

Daniela Prá S. de Sousa

**PROPOSTA METODOLÓGICA PARA ESTIMATIVA DE
DANOS E MAPEAMENTO DE RISCO ASSOCIADOS A
INUNDAÇÕES EM ÁREAS URBANAS**

Dissertação submetida ao Programa
de Pós-Graduação em Desastres
Naturais para a obtenção do grau de
mestre em Desastres Naturais.

Orientador: Prof. Roberto Fabris
Goerl, Dr.

Florianópolis,
2018

Ficha de identificação da obra elaborada pela autora
pelo Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Sousa, Daniela Prá S. de
PROPOSTA METODOLÓGICA PARA ESTIMATIVA DE DANOS E
MAPEAMENTO DE RISCO ASSOCIADOS A INUNDAÇÕES EM ÁREAS
URBANAS / Daniela Prá S. de Sousa ; orientador,
Roberto Fabris Goerl, 2018.
113 p.

Dissertação (mestrado profissional) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de
Filosofia e Ciências Humanas, Programa de Pós
Graduação em Desastres Naturais, Florianópolis, 2018.

Inclui referências.

1. Desastres Naturais. 2. Danos. 3. HAND. 4.
Inundações. I. Goerl, Roberto Fabris. II.
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de
Pós-Graduação em Desastres Naturais. III. Título.

Daniela Prá S. de Sousa

**PROPOSTA METODOLÓGICA PARA ESTIMATIVA DE
DANOS E MAPEAMENTO DE RISCO ASSOCIADOS A
INUNDAÇÕES EM ÁREAS URBANAS**

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “Mestre em Desastres Naturais” e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Desastres Naturais.

Florianópolis, 29 de novembro de 2018.

Prof.^a Janete Josina Abreu, Dr.^a
Coordenadora do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Roberto Fabris Goerl, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Everton Silva, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Lindberg Nascimento Jr., Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

A todos aqueles que tornaram esse trabalho possível.

Ao meu orientador, Roberto Fabris Goerl, pelo apoio, cooperação e suporte dado para a realização deste trabalho.

Às mulheres citadas por serem fonte de inspiração pelo conhecimento e determinação.

Aos amigos, colegas e familiares pelo apoio dado ao longo desta empreitada.

“We can only see a short distance ahead,
But we can see plenty there that needs to be done.”
Alan M. Turing (1912-1954)

RESUMO

Os desastres naturais estão relacionados à ocorrência de processos inerentes a dinâmica terrestre. No caso das inundações, destacam-se as precipitações prolongadas ou precipitações rápidas e intensas. Por serem fenômenos naturais, as inundações não podem ser evitadas, porém seus danos podem ser minimizados. Considerando a frequência deste tipo de evento em Santa Catarina, a estimativa dos danos relacionados a inundações é um dos importantes fatores a ser considerado nas ações de mitigação relativas às mesmas. O conhecimento sobre os danos provocados por inundações possibilita a melhoria das ações dos órgãos públicos, sejam no reordenamento do espaço urbano, proteção civil, no planejamento orçamentário anual ou a minimização dos prejuízos. Como referência para esse estudo foi utilizado o município de Timbó em Santa Catarina, localizado na Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí-açu. A escolha do município se deu em função do histórico de inundações e da disponibilidade de dados hidrológicos e cadastrais. O principal objetivo do presente trabalho foi elaborar e propor uma metodologia para estimar danos relacionados às inundações, utilizando como parâmetros a altura da água e dados cadastrais. A metodologia utiliza o modelo HAND (*Height Above the Nearest Drainage*) integrado ao TerraView para determinar as alturas da inundação, bem como Planta de Valores e Custo Unitário Básico para a estimativa de danos. Assim, para determinar a população exposta a eventos de diferentes magnitudes, foram utilizadas as alturas da água obtidas e população por setor censitário. Combinando a análise da população exposta e a estimativa de danos determinaram-se quais os setores censitários possuem maior risco. Posteriormente, realizou-se a comparação entre avaliações de danos para eventos de magnitude similar. Como resultados, foi observado que para um evento com tempo de retorno de 25 anos, similar ao ocorrido em 2011, os danos totais entre R\$ 0,00 e R\$ 2.904,04, ocupam 42% da área urbana. Enquanto danos com altos valores por m², que variam de R\$ 12.584,19 a R\$ 24.587,55 ocupam apenas aproximadamente 9%. Além disso, o padrão de distribuição espacial da população exposta e do risco indica maiores concentrações na área central e em seu entorno. Dessa maneira, desde que haja dados cadastrais atualizados, a presente metodologia pode ser aplicada em qualquer município brasileiro.

Palavras-chave: danos, HAND, inundação.

RESUMEN

Los desastres naturales están relacionados con el cambio de procesos inherentes a la dinámica terrestre. En el caso de las inundaciones, se destacan las precipitaciones prolongadas o precipitaciones rápidas e intensas. Por ser un fenómeno natural, las inundaciones no pueden ser evitadas, pero sus daños pueden ser minimizados. Considerando la frecuencia del evento adverso en Santa Catarina, la estimación de los daños relacionados con las inundaciones es uno de los factores importantes a considerar en las acciones de mitigación relativas a las mismas. El conocimiento de los daños provocados por las inundaciones posibilita la mejora de las acciones de los organismos públicos, sean en el reordenamiento del espacio urbano, protección civil, en la planificación presupuestaria anual o la minimización de los daños. Como referencia para ese estudio fue utilizado el municipio de Timbó en Santa Catarina, ubicado en la Cuenca Hidrográfica del río Itajaí-açu. La elección del municipio se dio en función del historial de inundaciones y disponibilidad de datos hidrológicos y catastrales. El principal objetivo de este trabajo fue elaborar y proponer una metodología para estimar daños asociadas a las inundaciones, utilizando los datos catastrales. La metodología utiliza el modelo HAND (*Height Above the Nearest Drainage*) integrado al Terraview para determinar las alturas de la inundación, así como la Planta de Valores y el Costo Unitario Básico para la determinación del daño. Así, para determinar la población expuesta a diferentes magnitudes, fueron utilizadas las manchas de inundación obtenidas y población por sector censitario. Combinando el análisis de la población expuesta y la estimación del daño se determinaron qué sectores censales tienen mayor riesgo. Posteriormente, se realizó una comparación entre evaluaciones de daños para eventos de magnitud similar. Como resultado, se observó que para un evento con tiempo de retorno de 25 años, similar al ocurrido en 2011, los daños total entre R\$ 0,00 y R\$ 2.904,04, ocupan el 42% del área urbana. En cuanto a daños con altos valores por m², que varían de R\$ 12.584,19 a R \$ 24.587,55 ocupan apenas aproximadamente el 9%. Además, el patrón de distribución espacial de la población expuesta y del riesgo indica mayores concentraciones en el área central y en su entorno. De esta manera, siempre que haya datos catastrales, la presente metodología puede ser aplicada en cualquier municipio brasileño.

Palabras-clave: daños, HAND, inundación.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Relações entre perigo, risco e vulnerabilidade.....	29
Figura 2 – Danos Humanos causados por desastres de inundação em Santa Catarina no período de 1991 a 2012.	44
Figura 3 – Danos Materiais causados por desastres de inundação em Santa Catarina no período de 1991 a 2012.	44
Figura 4 – Modelos para estimar danos.....	48
Figura 5 – Campos de informação AVADAN.	53
Figura 6 – Campos de informação FIDE.....	54
Figura 7 – Exemplo hipotético de curva de profundidade-dano em residência de um andar.....	59
Figura 8 – Diferentes tipos de mapas (A) mapa histórico de inundação; (B) Mancha de inundação; (C) Profundidade de inundação; (D) Mapa de perigo; (E) Mapa de risco; (F) Mapa de perdas econômicas.	64
Figura 9 – Zoneamento de áreas de inundação.	66
Figura 10 – Cruzamentos entre as manchas de inundação observadas e as manchas de inundação simuladas pelo modelo HAND.	70
Figura 11 – Localização de Timbó/SC.....	72
Figura 12 – Manchas de inundação em Timbó/SC.	75
Figura 13 – Planta de Valores da área urbana de Timbó/SC.....	80
Figura 14 – Setores censitários urbanos de Timbó e faixas de população absoluta.	82
Figura 15 – Alturas obtidas pelo HAND: a) Tr 5 anos, b) Tr 10 anos e c) Tr 25 anos.	86
Figura 16 – Valor (R\$/m ²) para a área urbana de Timbó/SC.	87
Figura 17 – Estimativa de dano para diferentes magnitudes: a) Tr 5 anos, b) Tr 10 anos e c) Tr 25 anos.	88
Figura 18 – População exposta para diferentes magnitudes: a) Tr 5 anos, b) Tr 10 anos e c) Tr 25 anos.	90
Figura 19 – Zoneamento de risco para diferentes magnitudes: a) Tr 5 anos, b) Tr 10 anos e c) Tr 25 anos.	91
Figura 20 – Comparação entre metodologias considerando população afetada e danos para Tr de 10 anos.	93
Figura 21 – Comparação entre metodologias considerando população afetada e danos para Tr de 25 anos.	94
Figura 22 – Curvas de danos para diferentes magnitudes: a) Tr 5 anos, b) Tr 10 anos e c) Tr 25 anos.	98

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação Brasileira de Desastres Naturais.....	32
Quadro 2 – Comparativo Desastres de Nível I e Nível II.....	37
Quadro 3 – Definição, características e diferenciação entre dano e prejuízo.	40
Quadro 4 – Tipologias de danos decorrentes de inundações em áreas urbanas.	42
Quadro 5 – Exemplos de modelos para avaliação de danos causados por inundações.	51
Quadro 6 – Relação profundidade-dano em residência típica.	60
Quadro 7 – Dados sugeridos para estimativa de danos.	61
Quadro 8 – Zonas de risco de inundação.	65
Quadro 9 – Situação (NA= Nível de Água).	76
Quadro 10 – Registros de reconhecimento de anormalidade em Timbó/SC.....	76
Quadro 11 – Dados dos danos e prejuízos dos registros de eventos AVADAN e FIDE.....	92
Quadro 12 – Análise comparativa entre estimativas no AVADAN e FIDE.	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Relações de porcentagem-profundidade para diferentes estruturas residenciais.....	50
Tabela 2 – Prejuízo representativo de cada residência associado a cada evento de inundação.....	55
Tabela 3 – Classes econômicas em função do nível de renda familiar média.....	55
Tabela 4 – Valores comparativos dos danos residenciais obtidos pelos métodos estatístico e econômico.....	57
Tabela 5 – Períodos de retorno para Timbó/SC.....	75
Tabela 6 – Ponderação do Fc com base na situação do lote.....	81
Tabela 7 – Especificações por tempo de retorno.....	86
Tabela 8 – Síntese pessoas expostas.....	90

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CEMADEN – Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais

CENAD – Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres

CEPED UFSC – Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres da Universidade Federal de Santa Catarina

CPTEC/INPE – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

CRED – Centro para Pesquisa sobre Epidemiologia de Desastres

COBRADE – Classificação e Codificação Brasileira De Desastres

COMDEC – Comissão Municipal de Defesa Civil

CONPDEC – Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil

EM-DAT – Emergency Events Database/Base de Dados Internacional sobre Desastres

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPT – Instituto de Pesquisas e Tecnologia

