2015.

HUANG, C; CHEN, Y; WU, J. Mapping spatio-temporal flood inundation dynamics at large river basin scale using time-series flow data and MODIS imagery. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 2014; 26: 350-362.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico: 2008. Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. Base de Informação do Censo Demográfico 2010: Resultado do Universo por Setor Censitário. Rio de Janeiro, 2011.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Normais climatológicas do Brasil 1961-1990. Disponível em: < <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>>. Acesso em: 06 mar. 2017.

IPUF – Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis. Banco de dados espacial da Ilha de Santa Catarina – hidrografia e altimetria. 2000.

JOO, J; KJELDTSEN, T; KIM, H. J; LEE, H. A comparison of two event-based flood model (ReFH-rainfall Runoff Model and HEC-HMS) at two Korean Catchments, Bukil and Jeungpycong. *KSCE journal of Civil Engineering*. 2014; 18(1): 330-343.

JUNG, Y; KIM, D; KIM, D; KIM, M; LEE, S. O. Simplified flood inundation mapping based on flood elevation-discharge rating curves using satellite images in Gauged Watersheds. *Journal Water*. 2014; 6: 1280-1299.

KADAM, P.; SEN, D. Flood inundation simulation in Ajoy River using MIKE-FLOOD. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*. 2012 Jul; 18(2): 129-141.

KANUNGO, D. P.; ARORA, M. K.; SARKAR, S.; GUPTA, R. P. A. A comparative study of conventional, ANN black box, fuzzy and combined neural and fuzzy weighting procedures for landslide susceptibility zonation in Darjeeling Himalayas. *Engineering Geology*. 2006; 85:347-366.

KIRK, J. P. A methodology for developing GIS-BASED probabilistic riverine flood inundation maps for Tonawanda Creek in Western New York. [tese]. Ohio: Kent State University; 2013.

KOBIYAMA, M; MICHEL, G. P; SILVA, J. S; REIS, J. T; MOTA, A. A; MONTEIRO, L. R. (organização). Mapeamento de áreas de risco para prevenção de desastres hidrológicos com ênfase em modelagem hidrogeomorfológica. Porto Alegre: UFRGS/IPH/GPDEN, 2014.

LAWAL, D. U; MATORI, A. N; YUSUF, K. W; HASHIN, A. M; BALOGUN, A. L. Analysis of the flood extent extraction model and the natural flood influencing factors: a GIS-based and remote sensing analysis. 8<sup>th</sup> International Symposium of the Digital Earth – ISDE8. *Earth and Environmental Science*. 2014; 18: 1-6.

LÉON, J. F. A.; DELGADO, O. Y. Q. Aplicación de la teledetección y los sistemas de información geográfica en la interpretación de zonas inundables. Caso de estudio: Río Soapaga, Sector Paz de Río, Boyacá. *Universidad Militar Nueva Granada – Ciencia e Ingeniería Neogranadina*. 2013 Dez; 23(2): 55-75.

LEPSCH, I. F. formação e conservação dos Solos. 2ª edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

LIMA, L. M. M. Mapeamento da suscetibilidade à inundações na bacia hidrográfica do Arroio do Salso, Porto Alegre – RS [dissertação]. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências; 2010.

LISBOA FILHO, J; IOCHPE, C. Introdução a Sistemas de Informações Geográficas com Ênfase em Banco de Dados. XV JAI - Jornada de Atualização em Informática, XVI Congresso da SBC. Recife-PE: SBC, 1996 (Apostila).

LUCAS, A. H; SOBRINHA, L. A; MORUZZI, R. B; BARBASSA, A. P. Avaliação da construção e operação de técnicas compensatórias de drenagem urbana: o transporte de finos, a capacidade de infiltração, a taxa de infiltração real do solo e a permeabilidade da manta geotêxtil. Rev. Eng. Sanitária e Ambiental. 2015 Jan/Mar; 20(1): 17-28.

MACHADO, R. E. Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento. [tese]. Piracicaba: Escola Superior de agricultura Luiz de Queiroz; 2002.

MAGALHÃES, I. A. L; THIAGO, C. R. L; AGRIZZI, D. V; SANTOS, A. R. Uso de geotecnologias para mapeamento de áreas de risco de inundação em Guaçuí, ES: uma análise comparativa entre dois métodos. Cadernos de Geociência. 2011 Nov; 8(2): 63-70.

MARCELINO, E. V. Desastres naturais e geotecnologias: conceitos básicos. Caderno didático nº. 1. Santa Maria: Ministério da Ciência e Tecnologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE; 2008.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. Técnicas de pesquisa: planejamento e execução de pesquisas, amostragem e técnicas de pesquisa, elaboração, análise e interpretação de dados. 6ª edição. São Paulo: Atlas, 2007.

MELLER, A. e PAIVA, E. M. C. D. Avaliação de metodologias para simulação de inundações em redes de drenagem pluviais na bacia hidrográfica Alta da Colina, em Santa Maria – RS. 1º Simpósio de Recursos Hídricos do sul e 1º Simpósio de Águas da AUGM. Porto Alegre: ABRH. 2005.

MELO, H. A. Integração entre modelos hidrológicos e sistemas de informações geográficas: uma avaliação metodológica. [dissertação]. Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande; 2010.

MENDONÇA, J. C.; FREITAS, R. M.; SHIMABUKURO, Y. E.; MARQUES, V. S. Avaliação de eventos de inundação na Região Norte Fluminense, Rio de Janeiro, utilizando imagens de sensores remotos. *Rev. Ambi-Agua*. 2012; 7(1): 255-267.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T (organizadores). Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. Brasília: UND/CNPQ, 2012.

MILLON, M. M. B. Águas subterrâneas e política de recursos hídricos – Estudo de caso: Campeche, Florianópolis – SC. [dissertação]. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina; 2004.

MONTEIRO, L. R.; KOBAYAMA, M. Proposta de metodologia de mapeamento de perigo de inundação. *REGA*. 2013 Jul/Dez; 10(2): 13-25.

MOREIRA, H.; CALEFFE, L. G. Metodologia da pesquisa para o professor pesquisador. 1ª edição. Rio de Janeiro: Lamparina, 2008.

MOREIRA, A. S. O processo participativo no plano diretor – Estudo de caso: Campeche/ Florianópolis, SC – Brasil. [dissertação]. Florianópolis: Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Humanas da Educação; 2009.

MÜLLER, A. S. Modelagem hidráulica para determinação de focos de inundação na bacia hidrográfica do Rio Jaguarão em Joinville. XVIII Simpósio Brasileiro de recursos Hídricos. Campo Grande: ABRH, 2009.

MULLER, C. R. Avaliação de suscetibilidade a inundações utilizando geotecnologias para a bacia hidrográfica do Rio Cachoeira – Joinville/SC. [dissertação]. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências humanas e da Educação; 2012.

MULUNGO, H. E. Estudo de inundação na bacia do campus da UFSC, Florianópolis. [dissertação]. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico; 2012.

MURANA, P. G. S. Variabilidade climática e doenças circulatórias e respiratórias em Florianópolis (SC): uma contribuição à Climatologia Médica. [dissertação]. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Geociências; 2012.

NEDELEA, A; COMANESCU, L; ZAHARIA, L; SAFTOIU, L. Mapping flood vulnerability. Case study: Tecuci Town (Romania). 26<sup>th</sup> International Cartographic Conference. Alemanha, 2013.

NISHIO, M.; MORI, M. Hydrologic analysis of a flood based on a new digital elevation model. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2015 Jul; XL-7/W4: 127-134.

OLEYIBLO, J. O.; LI, Z. Application of HEC-HMS for flood forecasting in Misai and Wan'an catchments in China. Water Science and Engineering. 2010; 3(1): 14-22.

OUMA, Y. O.; TATEISHI, R. Urban flood vulnerability and risk mapping using integrated Multi-Parametric AHP and GIS: methodological overview and casa study assessment. Rev. Water. 2014; 6: 1515-1545.

PACHECO, E. F. Estudo dos impactos da Drenagem Urbana nos Recursos Hídricos do distrito do Campeche. [trabalho de conclusão]. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico; 2012.

PACHECO, E. F.; FINOTTI, A. R. Interfaces between traditional urban drainage systems and water resources: case study - Rio Tavares and Morro das Pedras Watersheds, Florianópolis, Brazil. Water Pollution XII. 2014; 182: 187-199.