ISDR – Estratégia Internacional para Redução de Desastres

MI – Ministério da Integração Nacional

OFDA – Office of Foreign Disaster Assistance

ONU – Organização das Nações Unidas

PMRR – Planos Municipais de Redução de Riscos

PNDC – Política Nacional de Defesa Civil

PNPDEC – Política Nacional de Proteção e Defesa Civil

S2ID – Sistema Integrado de Informações sobre Desastres

SIG – Sistemas de Informação Geográfica

SINDEC – Sistema Nacional de Defesa Civil

SINPDEC – Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil

UNDRO – United Nations Disaster Relief Organization

UNISDR – Agência de Estratégia Internacional de Redução de Risco de Desastre - Nações Unidas

USAID – Agência Norte Americana para o Desenvolvimento Internacional

USGS – United States Geological Survey/Pesquisa Geológica dos Estados Unidos

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	23
1.1 OBJETIVOS	25
1.1.1 Objetivo geral.....	25
1.1.2 Objetivos específicos	25
2. REFERENCIAL TEÓRICO E CONCEITUAL	27
2.1 RISCO E SEUS COMPONENTES	27
2.2 DESASTRE NATURAL	30
2.2.1 Classificação	31
2.2.2 Classificação de danos e prejuízos.....	34
2.3 DANOS RELACIONADOS ÀS INUNDAÇÕES	40
2.3.1 Características das inundações.....	45
2.4 MÉTODOS PARA ESTIMAR DANOS.....	46
2.4.1 Avaliação de danos no Brasil.....	52
2.4.2 Curvas de danos	57
2.5 MÉTODOS PARA MAPEAMENTO DE INUNDAÇÕES	62
2.5.1 Height Above the Nearest Drainage - HAND.....	68
3. MATERIAIS E MÉTODOS	71
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	71
3.1.1 Município de Timbó	71
3.1.2 Histórico de inundações.....	74
3.1.3 Registros de reconhecimento de anormalidade.....	76
3.2 PROPOSTA METODOLÓGICA	77
3.2.1 Determinação da altura da água	77
3.2.2 Modelo de Estimativa de Danos	79
3.2.3 Análise da população exposta e do Risco	81
3.2.4 Comparação entre avaliações de danos.....	84
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	85
4.1 CENÁRIOS DE DANOS.....	85
4.2 POPULAÇÃO EXPOSTA E RISCO.....	89
4.3 ANÁLISES COMPARATIVAS	92
4.4 CURVAS DE DANOS	97
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	100
REFERÊNCIAS	102

1.INTRODUÇÃO

Em tempos de crescentes perdas ocasionadas por eventos adversos, a preocupação com os impactos dos desastres naturais sobre a sociedade mundial vem aumentando significativamente nos últimos anos. De acordo com a Estratégia Internacional para a Redução de Desastres da Organização das Nações Unidas (EIRD/ONU), desastre é uma séria interrupção do funcionamento de uma comunidade ou sociedade, que causa perdas humanas e/ou importantes impactos ou perdas materiais, econômicas ou ambientais que excedem a capacidade da comunidade ou sociedade afetada de lidar com a situação utilizando seus próprios recursos (UNISDR, 2009). De acordo com a EM-DAT - *The International Disaster Database* - um determinado evento extremo é considerado desastre, quando se verifica pelo menos uma das seguintes situações: 10 ou mais pessoas são dadas como vítimas mortais; 100 ou mais pessoas são registradas como afetadas; é declarado estado de emergência; e pedido de ajuda internacional (EM-DAT, 2018).

No Brasil, de maneira geral, os desastres estão desencadeados por fenômenos climáticos extremos, potencializados pelas ocupações irregulares. De acordo com Santos (2007, p.10), as inundações são responsáveis por um número elevado de perdas humanas e materiais todos os anos, “avalia-se que, no Brasil, os desastres naturais mais comuns são a seca, as inundações, a erosão e os escorregamentos ou deslizamentos de terra”.

O Estado de Santa Catarina, ao longo de sua história sempre foi afetado pelos desastres naturais, especialmente os relacionados a episódios pluviométricos extremos, como por exemplo, as inundações registradas no Vale do Itajaí (FRANK; PINHEIRO, 2003) e em Joinville (SILVEIRA et al., 2009), desde 1850. O Estado possui apenas o 20º maior território da nação, mas concentra a 11ª maior população e é o 3º Estado brasileiro em que mais são registrados desastres naturais, precedido apenas do Rio Grande do Sul e Minas Gerais. Dos dez municípios mais afetados no Brasil, oito são catarinenses. Dos cinco mil desastres registrados no Estado no período de 1991-2012, 44% (2.182) referem-se aos desastres hidrológicos (inundações e enxurradas), os quais afetaram aproximadamente 6,7 milhões de pessoas (TASCA et al., 2017)

A mesorregião do Vale do Itajaí é a mais afetada, com um total de 104 eventos extremos, correspondendo a 23% das ocorrências no Estado entre 1991 e 2012. As precipitações prolongadas, aliadas a ocupação muitas vezes irregular nas planícies de inundação, podem originar consequências negativas aos habitantes e às suas moradias por conta da

elevação dos rios.

Os principais danos provocados pelas inundações incluem perdas materiais e humanas, interrupção da atividade econômica e de serviços de infraestrutura, além de contaminação por doenças de veiculação hídrica. Por exemplo, aproximadamente 600 mil pessoas foram afetadas entre 1991 e 2012 devido à ocorrência de inundações em Santa Catarina. Com relação aos danos materiais foram registradas 420.777 construções e sistemas de infraestrutura atingidos (CEPED UFSC, 2013).

Diante desse cenário, a quantificação das consequências relacionadas aos eventos hidrológicos extremos é um dos importantes fatores a ser considerado nas ações de prevenção relacionadas aos desastres naturais. A estimativa dos danos esperados possibilita a melhoria das ações dos órgãos públicos, sejam no reordenamento do espaço urbano ou a minimização dos prejuízos (TACHINI, 2009). A avaliação econômica de danos tem o intuito de entender a dinâmica do evento adverso, mapear a população exposta e reduzir os danos. Nesse sentido, as medidas de prevenção requerem o conhecimento das consequências dos eventos adversos para o planejamento adequado do orçamento anual.

Assim, tendo em vista a importância do tema e a significativa ocorrência de eventos, buscou-se contribuir para a estimativa de danos associados a inundações. Como referência para esse estudo utilizou-se o município de Timbó em Santa Catarina, que vivenciou grandes inundações em sua história. A escolha do município se deu em função da disponibilidade de dados existentes a partir do plano de enchente realizado pela Prefeitura de Timbó e Fundação Universidade Regional de Blumenau (FURB) com o Centro de Operação do Sistema de Alerta da Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí-Açu (CEOPS).

A metodologia desenvolvida para aplicação do Modelo de Estimativa de Danos (MED) e mapeamento de risco associados a inundações utilizou o algoritmo HAND (*Height Above the Nearest Drainage*) que simula as áreas mais suscetíveis à inundação, bem como a planta de valores do município e o Custo Unitário Básico (CUB/m²) de uma propriedade padrão para análise de danos. Essas análises serviram como base para a determinação da população exposta e zoneamento de risco. A combinação dos procedimentos revela a relação entre estimativa de danos e risco social, de modo a permitir o conhecimento das consequências.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Propor um método de estimativa de danos e mapeamento de risco associados a inundações em áreas urbanas com base na planta de valores e altura da água e aplicá-lo no município de Timbó, no Estado de Santa Catarina.

1.1.2 Objetivos específicos

- a) Propor metodologia para estimativa de danos baseada em dados cadastrais e altura da água obtida pelo algoritmo HAND.
- b) Determinar população exposta por meio da altura da água e os setores censitários urbanos.
- c) Classificar a área urbana do município de Timbó em relação ao risco.
- d) Comparar metodologias de estimativa de danos em eventos de mesma magnitude.

2. REFERENCIAL TEÓRICO E CONCEITUAL

Serão apresentados, neste tópico, os conceitos sobre risco, desastre natural, danos relacionados às inundações, modelos de estimativa de danos e métodos para mapeamento de inundações visando contextualizar o estudo. Buscou-se proporcionar um entendimento global a respeito da temática dessa dissertação.

2.1 RISCO E SEUS COMPONENTES

O termo risco é conceituado como a probabilidade de ocorrências de danos, para uma área habitada em determinado tempo, em função do perigo e da vulnerabilidade (UNDP, 2004). Dessa maneira, o risco pode ser considerado a relação existente entre a probabilidade de que uma ameaça de evento adverso ou acidente determinado se concretize, com o grau de vulnerabilidade do sistema receptor a seus efeitos (BRASIL, 1999).

Segundo Alcántara-Ayala (2002), o termo perigo pode estar relacionado a diferentes agentes ou processos. Alguns desses incluem atmosférico, hidrológico, geológico, biológico e tecnológico. Especificamente, os perigos naturais são considerados dentro de uma concepção geológica e hidrometeorológica. As diferentes conceituações de perigos naturais evoluíram e também refletem a abordagem de diferentes disciplinas envolvidas em seu estudo.

Embora os conceitos de risco e perigo (do inglês *risk* e *hazard*, respectivamente) sejam confundidos, ainda que estejam de fato relacionados, possuem concepções distintas. Neste contexto, perigo refere-se um fenômeno físico natural ou atividade humana potencialmente prejudicial que pode causar a perda de vidas humanas ou ferimentos, danos à propriedade, ruptura social e econômica ou degradação ambiental em épocas e região conhecidas. Assim, perigos naturais (*natural hazards*) são processos ou fenômenos naturais que ocorrem na biosfera, podendo constituir um evento danoso e serem modificados pela atividade humana, tais como a degradação do ambiente e urbanização. Conforme consta no Marco de Sendai, os perigos incluem condições latentes que podem representar ameaças futuras e podem ter diferentes origens: naturais (geológicas, hidrometeorológicas e biológicas) ou induzidas por processos humanos (degradação ambiental e perigos tecnológicos) (UNISDR, 2009). Nesse sentido, os perigos referem-se à junção dos fenômenos naturais com os sistemas humanos e suas vulnerabilidades. Capazes de produzir danos ao espaço físico e social

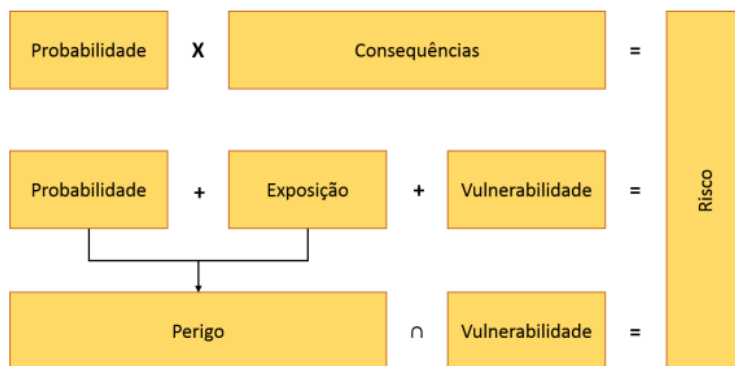
onde ocorrem, não apenas no momento de sua ocorrência, mas em longo prazo, devido às consequências associadas (ALCÁNTARA-AYALA, 2002).

Apesar de existir um consenso sobre os termos perigo e risco, ainda há muita incerteza sobre o que o termo vulnerabilidade abrange. A vulnerabilidade representa "uma condição ou processo humano resultante de fatores físicos, sociais, econômicos e ambientais, que determinam a probabilidade e a escala de danos do impacto de um determinado perigo" (UNDP, 2004) Muitas vezes a vulnerabilidade é traduzida em termos financeiros, admitindo-se que quanto maior os prejuízos causados por uma inundação maior a vulnerabilidade da área inundável em foco, considerando-se assim sempre uma mesma magnitude. Esse enfoque da análise de vulnerabilidade tem sido frequentemente questionado devido ao caráter redutor, onde apenas a dimensão econômica e financeira de um problema complexo é considerada, deixando de lado os reflexos sociais, políticos e ambientais. No entanto, nota-se uma tendência a avaliar a vulnerabilidade como uma expressão da fragilidade de um sistema socioeconômico face ao risco (MACHADO, 2005).

Diante disso, a vulnerabilidade é um conceito relativo que exprime a associação entre: o evento (expresso por variáveis como a profundidade e a duração de submersão, a velocidade de subida das águas); os bens expostos (quantidade e natureza); as atividades desenvolvidas na área inundável; a fragilidade dos bens à submersão e os recursos disponíveis para limitar os impactos, tais como o tempo de antecedência disponível para o alerta, a capacidade física e financeira dos responsáveis para agir, a existência de cobertura de seguros, entre outros (MACHADO, 2005).

Nesse sentido, tem-se que a vulnerabilidade deve ser sempre analisada em sua relação dinâmica com outros componentes da cadeia risco-perigo-vulnerabilidade (Figura 1).

Figura 1 – Relações entre perigo, risco e vulnerabilidade.



Fonte: adaptado de Messner et al. (2007).

Outro fator que influencia a vulnerabilidade é a percepção do risco, compreendida como o julgamento intuitivo de um indivíduo ou comunidade em relação ao risco que está submetido. E vai além de identificar risco como "probabilidade de risco", mas observar como são construídos os conceitos de risco em termos subjetivos (DOOGE, 1992). Tal concepção é baseada nas informações e experiências anteriores do indivíduo ou grupo social. A esse respeito, Whyte (1986) distingue três grupos de fatores que ampliam ou reduzem a percepção do risco: características pessoais (educação, gênero, idade), fatores situacionais (desconfiança nos gestores, impactos diretos/indiretos na população, previsão de situação incerta e controversa, recursos inadequados, exposição involuntária do indivíduo) e características de riscos (ameaça imediata, fenômeno nunca vivido antes, baixa probabilidade, desconhecimento de novo perigo).

Uma baixa percepção do risco, por exemplo, devido às inundações serem raras em determinado local ou da ausência de experiências anteriores favorece situações de emergência (ZONENSTEIN, 2007). A questão da percepção do risco é reconhecida como crucial para fornecer os meios mais eficazes a resistência ao risco e resiliência em comunidades por meio das políticas de gerenciamento de risco (MESSNER; MEYER, 2005).

Os riscos, os perigos e as vulnerabilidades devem ser reconhecidos como fenômenos altamente variáveis e instáveis. A integração aprimorada entre as dimensões técnicas da avaliação de risco e as questões correspondentes de vulnerabilidade social podem ser alcançadas considerando dois conjuntos de questões: função da natureza do fluxo de

informações e da transferência de conhecimento. Atualmente, o transporte de informações é realizado de cima para baixo, ou seja, de especialistas para o público. A maneira como o público entende essa informação é extremamente importante para determinar as percepções de risco, respostas comportamentais durante um evento de inundação e, portanto, a vulnerabilidade, individualmente e coletivamente. A eficácia das estratégias de gestão de risco envolverá avaliações técnicas da exposição ao risco combinadas com tentativas de reduzir a vulnerabilidade das comunidades em risco de inundações por meio de melhorias na disseminação do conhecimento. (BROWN; DAMERY, 2002)

A gestão de riscos e de desastres no Brasil foram instituídas pela Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), aprovada pela Lei n. 12.608, de 10 de abril de 2012. Suas ações podem ser compreendidas como um ciclo que inclui um esforço para prevenir, mitigar, preparar, responder e se recuperar de um desastre, objetivando reduzir os riscos de desastres e voltadas à proteção e defesa civil (BRASIL, 2012). O gerenciamento de riscos de inundações em assentamentos urbanos e em áreas de risco de inundação são fundamentais devido a alta concentração de pessoas e sistemas produtivos. As técnicas para prevenir danos causados pelas inundações em uma área de risco vão desde aviso prévio de que uma inundação pode ocorrer no futuro próximo, até a minimização de danos causados por inundações, como proteção de áreas de transbordamento (MENDIONDO, 2005).

2.2 DESASTRE NATURAL

Os termos “fenômeno natural” e “desastre natural” são comumente e erroneamente utilizados como sinônimos. Um fenômeno natural é toda manifestação da natureza, ou seja, refere-se a qualquer expressão que a natureza adota como resultado do seu próprio funcionamento interno. Há fenômenos que podem ter certa regularidade, como também podem existir aqueles de aparição extraordinária e surpreendente, os quais podem ser previsíveis ou imprevisíveis. Nesse sentido, a ocorrência de um “fenômeno natural”, seja ele previsível ou extraordinário, não necessariamente provoca um “desastre natural”. (MASKREY, 1993).

Os desastres naturais podem ser compreendidos como: “quando os fenômenos naturais atingem áreas ou regiões habitadas pelo homem, causando-lhe danos, passam a se chamar desastres naturais”. (TOMINAGA et al., 2009). Nesse sentido, a UNISDR (2009) conceitua

desastre como uma grave perturbação do funcionamento de uma comunidade ou de uma sociedade envolvendo perdas humanas, materiais, econômicas ou ambientais de grande extensão, cujos impactos excedem a capacidade da comunidade ou da sociedade afetada de arcar com seus próprios recursos.

Por fim, a conceituação adotada pela PNPDEC considera os desastres como “resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem, sobre um ecossistema vulnerável, causando danos humanos, materiais e ambientais, e consequentes prejuízos econômicos e sociais” (BRASIL, 2012).

Os desastres naturais seguem a duas categorizações: a classificação dos desastres (critérios: origem, natureza, evolução e intensidade) e classificação de danos e prejuízos. Enquanto os danos representam a intensidade das perdas humanas, materiais ou ambientais ocorridas, os prejuízos são a medida de perda relacionada com o valor econômico, social e patrimonial de um determinado bem, em circunstâncias de desastre (MARGARIDA, 2009).

2.2.1 Classificação

2.2.1.1 Classificação quanto à origem

Quanto à origem ou causa primária do agente causador, os desastres são classificados em naturais ou humanos (antropogênicos). Os desastres naturais são aqueles provocados por fenômenos e desequilíbrios da natureza e produzidos por fatores de origem externa que atuam independentemente da ação humana. Como exemplo, os desastres naturais, que podem originar-se pela dinâmica interna e externa da Terra, onde os decorrentes da dinâmica interna são terremotos, maremotos, vulcanismo e tsunamis. Enquanto os fenômenos da dinâmica externa envolvem inundações, erosão, escorregamentos, ventos fortes formando vendaval, tornado e furacão entre outros. Os Desastres Humanos são aqueles provocados por ações ou omissões humanas. Relacionam-se com o próprio homem, enquanto agente e autor. Esses desastres podem produzir situações capazes de gerar grandes danos à natureza, aos habitats humanos e ao homem, enquanto espécie. Essa classificação abriga três diferentes categorias de desastres tecnológico, sociais e os biológicos. Os desastres humanos são exemplificados pelos acidentes de trânsito, incêndios urbanos, contaminação de rios, pragas e epidemias, etc. (KOBAYAMA et al., 2006; MARCELINO, 2008).

2.2.1.2 Classificação quanto à natureza

A Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE) foi instituída por meio da Instrução Normativa nº 1, de 24 de agosto de 2012 e elaborada a partir da classificação utilizada pelo Banco de Dados Internacional de Desastres (EM-DAT). A classificação brasileira de 2012 foi criada com uma tentativa de padronizá-la com a classificação do Centro para Pesquisa sobre Epidemiologia de Desastres (CRED) e da Organização Mundial de Saúde (OMS/ONU). Além dos desastres constantes da classificação do EM-DAT, foram incluídos alguns desastres inerentes à realidade brasileira.

Em sua metodologia, o COBRADE prevê duas grandes categorias para desastres (naturais ou tecnológicos). Na categoria desastre natural, há cinco grupos, subdivididos em 13 subgrupos e mais de 20 tipos (Quadro 1).

Quadro 1 – Classificação Brasileira de Desastres Naturais.

Grupo	Subgrupo	Tipos
Geológico	Terremoto	Tremor de terra; Tsunami;
	Emanação	Quedas, Tombamentos e
	Vulcânica	Rolamentos; Deslizamentos;
	Movimento de	Erosão Costeira, de Margem
	Massa	Fluvial, Continental.
	Erosão	
Hidrológico	Inundações	
	Enxurradas	
	Alagamentos	
Meteorológico	Sistemas de	Ciclones; Tempestade Local;
	Grande Escala/	Frentes Frias; Onda de Calor e
	Escala Regional	Frio.
	Tempestades	
	Temperaturas	
	Extremas	
Climatológico	Seca	Estiagem; Incêndio Florestal;
		Baixa Umidade do Ar.
Biológico	Epidemias	Doenças Infeciosas Virais,
	Infestações/	Bacterianas, Parasíticas, Fungícas;
	Pragas	Infestações de Animais.

Fonte: adaptado de Brasil (2012b).

As inundações, que compõem o grupo dos desastres naturais hidrológicos, referem-se ao extravasamento das águas do canal de drenagem para as áreas da planície de inundação. As inundações ribeirinhas, segundo Tucci e Bertoni (2003), ocorrem quando a precipitação é intensa e o solo não tem capacidade de infiltrar, grande parte do volume escoar para o sistema de drenagem, superando sua capacidade natural de escoamento. O excesso de volume que não consegue ser drenado ocupa a várzea inundando de acordo com a topografia áreas próximas aos rios.

Nesta dissertação, admitem-se os pressupostos conceituais propostos em Brasil (2007) e Goerl e Kobiyama (2005), para os quais a inundação é o extravasamento das águas do canal de drenagem para as áreas marginais, ou seja, quando a água do canal ou rio extravasa acima do nível máximo da calha principal, ocorrendo assim o extravasamento das águas para as áreas marginais - planície de inundação, várzea ou leito maior do rio. Enquanto as enchentes ou cheias ocorrem quando as águas do rio se elevam até a altura de suas margens, contudo sem transbordar nas áreas adjacentes.

Segundo Tucci (2002), a ocorrência de eventos de inundação depende das características físicas e climatológicas da bacia hidrográfica, especialmente da distribuição espacial e temporal da chuva. Além disso, podem ser intensificadas pelo processo de urbanização com a impermeabilização do solo e canalização dos rios.