PAIVA, R. C. D; COLLISCHONN, W; BRAVO, J. M. Modelo hidrodinâmico 1D para redes de canais baseado no esquema numérico de MacCormack. Rer. Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH. 2011 Jul/Set; 16(3): 151-161.

PARKINSON, J; MILOGRANA, J; CAMPOS, L. C; CAMPOS, R. Drenagem urbana sustentável no Brasil. Goiânia: ABES/CREA-GO/ANA/ABRH; 2003.

PAZOLINI, T. U.; SILVA, E. Seletividade espacial dos investimentos imobiliários – Estudo do Campeche – Florianópolis – Santa Catarina. VI Congresso Iberoamericano de estúdios Territoriales y Ambientales - CIETA. São Paulo. 2014 Set; 1663-1679

PIPPI, L. G. A. Considerações ambientais e paisagísticas para o planejamento urbano do Campeche – Florianópolis – SC. [dissertação]. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina; 2004.

PMF – Prefeitura Municipal de Florianópolis. Banco de dados da rede de drenagem pluvial do distrito do Campeche. Projetos em AutoCAD. Florianópolis: Secretaria de Obras; 2013.

PONTES, P. R. M. Comparação de modelos hidrodinâmicos simplificados de propagação de vazão em rios e canais. [dissertação]. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas hidráulicas; 2011.

POSEIRO, P; SABINO, A; FORTES, C. J; REIS, M. T; RODRIGUES, A. Aplicação do sistema Hidralerta de previsão e alerta de inundações: caso de estudo da Praia da Vitória. 12º Congresso da Água. Lisboa; 2014a.

POSEIRO, P; REIS, M. T; FORTES, C. J. E. M; SABINO, A; RODRIGUES, A. Aplicação do sistema de previsão e alerta de inundações HIDRALERTA: caso de estudo da Costa da Caparica. 3ª Jornada de Engenharia Hidrográfica. Lisboa. 2014b.

POSEIRO, P; FORTES, C; REIS, M. T; SANTOS, J. A; REIS, R. A. aplicação do sistema de previsão e alerta do risco de galgamentos em zonas costeiras e portuárias: Costa da Caparica e Praia da Vitória. Rev. de Engenharia e Tecnologia. Edição Especial. 2015 Jun; 7(2): 77-91.

PRINA, B. Z.; TRENTIN, R. Metodologia para mapeamento de áreas suscetíveis à inundação: estudo de caso para o município de Jaguari/RS. XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia/ V Congresso Brasileiro de Geoprocessamento/ XXV Expositiva. Gramado. 2014.

PRINCE GEORGE'S COUNTRY. Low-impact development design strategies: na integrated design approach. Maryland: Department of Environmental Resources, Programs and Planning Division; 1999.

PROCHMANN, J. R. Análise especial da suscetibilidade à inundações na bacia hidrográfica do Córrego grande, Florianópolis – SC. [trabalho de conclusão de curso]. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; 2014.

RAI, P. K.; MOHAN, K. Remote Sensing data & GIS for flood risk zonation mapping in Varanasi District, India. Forum Geografic. 2014 Jun; 13(1): 25-33.

REIS, P. E. O escoamento superficial como condicionante de inundação em Belo Horizonte, MG: estudo de caso da sub-bacia Córrego do Leitão, bacia do

Ribeirão Arrudas [dissertação]. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências; 2011.

REIS, J. T.; SILVA, J. S.; MICHEL, G. P.; KOBAYAMA, M. Mapeamento da vulnerabilidade a desastres hidrológicos nos Municípios de Alto Feliz e São Vendelino/RS como forma de contribuição à engenharia de sedimentos. XI Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos – ENES. João Pessoa: ABRH. 2014.

RIBEIRO, C. B. M.; LIMA, R. N. S. Simulação de inundações urbanas a partir da integração de técnicas de geoprocessamento à modelagem hidráulica e hidrológica. Rev. Geografia – PPGeo. 2011; 2(1): 1-9.

RIGHI, E. Risco a inundação em médio curso do Rio Uruguai: um estudo de caso nos Municípios de Porto Lucena e São Borja. [dissertação]. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências; 2011.

ROBAIANA, L. E. S.; KORMANN, T. C.; SCHIRMER, G. J. Zoneamento das inundações na área urbana de Alegrete – Rio Grande do Sul – Brasil. Rev. Geociências. 2013; 32(2): 346-355.

ROCHA, L. S. Mapeamento de áreas de vulnerabilidade hídrica através do processamento de informações espaciais e registros de ocorrências da defesa civil. [dissertação]. Salvador: Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica; 2013.

ROSA, G. G. G.; SANTOS, A. R. PELUZIO, T. M. O.; MARIANO, R. Utilização do método AHP para determinação de um modelo matemático para mapeamento das áreas de riscos de inundação da bacia hidrográfica do Rio Alegre, ES. XII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VIII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba. 2008.

SAATY, R. W. A scalin Method for priorities in hierarchical structures. Journal of mathematical psychology. 1977; 15: 234-281.

SAATY, R. W. The analytic hierarchy process - what it is and how it is used. 1987; 9 (3-5): 161-176.

SAATY, R. W. How to make a decision: the Analytic Hierarchy Process. European Journal of Operational Research. 1990; 48: 9-26.

SALES, R. J. M. Estudos hidráulicos e hidrológicos de amortecimento de cheias do Riacho Alagadiço, Fortaleza, CE. [dissertação]. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia; 2011.

SAMARASINGLE, S. M. J. S; NANDALAL, H. K; WELIWITIYA, D. P; FOWZE, J. S. M; HAZARIKA, M. K; SAMARAKOON, L. S. Application of remote sensing and GIS for flood risk analysis: a case study at Kalu-Ganga River, Sri Lanka. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*. 2010; 38(8): 110-115.

SANTOS, A. R.; LOUZADA, F. L. R. O.; EUGÊNIO, F. C. ARCGIS 9.3 total: aplicações para dados espaciais. 2ª edição. Alegre, ES: CAUFES, 2010.

SANTOS, L. L. Modelos hidráulicos-hidroológicos: conceitos e aplicações. *Rev. Brasileira de Geografia Física – RBGF*. 2009 Set/Dez; 2(3): 01-19.

SARHADI, A; SOLTANI, S; MODARRES, R. Probabilistic flood inundation mapping of ungauged rivers: Linking GIS techniques and frequency analysis. *Journal of Hydrology*. 2012; 68-86.

SCHEID, C; SCHMITT, T. G; BISCHOFF, G. HÜFFMEYER, N; KRIEGER, K; WALDHOFF, A; GÜNNER, C. GIS-based methodology for pluvial flood risk analysis in Hamburg. *NOVATECH*. 2013.

SDS – Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável. Levantamento Aerofotogramétrico de Santa Catarina. Resolução de 39 cm, na escala de 1:10.000. Data da Fotogrametria: 2010.

SIDDAYAO, G. P; VALDEZ, S. E; FERNANDEZ, P. L. Analytic Hierarchy Process (AHP) in spatial modeling for floodplain risk assessment. *International Journal of Machine Learning and Computing*. 2014 Out; 4(5): 450-457.

SILVA, C. A.; NUNES, F. P. Mapeamento de vulnerabilidade ambiental utilizando o método AHP: uma análise integrada para suporte à decisão no Município de Pacoti/CE. XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 2009 Abr; 5435-5442.

SILVA, A. P. M. Elaboração de manchas de inundação para o Município de Itajubá, utilizando SIG. [dissertação]. Itajubá: Universidade Federal de Itajubá; 2006.

SILVA, L. P. Modelagem e geoprocessamento na identificação de áreas com risco de inundação e erosão na bacia do Rio Cuiá. [dissertação]. João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, Centro de Tecnologia; 2007.

SILVA, C. V. F. Planejamento do uso e ocupação do solo urbano integrado ao mapeamento de áreas com risco de inundação [dissertação]. São Paulo: Universidade de São Paulo, Escola politécnica; 2013.

SILVEIRA, M.; PINTO, M. F. C.; ARRUDA, V. L. V. Trabalhando a educação ambiental a partir da problemática sócio-ambiental de uma lagoa costeira. *EXTENSIO – Rev. eletrônica de extensão*. 2009; 6(7): 81-95.