2.2.1.3 Classificação quando à intensidade

A intensidade de um desastre consiste da interação entre a magnitude do evento adverso e a vulnerabilidade do sistema, sendo quantificada em função de danos e prejuízos. (BRASIL, 1999). Assim, a avaliação da intensidade dos desastres e sua classificação em relação aos danos são fundamentais para facilitar o planejamento da resposta e da recuperação da área atingida, ao estabelecer ações e recursos necessários ao socorro às vítimas.

De acordo com a Instrução Normativa nº 1, de 24 de agosto de 2012, do Ministério da Integração Nacional, que estabelece critérios para a declaração de situação de emergência e de estado de calamidade pública por meio de seu artigo 3º classifica os desastres em dois níveis, nível I - desastres de média intensidade; nível II - desastres de grande intensidade.

São desastres de nível I aqueles em que os danos e prejuízos são suportáveis e superáveis pelos governos locais e a situação de normalidade pode ser restabelecida com os recursos mobilizados em nível

local ou complementados com o aporte de recursos estaduais e federais. Os desastres de nível II são aqueles em que os danos e prejuízos não são superáveis e suportáveis pelos governos locais, mesmo quando bem preparados. Neste caso o restabelecimento da situação de normalidade depende da mobilização e da ação coordenada das três esferas de atuação do Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e, em algumas situações, de ajuda internacional. Os desastres de nível I ensejam a decretação de situação de emergência, enquanto os desastres de nível II a de estado de calamidade pública (BRASIL, 2012b, p. 30).

Como se observa, a classificação dos desastres quanto à sua intensidade faz-se por meio da determinação da proporção dos fatores referentes a danos e prejuízos, alinhando-se com a capacidade do governo local e a resiliência da comunidade afetada. Anteriormente à classificação dos desastres em relação à intensidade descrita em Kobiyama et al. (2006) adaptado de Brasil (1999) estabelecia quatro níveis com critérios especificados pelo Produto Interno Bruto (PIB) municipal. Onde, Nível I - Desastres de pequeno porte, prejuízo menor que 5% PIB municipal. Nível II - De média intensidade, prejuízos entre 5% e 10% PIB municipal. Nível III - De grande intensidade, com danos importantes e prejuízos vultosos, situação de emergência. Prejuízos entre 10% e 30% PIB municipal. E nível IV - De grande intensidade com impactos muito significativos e prejuízos muito vultosos, calamidade pública. Prejuízos maiores que 30% PIB municipal.

2.2.2 Classificação de danos e prejuízos

A intensidade dos desastres pode ser medida em função da importância e da severidade dos danos humanos, materiais e ambientais e dos consequentes prejuízos econômicos e sociais. Os danos causados pelos desastres são geralmente classificados em humanos, materiais e ambientais; enquanto os prejuízos são classificados em econômicos e sociais (BRASIL, 1999).

Segundo o Manual de Defesa Civil (MARGARIDA, 2009), os danos humanos são dimensionados em função do número de pessoas afetadas pelos desastres; os danos materiais são dimensionados em função do número de unidades danificadas e destruídas e do valor estimado para a reconstrução ou recuperação das mesmas; e os danos ambientais contribuem de forma importante para o agravamento dos desastres e são medidos quantitativamente em função do volume de recursos financeiros necessários à reabilitação do meio ambiente. Em relação aos prejuízos, os

econômicos são avaliados em função da perda de atividade econômica existente ou potencial. E os sociais são caracterizados em função da queda do nível de bem-estar da comunidade afetada e do incremento de riscos à saúde e à incolumidade da população. Os prejuízos sociais são mensurados em função dos recursos necessários para permitir o restabelecimento dos serviços essenciais.

O Quadro 2 apresenta o comparativo entre os dois níveis, onde Nível I: ocorrência de pelo menos dois dos danos descritos, que no seu conjunto importem no prejuízo econômico público, ou no prejuízo econômico privado, e comprovadamente afetem a capacidade do poder público local de responder e gerenciar a crise instalada. Nível II: ocorrência de pelo menos dois dos danos descritos, que no seu conjunto importem no prejuízo econômico público, ou no prejuízo econômico privado, e comprovadamente afetem a capacidade do poder público local de responder e gerenciar a crise instalada. Nas categorias danos humanos e materiais, a ocorrência de apenas umas das condições já satisfaz o registro no nível I ou II.

Quadro 2 – Comparativo Desastres de Nível I e Nível II.

	Nível I	Nível II
Danos Humanos	De um a nove mortos; Ou até noventa e nove pessoas afetadas.	Dez ou mais mortos; Ou cem ou mais pessoas afetadas.
Danos Materiais	De uma a nove instalações públicas de saúde, de ensino ou prestadoras de outros serviços danificadas ou destruídas; Ou de uma a nove unidades habitacionais danificadas ou destruídas; Ou de uma a nove obras de infraestrutura danificadas ou destruídas; Ou de uma a nove instalações públicas de uso comunitário danificadas ou destruídas.	Dez ou mais instalações públicas de saúde, de ensino ou prestadoras de outros serviços danificadas ou destruídas; Ou dez ou mais unidades habitacionais danificadas ou destruídas; Ou dez ou mais obras de infraestrutura danificadas ou destruídas; Ou dez ou mais instalações públicas de uso comunitário danificadas ou destruídas.
Danos Ambientais	Poliuição ou contaminação, recuperável em curto prazo, do ar, da água ou do solo, prejudicando a saúde e o abastecimento de 10% a 20% da população de municípios com até dez mil habitantes e de 5% a 10% da população de municípios com mais dez mil habitantes; Diminuição ou exaurimento sazonal e temporário da água, prejudicando o abastecimento de 10% a 20% da população de municípios com até 10.000 habitantes e de 5% a 10% da população de municípios com mais de 10.000 habitantes; Destruição de até 40% de Parques, Áreas de Proteção Ambiental e Áreas de Preservação Permanente Nacionais, Estaduais ou Municipais.	Poliuição e contaminação recuperável em médio e longo prazo do ar, da água ou do solo, prejudicando a saúde e o abastecimento de mais de 20% da população de municípios com até 10.000 habitantes e de mais de 10% da população de municípios com mais de 10.000 habitantes; Diminuição ou exaurimento em longo prazo da água, prejudicando o abastecimento de mais de 20% da população de municípios com até dez mil habitantes e de mais de 10% da população de municípios com mais de 10.000 habitantes; Destruição de mais de 40% de Parques, Áreas de Proteção Ambiental e Áreas de Preservação Permanente Nacionais, Estaduais ou Municipais.
Prejuízos Econômicos Públicos	Que ultrapassem 2,77% da receita corrente líquida anual do Município, do Distrito Federal ou do Estado atingido, relacionados com o colapso dos seguintes serviços essenciais: I – assistência médica, saúde pública e atendimento de emergências médico-cirúrgicas; II – abastecimento de água potável; III – esgoto de águas pluviais e sistema de esgotos sanitários; IV – sistema de limpeza urbana e de recolhimento e destinação do lixo; V – sistema de desinfestação e desinfecção do habitat e de controle de pragas e vetores; VI – geração e distribuição de energia elétrica; VII – telecomunicações; VIII – transportes locais, regionais e de longas distâncias; IX – distribuição de combustíveis, especialmente os de uso doméstico; X – segurança pública; XI – ensino.	Prejuízos econômicos públicos que ultrapassem 8,33% da receita corrente líquida anual do Município, do Distrito Federal ou do Estado atingido, relacionados com o colapso dos seguintes serviços essenciais: I – assistência médica, saúde pública e atendimento de emergências médico-cirúrgicas; II – abastecimento de água potável; III – esgoto de águas pluviais e sistema de esgotos sanitários; IV – sistema de limpeza urbana e de recolhimento e destinação do lixo; V – sistema de desinfestação e desinfecção do habitat e de controle de pragas e vetores; VI – geração e distribuição de energia elétrica; VII – telecomunicações; VIII – transportes locais, regionais e de longas distâncias; IX – distribuição de combustíveis, especialmente os de uso doméstico; X – segurança pública; XI – ensino.
Prejuízos Econômicos Privados	Prejuízos econômicos privados que ultrapassem 8,33% da receita corrente líquida anual do Município, do Distrito Federal ou do Estado atingido.	Que ultrapassem 24,93% da receita corrente líquida anual do Município, do Distrito Federal ou do Estado atingido.

Fonte: adaptado de Brasil (2012).

O dano pode ser compreendido como a medida que define a intensidade ou a severidade, perda humana, material ou ambiental, física ou funcional imposta/infligida às pessoas, comunidades, instituições, instalações e aos ecossistemas, como consequência de um evento adverso (ALCANTARA et al., 2009). Enquanto o prejuízo é definido como a medida de perda relacionada ao valor econômico, social e patrimonial, de um determinado bem, em circunstâncias de desastres (BRASIL, 2012b).

A respeito dos termos danos e prejuízos, Tachini (2009) descreve que se os danos puderem ser quantificados e se forem atribuídos valores monetários, os mesmos podem ser caracterizados em “prejuízos”, porém deve-se ter a clareza de que o termo prejuízo está expressando monetariamente os danos. A metodologia de avaliação de Prejuízos e Danos inicialmente desenvolvida pela Comissão Econômica das Nações Unidas para a América Latina e o Caribe (UNESCAP, 1972) adotou como classificação as seguintes definições de dano e prejuízo (Quadro 3).

Quadro 3 – Definição, características e diferenciação entre dano e prejuízo.

Danos	<p>Destruição total ou parcial de bens físicos existentes na área afetada.</p> <p>Os danos ocorrem durante e imediatamente após o fenômeno natural que causa o desastre, e é medido em unidades físicas (ou seja, metros quadrados de habitação, quilômetros de estradas, etc.).</p> <p>Seu valor monetário é expresso em termos de custos de reposição prevalecentes imediatamente antes do evento.</p>
Prejuízos	<p>Mudanças temporárias nos fluxos econômicos decorrentes da catástrofe de inundações.</p> <p>Os prejuízos ocorrem desde a época do desastre até que a recuperação econômica e a reconstrução completas tenham sido alcançadas, em alguns casos durando vários anos.</p> <p>Os prejuízos típicos incluem o declínio temporário da produção e o aumento dos custos de produção nos setores produtivos da agricultura, pecuária, pesca, indústria, comércio e turismo; (Educação, saúde, electricidade, abastecimento de água e saneamento, transportes e comunicações), bem como as despesas inesperadas para satisfazer as necessidades de assistência humanitária na fase de emergência. Os prejuízos são expressas em valores correntes.</p>

Fonte: WMO/GWP (2013).

2.3 DANOS RELACIONADOS ÀS INUNDAÇÕES

Eventos de inundações podem causar incidentes de pequena proporção, colapso nos serviços e até perdas de vidas humanas por sinistros ou doenças de veiculação hídrica. O escoamento superficial das

águas pluviais se combina com os efluentes domésticos que contêm sais minerais, matéria orgânica, restos de compostos não biodegradáveis e microrganismos patogênicos. Essa combinação expõe a população a inúmeras doenças de veiculação hídrica como leptospirose, hepatite A, hepatite E, doenças diarreicas, febre tifoide e cólera. Concomitante ocorre o aumento da proliferação de vetores de doenças: ratos, mosquitos e de animais peçonhentos, como aranhas e escorpiões, que são responsáveis por outras enfermidades. As consequências das inundações podem perdurar por meses, caso não se tome às devidas providências de desinfecção e dedetização nos locais atingidos (DUARTE, 2015).

Além dos danos à saúde física, existem os danos à saúde psicológica da população, devido ao estresse decorrente das dificuldades enfrentadas no momento das inundações. Penning-Roswell; Chatterton (1977) identificam dois tipos de ansiedade: a ansiedade gerada pela possibilidade de uma inundação acontecer (*threat anxiety*) e a ansiedade durante o evento de inundação (*event anxiety*). A primeira é frequente e pode se manifestar em uma situação de alerta, pelo fato de se estar ocupando um local potencialmente inundável, e está relacionada também ao desconforto com a frequência das inundações. Já o segundo tipo de ansiedade é por evento, que pode ser mais intensa que a anterior, porém tem curta duração.

A interrupção temporária dos serviços é uma das consequências imediatas das inundações e responsável pelo desencadeamento de uma série de contrariedades relacionadas ao sistema de transportes, aos veículos e a segurança pública. Assim como a interrupção do atendimento à infraestrutura básica - motivada pela ruptura do saneamento básico, de serviços de telefonia e energia, danos aos sistemas viários - ou como a paralisação de atividades comerciais e produção econômica. A contabilização das perdas de bens, como móveis e eletrodomésticos e danos à edificação, desvalorização no mercado, custos extras com serviços emergenciais, como resgate, evacuação e assistência aos desalojados e desabrigados, também devem ser contabilizados nos prejuízos causados pelas inundações. Tem-se o efeito mais drástico, a possibilidade de morte iminente devido à alta probabilidade de afogamentos, colisões de veículos, choques elétricos ou deslizamentos de terra (NAGEM, 2008).

Muitos autores propuseram classificações para os tipos de danos provocados pelas inundações, as quais são amplamente utilizadas (USACE, 2006; MESSNER et al., 2007). Os danos por inundação podem ser categorizados em tangíveis e intangíveis e subclassificados em diretos ou indiretos (DERM, 2002). Os danos intangíveis são classificados como

danos morais, caracterizados pela impossibilidade de mensurar e restituir o bem ao estado anterior. Os danos tangíveis podem ser especificados em diretos, resultantes do contato das águas da inundação com os bens, e indiretos, advindos em consequência da ocorrência do evento extremo (POLIDO, 2005). O Quadro 4 traz o esquema resumido dos danos.

Quadro 4 – Tipologias de danos decorrentes de inundações em áreas urbanas.

Setor	Danos Tangíveis		Danos Intangíveis	
	Diretos	Indiretos	Diretos	Indiretos
Habitacional	Danos físicos a construção, estrutura e seu conteúdo	Custos de limpeza, alojamento e medicamentos	Perdas de vidas humanas.	Estados psicológicos de estresse e ansiedade. Danos de longo prazo à saúde.
Comércio e Serviços	Danos físicos a construção, estrutura e seu conteúdo. Perdas ou danos a estoque	Custos de limpeza, lucros cessantes e Desemprego.	Perdas de vidas humanas.	Estados psicológicos de estresse e falta de motivação. Danos de longo prazo à saúde.
Industrial	Danos físicos a construção, estrutura e seu conteúdo Perdas ou danos a estoque de matéria prima e produtos acabados	Custos de limpeza, lucros cessantes e Desemprego.	Perdas de vidas humanas.	Estados psicológicos de estresse e falta de motivação. Danos de longo prazo à saúde.
Equipamentos públicos e serviços	Danos físicos a construção, estrutura e seu conteúdo	Custos de limpeza, e de interrupção de serviços. Custos dos serviços de emergência.	Perdas de vidas humanas.	Estados psicológicos de estresse, ansiedade e falta de motivação. Danos de longo prazo à saúde. Inconvenientes de interrupção de serviços
Infraestrutura	Danos físicos ao patrimônio	Custos de limpeza, e de interrupção de serviços.	Perdas de vidas humanas.	Inconvenientes de interrupção de serviços.
Patrimônio histórico e cultural	Danos físicos ao patrimônio	Custos de limpeza, e de interrupção de serviços.	Perdas de vidas humanas.	Inconvenientes de interrupção de serviços.

Fonte: Machado (2005)

Na literatura, a disponibilidade de dados, informações e modelos enfatiza os danos diretos causados ao setor habitacional e, em menor parte, industrial, comercial e de serviços. O setor de serviços públicos e de infraestrutura inclui instituições de saúde, ensino, lazer, redes viárias, elétrica, sanitária, equipamentos e outras. A alteração ou interrupção desses serviços implica em danos indiretos e, por vezes, em danos diretos. Em geral, a estimativa das consequências costuma levar em conta apenas efeitos diretos e tangíveis. Os danos indiretos, especialmente sobre a economia local, ainda que muito significativos, deixam de ser analisados

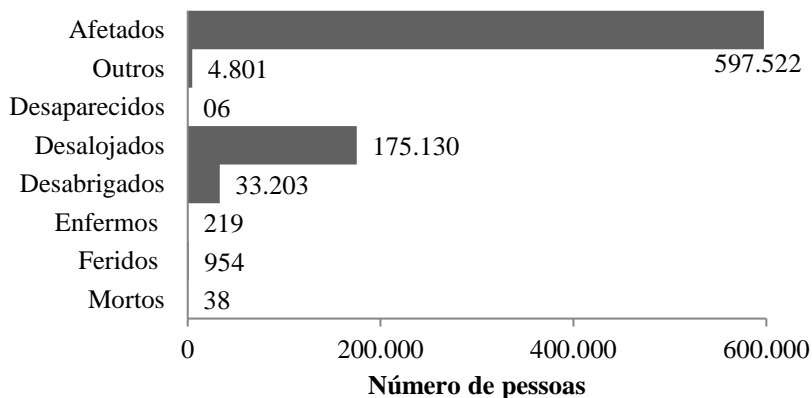
por causa da falta de dados empíricos e das dificuldades em comprovar sua relação com outros efeitos diretos da inundação (MACHADO, 2005).

Segundo o relatório de danos materiais e prejuízos decorrentes de desastres naturais no Brasil (CEPED UFSC, 2016), entre os anos de 1995 e 2014, foram contabilizadas perdas totais de R\$ 182,7 bilhões, sendo que R\$ 137,3 bilhões se referem aos prejuízos públicos e privados informados e R\$ 45,4 bilhões aos danos materiais. Os danos materiais de maior relevância que foram reportados são os relacionados à infraestrutura, representando 59% do total. Os relacionados a habitações representam aproximadamente 36% do total, enquanto 5% se referem aos danos verificados em instalações de saúde, de ensino, comunitárias, entre outras.

As perdas tangíveis diretas decorrentes de inundações, em âmbito nacional, foram estimadas em U\$ 1 bilhão em 2001. No ano de 2004, esse valor aumentou para U\$ 3 bilhões (PROHIMET; CYTED; WMO, 2007). De 2008 a 2011, os desastres foram responsáveis por 15 bilhões em prejuízo ao país, sendo o setor habitacional o mais afetado, acumulando prejuízos na ordem de sete bilhões. Considerando-se os eventos de Santa Catarina, em 2008; Pernambuco e Alagoas, em 2010; e Região Serrana do Rio de Janeiro, em 2011, os prejuízos econômicos destes eventos foram estimados na ordem de R\$ 15,5 bilhões (CEPED UFSC, 2016). No entanto, ainda há poucos investimentos, tanto em medidas estruturais quanto em medidas não estruturais, na maioria dos locais atingidos. A ausência de investimentos significativos em planejamento representa a vulnerabilidade da população às consequências das inundações.

O termo desalojado designa uma pessoa que foi obrigada a abandonar temporariamente ou definitivamente sua habitação, em função de evacuações preventivas, destruição ou avaria grave, decorrentes do desastre, e que, não necessariamente, carece de abrigo provido pelo Sistema. Enquanto desabrigado refere-se à pessoa cuja habitação foi afetada por dano ou ameaça de dano e que necessita de abrigo provido pelo Estado. As Figuras 2 e 3 apresentam os danos humanos e os danos materiais, respectivamente, em Santa Catarina no período entre 1991 e 2012.

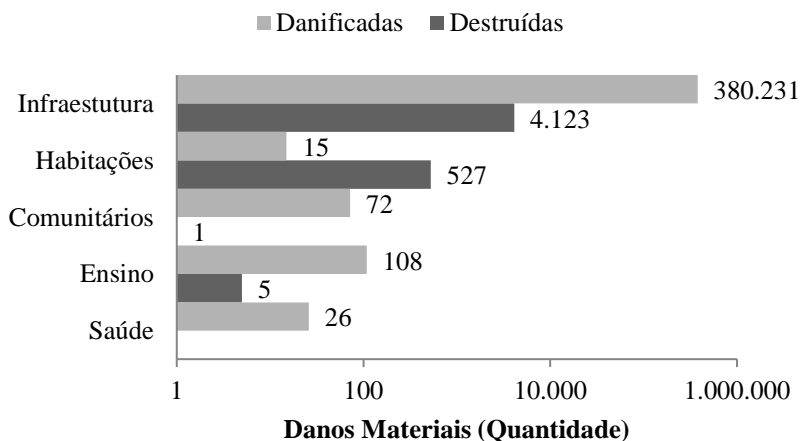
Figura 2 – Danos Humanos causados por desastres de inundação em Santa Catarina no período de 1991 a 2012.



Fonte: Brasil (2013).

Com relação aos danos materiais, o Estado de Santa Catarina registrou 420.777 construções e sistemas de infraestrutura atingidos (CEPED UFSC, 2013).

Figura 3 – Danos Materiais causados por desastres de inundação em Santa Catarina no período de 1991 a 2012.



Fonte: Brasil (2013).

2.3.1 Características das inundações

Existem vários parâmetros que podem ser usados para determinar os efeitos negativos de uma inundação. Os danos provocados dependem de uma série de variáveis e evidenciam o grau de complexidade existente na tentativa de aferir seus custos (SALGADO, 1995; MESSNER et al., 2007). Entre as características mais comuns utilizadas estão a altura, velocidade e duração da inundação. Além disso, a frequência do evento e a taxa em que a água sobe também são críticos aos gestores de emergência responsáveis pela evacuação. Outras características da área atingida, como potencial para gerar carga de poluentes (matéria orgânica, sedimentos e detritos), topografia, tipo de ocupação (uso da terra) e perfil socioeconômico também podem entrar nos parâmetros de avaliação do dano.

2.3.1.1 Altura da água

A principal característica considerada para a estimativa de danos causados pelas inundações é a altura da cheia (cota ou profundidade). Por meio da altura pode-se determinar se a água encherá as ruas, chegará às calçadas ou se invadirá o interior das residências, associando-a também à perda de bens móveis, interrupção de atividades econômicas, comprometimento da estrutura de edificações devido à pressão lateral exercida nas paredes, dentre outros. O uso da altura como parâmetro do modelo de dano é comumente aplicado pela possibilidade de serem medidas marcas nas paredes das construções após um evento e por sua comprovada relevância. Por isso, é comum que esta seja a característica mais frequentemente considerada na avaliação do dano e é amplamente aplicada em funções que buscam quantificar custos diretos (ZONSEIN, 2007; KREIBICH et al., 2009).