SILVEIRA, R. B. Inundações e alagamentos no Município de Itapoá-SC: impactos socioambientais na área urbana, o caso de 2008. [trabalho de conclusão de curso]. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas; 2013.

SILVEIRA, R. B.; ALVES, M. P. A., MURARA, P. Estudo de caracterização da direção predominante dos ventos no litoral de Santa Catarina. X Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica. 2010; 380-392.

SIMÕES, S. J.; TRANNIN, I. C. B. GIS application in flood management – a case study: Paraíba do Sul Basin, southeast Brasil. *Aqua-LAC*. 2012; 4(2): 29-44.

SMHSA – Secretaria Municipal de Habitação e Saneamento Ambiental. Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico – PMISB – diagnóstico da caracterização física. Florianópolis: MPB Engenharia; 2009.

SMHSA – Secretaria Municipal de Habitação e Saneamento Ambiental. Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico – PMISB – versão consolidada final. Florianópolis: MPB Engenharia; 2011.

SMPC, Serviço Municipal de Proteção Civil. Dossiê de Sustentabilidade. Cascais: Câmara Municipal de Cascais/ Serviço Municipal de Proteção Civil. 2015

SOUSA, L. F. N. M. Metodologia para o mapeamento de cheias em zonas de risco. Aplicação a um troço de um rio do norte de Portugal. [dissertação]. Portugal: Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia; 2012.

SOUSA, J. P. Elementos de teoria e pesquisa da comunicação dos media. 2ª edição. Porto: Biblioteca On-Line de Ciências da Comunicação. 2006.

MOREIRA, H.; CALEFFE, L. G. Metodologia da pesquisa para o professor pesquisador. 1ª edição. Rio de Janeiro: Lamparina, 2008.

SOUZA, C. R. G. Suscetibilidade morfométrica de bacias de drenagem ao desenvolvimento de inundações em áreas costeiras. *Rev. Bras. Geomorfologia*. 2005; 6(1): 45-61.

SOUZA, L. R. Simulação hidrológica e aplicação de uma análise multivariada no estudo de chuva-vazão na bacia hidrográfica do Rio São Francisco. Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande; 2012.

SUDERHSA – Superintendência de desenvolvimento de Recursos hídricos e Saneamento Ambiental. Plano Diretor de drenagem para a bacia do Rio Iguaçu na Região Metropolitana de Curitiba. Vol. 2. Paraná: Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos; 2002.

SULEIMAN, H. C. Mapeamento preliminar de áreas urbanas de inundação. [dissertação]. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia; 2006.

TAHMASBINEJAD, H; FEYZOLAHPOUR, M; MUMIPOUR, M; ZAKERHOSEINI, F. Rainfall-runoff simulation and modeling of Karun River using HEC-RAS and HEC-HMS models, Izeh District, Iran. Journal of Applied Sciences. 2012; 12(18): 1900-1908.

Tempo Editorial. Mangue do Rio Tavares. Florianópolis: UFSC; [data desconhecida]. Material Iconográfico: Imagem JPEG. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/141332>.

TOMAZZOLI, E. R.; PELLERIN, J. R. G. M. Aspectos geológico-geomorfológicos do sul da Ilha de Santa Catarina. 8º Encontro de Geógrafos da América Latina – EGAL8. Chile; 2001 Mar.

TOMAZZOLI, E. R.; PELLERIN, J. R. M. Mapa geológico da Ilha de Santa Catarina. Florianópolis: CFH/UFSC; 2014. Disponível em: <http://lmo.ufsc.br/mapa-geologico-da-ilha-de-santa-catarina/>

TOMAZZOLI, E. R; ALMEIDA, L. C; SILVA, M; MOCHIUTTI, N. F; ALENCAR, R. Espeleologia na Ilha de Santa Catarina: um estudo preliminar das Cavernas da Ilha. 31º Congresso Brasileiro de Espeleologia. Ponta Grossa-PR; 2011 Jul; 131-139.

TUCCI, C. E. M. Modelos hidrológicos. 1ª edição. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS/Associação Brasileira de Recursos Hídricos; 1998.