Os danos aumentam significativamente quando a água sobe acima do nível do piso, podendo danificar a estrutura da edificação quando atinge profundidades acima de 1,00 m. (PROVERBS; SOETANTO, 2004).

2.3.1.2 Velocidade

A determinação da velocidade de inundação é obtida por modelagem hidráulica ou medições de eventos históricos. Por meio de modelos hidráulicos, os sistemas ribeirinhos são modelados para

determinar a elevação de uma determinada inundação, como a cota e a extensão das inundações. As ferramentas de modelagem também fornecem informações sobre cenários de inundação, incluindo as velocidades do fluxo em locais específicos da seção transversal. Outra fonte potencial de velocidades de inundação são relatórios pós-inundação. Tal documentação pode incluir informações sobre danos observados, elevação de inundações, velocidade da água e outras características (FEMA, 2013).

Geralmente assume-se que quanto maior é a velocidade da água, maior é a probabilidade de danos estruturais na edificação (PROVERBS; SOETANTO, 2004)

2.3.1.3 Duração

A duração da inundação pode ser um fator importante para danos, por exemplo devido aos custos associados a moradia, emergência, interrupção de negócios e das cadeias de suprimento (JONKMAN, 2008). Inundações de duração curta (horas) causam entre 10% e 50% menos danos do que inundações de duração longa (dias), uma vez que a água não tem tempo de penetrar o reboco e os tijolos (PENNING-ROUSELL; CHATTERTON, 1977).

2.3.1.4 Frequência de inundações

Após um longo período entre eventos hidrológicos extremos é comum que as pessoas que ocupam áreas propensas a inundar esqueçam que estão suscetíveis e deixem de se prevenir. Ainda nos casos que há ocorrência de inundações depois de determinados períodos, é possível que danos anteriores não tenham sido devidamente reparados e por isso, os prejuízos sejam potencializados (SALGADO, 1995; NAGEM, 2008).

2.4 MÉTODOS PARA ESTIMAR DANOS

Os métodos de estimativas de danos são relativamente frequentes na literatura internacional e não muito comuns no Brasil. Estudos pioneiros sobre avaliações de danos gerados por inundações datam o ano de 1956, desenvolvidos por Gilbert White, que buscou avaliar os aspectos físicos dos danos produzidos por inundações e em análises das estratégias de ajustamento ao problema. Estudos subsequentes foram desenvolvidos por Eckstein em 1958 com curvas históricas de danos, James em 1965 e Bhavnagri e Bugliarello em 1965 com equações simplificadas. Vários

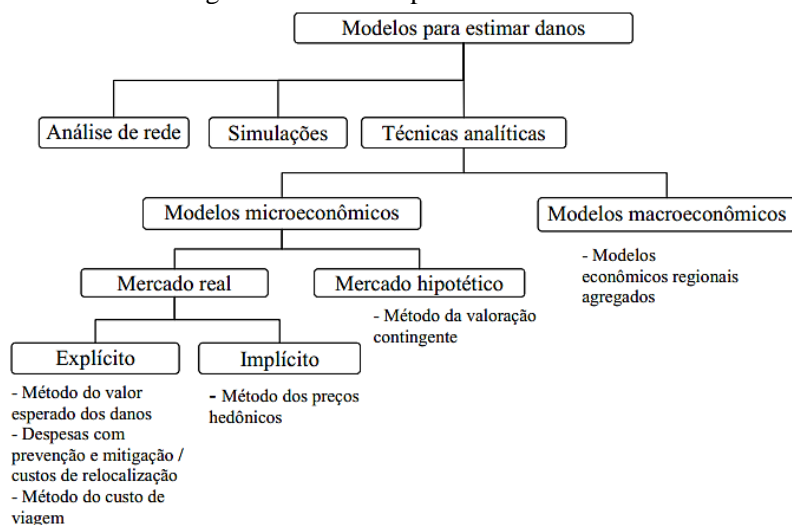
países da Europa tiveram estudos de avaliação dos danos iniciados na década de 1970. Com destaque aos estudos de Penning-Rowse; Chatterton (1977) que abordam a metodologia das curvas de profundidade por dano, e tiveram notável evolução e utilização na avaliação de danos diretos por inundações (TUCCI, 2000).

De acordo com Penning-Rowse; Chatterton (1977), existem dois métodos básicos para o cálculo dos danos causados por inundações. O primeiro método consiste na abordagem histórica: procura resgatar os danos históricos, a partir do conhecimento de pessoas, administradores das indústrias e comerciantes têm sobre seus imóveis ou atividades afetados por inundações e, a partir disso, estimar os danos. A principal desvantagem deste método é que a evolução temporal de características socioeconômicas, da rede de drenagem, de planos de alerta e de emergência podem tornar-se limitador a aplicação da metodologia. O segundo método é a abordagem sintética: os danos são calculados para inundações hipotéticas por meio de simulações que consideram as características socioeconômicas, definição de parâmetros representativos como: área, padrão de acabamento e conteúdo residencial. Assim, o dano é obtido a partir da elaboração das funções-danos (ou curvas empíricas de danos), normalmente relacionada com a profundidade de inundação. Um dos inconvenientes deste método é que a padronização da metodologia pode não ser adequada para todas condições, como nos casos de rompimento de barragens, nível de urbanização ou característica morfológica.

Nessa perspectiva, existem métodos de valoração de danos para se estimar as perdas econômicas nos setores sociais (moradia, educação e cultura e saúde), infraestrutura de serviços considerando os setores de transporte e comunicação, energia e água e saneamento. Além disso, há também métodos para estimar danos ao meio ambiente, efeitos macroeconômicos e efeitos transversais aos distintos setores. Como por exemplo, há o método DaLa (*Damage and Loss Assessment*), desenvolvido em 2003 pela CEPAL (*Comisión Económica para América Latina y el Caribe*) para avaliação dos danos e perdas causados por eventos naturais com base nos conceitos apresentados pela UNDRR (*United Nations Disaster Relief Organization*). Além de possibilitar levantamentos de danos e perdas nos setores produtivos com efeitos na agricultura, pecuária, pesca, indústria, comércio e turismo, essa metodologia permite dimensionar o montante necessário para a reconstrução, gerenciamento de risco e políticas públicas direcionadas à prevenção de riscos de desastres naturais (CORSI, 2012).

Além desses, estão o método dos preços hedônicos, a valoração contingente e a criação de curvas ajustadas que mostram a relação entre danos e profundidade. Observam-se na literatura, tradicionalmente, dois tipos principais de modelos analíticos utilizados para estimativas de danos relacionados à inundação: microeconômicos e macroeconômicos (Figura 4). Os modelos microeconômicos são subdivididos entre modelos que utilizam o mercado real como base de análise (método do valor esperado dos danos ou método dos preços hedônicos) e os que usam mercados hipotéticos (método da valoração contingente). Nos modelos macroeconômicos, têm-se os modelos regionais e de equilíbrio geral (CANÇADO, 2009).

Figura 4 – Modelos para estimar danos.



Fonte: Cançado (2009).

O método do valor esperado de danos define quais seriam os danos da propriedade se esta sofresse uma inundação e depende de um inventário de bens locais, traçando uma relação entre as características das inundações e respectivos danos. Em análises *a posteriori* ou *a priori* é fundamental o estabelecimento de uma metodologia para a valoração dos bens da região atingida pela inundação; este valor estimado será equivalente ao dano evitado caso as medidas de controle de inundação sejam tomadas. Sua disseminação, como medida de mitigação, deve-se a dois aspectos básicos: 1) são usadas no modelo informações hidrológicas

habitualmente obtidas para o planejamento público e 2) o método tem uma fundamentação lógica simples: se os gastos correntes com um projeto de controle forem menores do que o valor presente dos danos futuros evitados, justifica-se a sua implantação (CANÇADO, 2009; FADEL, 2015).

Conforme Canholi (2005), o valor esperado é definido como o produto da probabilidade de excedência da vazão de projeto ou de ocorrência do dano, associada à aplicação da alternativa ou nível de proteção e do valor do custo-benefício e/ou dos danos evitados na alternativa ou proteção.

Os métodos conceituais incorporam técnicas de análise econômica como o método dos preços hedônicos, também denominado método de preço implícito, sendo fundamentado no princípio que o mercado é capaz de incorporar o risco de inundações. Além disso, o método tem por base identificação das características que interferem no preço de um bem no mercado, ou seja, existe a incorporação pelo mercado imobiliário dos custos associados a regiões inundáveis ou não. Portanto, a diferença entre os valores de imóveis similares, por exemplo, nessas duas áreas seria equivalente ao custo de inundação. Utilizam-se com frequência os preços de propriedade/terra, por manifestarem as características naturais e socioeconômicas da área, assim como a memória de inundações passadas. O método dos preços hedônicos é um método de valoração econômica antiga e com ampla utilização (CANÇADO, 2009; FADEL, 2015).

Luino (2009) desenvolveu um método que pudesse permitir a avaliação em tempo real da potencial perda direta econômica devido a um evento extremo. O método requer um conhecimento profundo da área local, juntamente com descrições de alguns aspectos físicos do evento natural. Quando um fenômeno de determinada intensidade afeta uma área, o valor das perdas econômicas ligadas aos danos diretos depende do número e valor econômico das unidades expostas de cada elemento na área e do grau de dano, variando de 0 = não danificado 1 = completamente danificado.

O método pode ser usado para estimar o dano causado pelo impacto das inundações em elementos expostos (dano direto) e quantificar a perda econômica resultante (dano tangível). A metodologia para estimativa de danos causados pela inundação pode ser resumida em:

- definição de área inundada e nível de água (esta definição é implementada por medições em tempo real ou por simulação de eventos com um modelo hidráulico),
- identificação de ativos danificados na área inundada,

- avaliação do grau de dano aos elementos expostos em função da magnitude do evento identificado a partir da medição das profundidades das águas de inundação,
- atribuição de valor econômico aos ativos expostos,
- quantificação de perdas econômicas, multiplicando o valor econômico de ativos danificados e o grau de dano.

A abordagem proposta por Olivieri; Santoro (2000) considera o dano relacionado a uma porcentagem, dependente da profundidade da água e do valor total da propriedade.

A Tabela 1 contém exemplos de relações de porcentagem-profundidade referente aos danos para algumas estruturas residenciais. Na primeira coluna têm-se as categorias de estrutura e na segunda linha do quadro os 15 níveis de submersão e respectivos percentuais de danos.

Tabela 1 – Relações de porcentagem-profundidade para diferentes estruturas residenciais.

Estrutura residencial	Profundidade (m)														
	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	3,0	3,3	3,6	3,9	4,2	4,5
1 pavimen to com subsolo	8	20	23	28	33	38	44	49	51	53	55	57	59	60	60
1 pavimen to sem subsolo	0	14	26	28	29	41	43	44	45	46	47	48	49	50	50
1-2 pvtos com subsolo	1	17	22	28	33	35	38	40	44	46	48	50	52	54	56
1-2 pvtos sem subsolo	9	13	18	20	22	24	26	31	36	38	40	42	44	46	47

Fonte: Olivieri; Santoro (2000).

Outros métodos para auxiliar a avaliação dos danos causados pelas inundações são modelos que colocam valores econômicos sobre a probabilidade do evento. A fim de ajudar os planejadores na estimativa dos benefícios das medidas de proteção, em termos de danos causados pela inundação. O Quadro 5 apresenta diversos modelos internacionalmente aceitos que foram desenvolvidos, ao longo dos anos, por diferentes países.

Quadro 5 – Exemplos de modelos para avaliação de danos causados por inundações.

Modelo	Elaboração	País
HAZUS-MH (<i>Hazard United States - Multiple Hazards</i>)	<i>Federal Emergency Management Agency (FEMA)</i>	Estados Unidos
Damage Scanner Model	KLIJN et al., 2007	Estados Unidos
HEC-FDA (<i>Hydrologic Engineering Center's Flood Damage Analysis</i>)	<i>U.S. Army Corps of Engineers (USACE)</i>	Estados Unidos
ESTDAM	<i>Flood Hazard Research Center (FHRC) da Universidade de Middlesex</i>	Reino Unido
MSF (Modelling and Decision Support Framework)	HR Wallingford, Halcrow, CEH Wallingford and <i>Flood Hazard Research Centre (FHRC)</i>	Reino Unido
Multicoloured manual	PENNING-ROUSELL et al., 2005a,b	Reino Unido
ANUFLOOD	<i>Center for Resource and Environmental Studies (CRES) da Universidade Natural da Austrália (ANU)</i>	Austrália
FloodAUS	<i>Natural Hazards Research Center, da Universidade Maccquire</i>	Austrália
RAM	<i>NRE</i>	Austrália
HOWAS	<i>Bavarian Water Management Agency de Munique</i>	Alemanha
Kalypso Risk	<i>Institute of Hydraulic Engineering at the Technical University of Hamburg-Harburg.</i>	Alemanha
Hydrotec	EMSCHERGENOSSENSCHAFT & HYDROTEC, 2004	Alemanha

FLEMOps <i>(Flood Loss Estimation Model for the private sector)</i>	German Research Centre for Geosciences, APEL et al., 2009; VOROGUSHYN et al., 2012	Alemanha
---	---	----------

Fonte: adaptado de Nagem (2008).

2.4.1 Avaliação de danos no Brasil

No Brasil ainda não existe uma metodologia padrão para avaliação de danos relacionados aos desastres naturais, sendo a valoração de danos mais usual aquela referente somente aos prejuízos sofridos por um município após um evento extremo. Para tanto, a Instrução Normativa GM/MI n. 1, de 24 de agosto de 2012, estabelece procedimentos e critérios para a decretação de situação de emergência ou estado de calamidade pública pelos Municípios, Estados e Distrito Federal. Até a publicação da mesma instrução normativa, o registro oficial de um desastre poderia ocorrer pela emissão de três documentos distintos: Notificação Preliminar de Desastre (NOPRED), Avaliação de Danos (AVADAN) ou Decreto Municipal.

Nos formulários AVADAN são informados a área afetada, os danos humanos, materiais, ambientais e danos sociais e econômicos. As áreas afetadas, divididas em urbana e rural, e referem-se a residencial, comercial, industrial, agrícola, pecuária, extrativismo vegetal, reserva florestal ou APA, mineração, turismo e outras. Os danos diretos compreendem os danos humanos e danos materiais. Enquanto os danos indiretos compreendem os danos ambientais, danos econômicos e sociais. A Figura 5 resume os campos de informação do formulário AVADAN.

Figura 5 – Campos de informação AVADAN.

Danos humanos	<ul style="list-style-type: none"> • Número de pessoas desalojadas, desabrigadas, deslocados, desaparecidas, feridas, enfermas, mortas e afetadas (0 a 14 anos, 15 a 64 anos, acima de 65 anos e gestantes)
Danos materiais	<ul style="list-style-type: none"> • Número de edificações como residências, comércios, de saúde e ensino, em infraestrutura pública, particular, comunitárias, e outras (danificadas ou destruídas).
Danos ambientais	<ul style="list-style-type: none"> • Danos estimados aos recursos naturais: água, solo, ar, flora e fauna
Danos econômicos	<ul style="list-style-type: none"> • Danos estimados aos setores da economia, como agricultura, pecuária, indústria e serviços
Danos sociais	<ul style="list-style-type: none"> • Danos estimados aos serviços essenciais, como saneamento básico, energia elétrica, transporte, comunicações, gás, saúde, educação e alimentos básicos.

Fonte: adaptado de CEPED UFSC (2014).

A distinção feita entre dano econômico e social estabelece que os danos econômicos indicam todos os prejuízos que podem ser quantificados em termos monetários, como danos aos setores da economia (agricultura, pecuária, indústria e serviços). Enquanto os danos sociais, os serviços essenciais, como saneamento básico, energia elétrica, transporte, saúde, educação e alimentos básicos, indicam as consequências a população. Sendo esses mais difíceis de serem traduzidos monetariamente.

Recentemente, o NOPRED e o AVADAN foram substituídos por um único documento, o Formulário de Informações do Desastre (FIDE). Onde o encaminhamento com informações acerca da situação após o evento extremo fica a cargo do município, a fim de iniciar o processo de transferência de recursos federais para a reconstrução da área afetada. Cabe a cada município a valoração do prejuízo sofrido, apesar de não existir metodologia padrão de valoração adequada à realidade brasileira.

Com a implementação da Instrução Normativa Nº 01 de 24 de agosto de 2012, os danos econômicos e sociais passam a ser denominados prejuízos econômicos e são classificados em duas categorias: públicos e privados. O FIDE requer informações relacionadas aos danos e prejuízos decorrentes do evento, possibilitando uma avaliação preliminar

dos danos e o levantamento inicial das necessidades. Sendo assim, o FIDE permite o levantamento de informações em termos quantitativos e qualitativos para auxiliar o ente federativo afetado pelo desastre na solicitação de recurso à União. Os principais campos de informações no formulário sobre danos e prejuízos encontram-se na Figura 6.

Figura 6 – Campos de informação FIDE.

Danos humanos	<ul style="list-style-type: none">• Quantidade de mortos, feridos, enfermos, desabrigados, desalojados, desaparecidos e outras pessoas que foram diretamente afetadas pelo desastre.
Danos materiais	<ul style="list-style-type: none">• Quantidade de instalações de ensino, saúde, uso comercial ou comunitário, unidades habitacionais ou de obras de infraestrutura danificadas ou destruídas pelo desastre.
Danos ambientais	<ul style="list-style-type: none">• Alterações ocorridas no meio ambiente que comprometeram a qualidade ambiental em decorrência direta dos efeitos do desastre.
Prejuízos econômicos públicos	<ul style="list-style-type: none">• Valor estimado de prejuízos econômicos públicos relacionados com os serviços essenciais prejudicados. Valor total dos prejuízos econômicos públicos.
Prejuízos econômicos privados	<ul style="list-style-type: none">• Valor das perdas nos setores da agricultura, pecuária, indústria, comércio e serviços ocorridos em decorrência direta dos efeitos do desastre. Valor total dos prejuízos privados.

Fonte: adaptado de CEPED UFSC (2014).

Nessa perspectiva, no que concerne aos modelos de danos aplicados no Brasil, destacam-se os trabalhos de Salgado (1995), Lima (2003), Machado et al. (2005), Nagem (2008), Tachini (2010), Jonov (2012) e Fadel (2015). Estes trabalhos foram aplicados no contexto brasileiro e também incorporam uma síntese importante sobre possíveis danos causados por inundações e sua utilização pode ser bastante ampla, especialmente em áreas como planejamento urbano, criação de planos de emergência de inundações, proteção local de áreas vulneráveis (por exemplo, por medidas de proteção contra inundações), entre outros.

Salgado (1995) elaborou funções de prejuízo que estimam os danos para unidades residenciais (conteúdo e edificações) a partir de dados coletados em bacias urbanas no Estado do Rio de Janeiro. O modelo proposto para avaliação econômica de projetos de drenagem e controle de inundações foi desenvolvido como ferramenta de análise de projetos. Além disso, este modelo permite o cálculo dos prejuízos

associados às inundações e o cálculo dos benefícios econômicos gerados por diferentes alternativas de projeto, principalmente a verificação da viabilidade econômica de planos alternativos por meio da análise custo-benefício.

No tocante ao prejuízo representativo de cada unidade residencial, associado a cada evento de inundação, calculado pelo modelo, encontra-se apresentado na Tabela 2. O valor esperado do prejuízo anual de cada residência é de R\$ 1.121,00 e o valor médio dos bens (edificação e conteúdo) de cada domicílio é de R\$ 1.100,00.

Tabela 2 – Prejuízo representativo de cada residência associado a cada evento de inundação.

Tempo de recorrência (anos)	2	5	10	20	50	100
Prejuízo representativo (R\$)	1.190,00	1.473,00	1.853,00	2.223,00	2.464,00	2.705,00

Fontes: Salgado (1995).

Os estudos realizados por Machado (2005), Lima (2003) e Nascimento (2006) elaboraram curvas-dano para a categoria residencial, a partir da aplicação de questionários na área de estudo no município de Itajubá/MG. Os autores definiram generalizações, como o estabelecimento de classes socioeconômicas. A classe socioeconômica obtida pela aplicação do Critério Brasil (Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa - ABEP, 2007), foi empregada como um indicador indireto de poder aquisitivo. O Critério Brasil adota cinco classes socioeconômicas A, B, C, D e E, (Tabela 3) em ordem decrescente de poder aquisitivo.

Tabela 3 – Classes econômicas em função do nível de renda familiar média.

Classes	Renda Familiar Média (R\$)
A1	9.733,47
A2	6.563,73
B1	3.479,36
B2	2.012,67
C1	1.194,53
C2	726,26

D	484,97
E	276,70

Fonte: ABEP (2007).

Nagem (2008) propôs uma metodologia simplificada e prática para determinar os custos das inundações, julgados mais representativos, nas bacias urbanas do país. A principal característica foi determinar os custos causados pelas cheias urbanas de forma sistemática, com dados de domínio público, de fácil obtenção e com simples aplicação, como forma de prover mais uma ferramenta de apoio à decisão, no tocante aos problemas de drenagem urbana.

Para tal, a autora elaborou modelagem matemática para gerar as curvas nível-prejuízo, ou seja, relacionar as alturas de inundação com os prejuízos causados pelas cheias em áreas urbanizadas, usando como ferramenta base o mapeamento das áreas inundáveis dos distintos cenários. O indicador utilizado nas avaliações econômicas foi o valor esperado anual, calculado por meio do produto dos benefícios das intervenções em relação a um determinado evento pela probabilidade deste evento ocorrer em um ano, ou seja, o inverso do tempo de recorrência.