\_\_\_\_\_. Gestão de Águas Pluviais Urbanas. Ministério das Cidades – Global Water Partnership – Wold Bank – Unesco; 2005.

\_\_\_\_\_. Urban Flood Management. Global Water Partnership, WMO – World Meteorological Organization; 2007.

\_\_\_\_\_. Águas Urbanas. Estudos avançados. 2008 Jun; 22(63): 97-112.

\_\_\_\_\_. Hidrologia: ciência e aplicação. 2ª edição. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS/Associação Brasileira de Recursos Hídricos; 2009.

\_\_\_\_\_. Inundações Urbanas. Porto Alegre: ABRH, 2007. Disponível em:<[http://4ccr.pgr.mpf.mp.br/institucional/grupos-de-trabalho/encerrados/residuos/documentos-diversos/outros\\_documentos\\_tecnicos/curso-gestao-do-terriorio-e-manejo-integrado-das-aguas-urbanas/drenagem1.PDF](http://4ccr.pgr.mpf.mp.br/institucional/grupos-de-trabalho/encerrados/residuos/documentos-diversos/outros_documentos_tecnicos/curso-gestao-do-terriorio-e-manejo-integrado-das-aguas-urbanas/drenagem1.PDF)>. Acesso em: 22 out. 2015.

TUCCI, C. E. M; BERTONI, J. C. Inundações urbanas. 1ª edição. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH; 2003.

TUCCI, C. E. M; MENDES, C. A. Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica. 1ª edição. Brasília: Ministério do Meio Ambiente - MMA; 2006.

TUTEJA, N. K.; SHAIKN, M. Hydraulic modeling of the spatio-temporal flood inundation patterns of the Koondrook Perricoota Forest Wetlands – the living Murray. 18<sup>th</sup> world IMACS/ MODSIM Congress. Australia. 2009 Jul; 4248-4254.

UFSC, Universidade Federal de Santa Catarina. Laboratório de Hidrologia – LabHidro. Dados da estação meteorológica da UFSC. Disponível em: <<http://www.labhidro.ufsc.br/pt/dados-ufsc>>. Acesso em: 15 ago. 2016.

VARELLA, C. A.A. e SENA, D. G. J. Estudos do interpolador IDW para utilização em agricultura de precisão. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro; 2008.

VARGAS, C. I. C; OLIVEIRA, F. S. B. F; OLIVEIRA, A; CHARNECA, N. Análise da vulnerabilidade de uma praia estuarina à inundação: aplicação à Restinga do Alfeite (Estuário do Tejo). Rev. Gestão Costeira Integrada. 2008; 8(1): 25-43.

VERGARA, S. C. Projetos e relatórios de pesquisa em administração. 14ª edição. São Paulo: Atlas; 2003.

VOZINAKI, A. E. K; KURGIALAS, N. N; KARATZAS, G. P. Estimating flood inundation and the consequent economic losses in the Koiliaris River Basin in Crete, Greece. Global NEST Journal. 2012; 14(3): 284-293.

VU, T. T.; TINGSANCHALI, T. Flood hazard and risk assessment of Hoang Long River Basin, Vietnam. International MIKE by DHI Conference. 2010; 33: 1-14.

VU, M. T; LIONG, S. Y; RAGHAVAN, V. S. A novel methodology for developing inundation maps under climate change scenarios using one-dimensional model. *Advances in Geosciences Journal*. 2010; 23: 53-62.

WALEGA, A. Application of HEC-HMS programme for the reconstruction of a flood event in an uncontrolled basin. *Journal of Water and Land Development*. 2013; 18(I-VI): 13-20.

WOLF, C. S. O método AHP – revisão conceitual e proposta de simplificação. [dissertação]. Rio de Janeiro: Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro; 2008.

YANG, J; ENTEKHABI, D; CASTELLI, F; CHUA, L. Hydrologic response of tropical watershed to urbanization. *J. Hydrol.* 2014 Set; 517: 338-546.

YANNOPOULOS, S. I; GRIVAKI, G; GIANNOPOULOU, I; BASBAS, S; OIKONOMOU, E. K. Environmental impacts and best management of urban stormwater runoff: measures and legislative framework. 12th International Conference on Environmental Science and Technology. 2011 Set, 2049-2056.





