Tachini (2010) apresenta um método de avaliação quantitativo dos danos associados às inundações em áreas urbanas aplicado ao município de Blumenau, no Estado de Santa Catarina, no qual, os danos às propriedades residenciais foram aqueles relativos à sua estrutura e aos seus conteúdos. Os danos à edificação correspondem às características construtivas e os danos ao conteúdo se referem aos bens de consumo (mobiliários e eletrodomésticos), localizados no interior da residência. Dessa forma, a análise dos danos ocorreu a partir de uma abordagem sintética, sendo que os danos das edificações foram estimados com base num imóvel padrão, tipo unifamiliar e de um pavimento. Com os dados obtidos nas entrevistas, realizaram-se duas abordagens das dimensões quantitativas dos danos: (i) análise estatística dos dados das entrevistas aplicadas para as categorias residenciais e comércio/serviços e, (ii) avaliação socioeconômica dos danos, a partir do desenvolvimento de equações que envolvem as áreas construídas das edificações, seus conteúdos e os custos da limpeza dos imóveis. Os danos residenciais foram analisados pelos dois métodos (Tabela 4) e os danos comerciais somente pelo método estatístico.

Tabela 4 – Valores comparativos dos danos residenciais obtidos pelos métodos estatístico e econômico.

Níveis de submersão (m)	Estatístico	Econômico	Diferença¹ (%)
0,5	73.906,59	916.941,30	91,94
1,5	215.573,52	1.724.587,99	87,50
2,5	628.792,93	3.243.614,11	80,61
3,5	1.834.086,82	6.100.606,38	69,94
4,5	5.349.733,32	11.474.052,40	53,38
5,5	15.604.303,07	21.580.457,79	27,69
6,5	45.515.217,19	40.588.637,92	-12,14
7,5	132.760.494,79	76.339.322,56	-73,91
8,5	387.240.796,91	143.579.397,27	-169,70

Nota: 1 (1) (Dano econômico – Dano estatístico)/Dano econômico

Fonte: Tachini (2010).

Jonov (2012) elaborou uma metodologia para a avaliação dos custos de recuperação dos danos causados às edificações por inundações por meio de análises de eventos e conhecimento das patologias decorrentes. As etapas para desenvolvimento do trabalho envolveram pesquisa bibliográfica relativa ao tema no Brasil e no exterior, e o estudo de caso, com realização de pesquisa de campo e vistorias em edificações de regiões historicamente inundáveis no município de Belo Horizonte.

A autora adotou três tipologias de projetos de casa de forma a representar edificações situadas em áreas sujeitas a inundações na região escolhida para o estudo de caso. Com tais tipologias de projetos foram elaborados orçamentos e quantificados custos de recuperação de patologias para diferentes profundidades de inundação, levantados os custos de adoção de alternativas de proteção para tornar as edificações mais resilientes, bem como os custos de recuperação das afecções nas diversas profundidades com as alternativas de proteção implantadas.

2.4.2 Curvas de danos

Uma ideia central na estimativa de danos é o conceito de funções de dano ou curvas de dano que são aceitos internacionalmente como a abordagem padrão para avaliar as perdas de inundação urbana (KREIBICH et al., 2009; SMITH, 1994). Esses modelos têm em comum que o dano monetário direto está relacionado principalmente ao tipo ou uso do edifício e à profundidade de inundação (SMITH, 1994; MERZ;

THIEKEN, 2004).

As curvas de danos consistem em modelos matemáticos que relacionam uma característica da inundação (e.g. altura da água, velocidade, duração, etc.) com o dano potencialmente causado por essa mesma característica nos elementos expostos. Ou seja, representam a suscetibilidade ao dano dos elementos expostos como resultado da magnitude do evento. São habitualmente obtidas com recurso a informações de perdas causadas por inundações com determinadas características observadas no passado (DIAS, 2014). O processo tradicional de quantificação dos danos causados pelas inundações é baseado na inter-relação de funções hidrológicas (função descarga-probabilidade), hidráulicas (função profundidade-descarga) e econômicas (função profundidade-danos) (PENNING-ROSWELL; CHATTERTON, 1977).

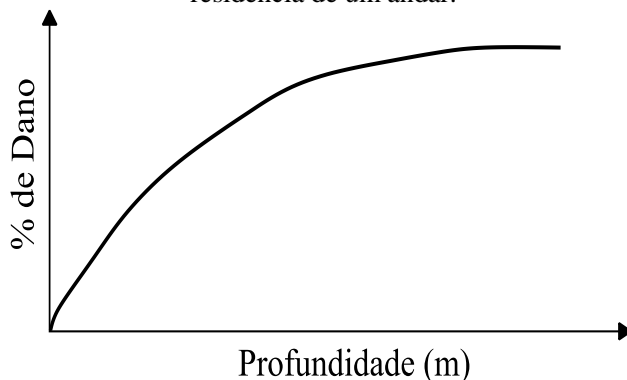
As curvas profundidade-danos são representações gráficas de danos esperados de determinada profundidade de inundação. Tais curvas são tipicamente usadas para habitação e outras estruturas, onde a profundidade refere-se à altura da água dentro de um edifício e o dano refere-se ao dano esperado como resultado dessa altura da água (EMA, 2002).

Essas curvas são produzidas com base em características locais que permitem estimar as perdas econômicas decorrentes de danos às construções e seu conteúdo, perdas de estoque, interrupção de serviços, etc. Elas podem ser construídas a partir de dados empíricos ou sintéticos. Para a abordagem empírica é necessário um grande número de amostras, coletadas durante campanhas de campo, realizadas após a inundação. São verificadas as informações sobre a altura atingida pela inundação e o valor associado aos prejuízos. A curva profundidade-dano é, então, elaborada por regressão. A construção da curva sintética pode ser inferida a partir da sobreposição de mapas de inundação (elaborados para diferentes alturas de inundação) e de mapas de uso e ocupação da terra (ZONSEIN, 2007).

Segundo Machado (2005), nos métodos de avaliação direta, busca-se elaborar uma descrição detalhada e precisa do conjunto de impactos gerados por inundações, tomando por base inventários de danos em zonas sinistradas (avaliação *a posteriori*) ou construção de cenários de danos a partir da definição detalhada de danos causados por inundações (avaliação *a priori*). Busca-se estabelecer relações funcionais entre os danos de inundações e variáveis hidráulicas associadas às inundações, tais como a profundidade, a duração e a velocidade de escoamentos (Figura 7). A avaliação direta pode compreender tanto danos diretos quanto

indiretos, embora os maiores progressos metodológicos tenham se dado no caso dos danos diretos.

Figura 7 – Exemplo hipotético de curva de profundidade-dano em residência de um andar.



Fonte: elaborado pela autora.

Na construção de curvas de profundidade-dano, deve-se ter em conta sua validade relativamente curta, principalmente em razão do progresso tecnológico ou pelo fator de mudanças do mercado. Por exemplo, aumento da infraestrutura local pode conduzir a um uso mais intenso das áreas construídas, tanto no setor habitacional como no de comércio e serviços, resultando no aumento de bens de conteúdo expostos.

O National Research Council (2000) reconhece incertezas quanto à construção dessas curvas, que incluem:

- diversidade das atividades e condições econômicas na planície de inundação;
- valor da propriedade e dos bens quando da inundação;
- tempo de alerta e resposta dos habitantes da planície de inundação;
- características físicas do rio;
- tempo necessário para reparar a propriedade sinistrada;

Penning-Rowsell; Chatterton (1977) confeccionaram 168 curvas de altura de inundação x danos para propriedades residenciais, considerando: 21 categorias básicas de unidades residenciais, 5 alturas de inundação, 4 tipos de classes sociais e 2 durações de cheias (menores e maiores que 12 horas). A utilização do banco de dados das abordagens

históricas apresentou desvantagem na elaboração das curvas-padrão, pois os danos podem ser superestimados ou subestimados e espelham as características daquele instante (condições socioeconômicas).

Devido evolução temporal de características, como conteúdos das residências, em relação a classe social do proprietário, o uso dessa metodologia compromete os resultados da estimativa dos danos (NRC, 2000)

Nos EUA, entidades como *Soil Conservation Service – SCS, U.S. Army Corps of Engineers – USACE e Federal Insurance Administration – FIA* relacionaram, para diferentes tipos de residência, a porcentagem de dano em relação ao valor total de edificação, para diferentes profundidades de inundação (Quadro 6). Embora essas porcentagens não se adaptem necessariamente às condições brasileiras, podendo acarretar distorções significativas na quantificação dos danos, devido às diferenças socioeconômicas e culturais entre a sociedade brasileira e a dos outros países (CANHOLI, 2015), este método permite visualizar a perdas associadas às inundações.

Quadro 6 – Relação profundidade-dano em residência típica.

Altura água (m)	Dano estrutural	% Dano estrutural	Conteúdo Danificado	% Conteúdo Danificado	Danos típicos
0	\$8.000	8	\$6.200	12	Primeiro andar, piso molhado
0,30	\$17.000	11	\$10.00	20	Móveis, instalações, paredes, tomadas elétricas danificadas
0,61	\$17.000	17	\$14.000	28	Carpintaria, portas danificadas
0,91	\$22.000	22	\$17.000	34	Redecoração, janelas, vestuário, equipamentos eletrônicos
1,22	\$28.000	28	\$21.000	42	Eletrodomésticos danificados
1,52	\$33.000	33	\$23.000	46	Pinturas danificadas
1,83	\$35.000	35	\$23.400	47	Reboco
2,13	\$38.000	38	\$23.700	47	
2,44	\$40.000	40	\$24.000	48	Teto
2,74	\$45.000	45	\$26.000	52	Segundo andar
3,05	\$50.000	50	\$28.000	56	Similar ao primeiro andar

Altura água (m)	Dano estrutural	% Dano estrutural	Conteúdo Danificado	% Conteúdo Danificado	Danos típicos
3,35	\$52.000	52	\$30.000	60	Similar ao primeiro andar
3,66	\$54.000	54	\$32.500	65	Similar ao primeiro andar

Fonte: adaptado de USACE (1992).

Dispõe-se na literatura de alguns índices que são normalmente utilizados para estimar os danos ocasionados pela inundação. Assim, há alguns valores típicos, como os propostos por Canholi (2015), dispostos no Quadro 7, que podem ser utilizados quando faltarem informações objetivas para a área em estudo.

Quadro 7 – Dados sugeridos para estimativa de danos.

Temática de estudo	Perda
Áreas Industriais Inundadas	R\$ 460,00/m ² de área industrial, por evento de inundação
Imóveis Residenciais com risco de inundação	R\$150,00 a R\$ 1000/mês no aluguel, de acordo com o padrão da edificação
Congestionamento (custos de operação dos veículos)¹	Veículos particulares: de R\$ 1,00/km até R\$ 3,00/km Veículos comerciais (caminhões): de R\$ 6,00/km até R\$ 18,00/km
Passageiros e Motoristas	Veículos particulares: R\$ 38,00/hora/passageiro Ônibus e caminhões: R\$ 19,00/hora/passageiro

Fonte: Adaptado de Canholi (2015).

O Relatório do Departamento de Divisão de Recursos Hídricos do Gerenciamento de Inundações apresenta o Modelo de Avaliação de Inundações Rápidas (*Flood Rapid Assessment Model - F-RAM*). O modelo baseia-se no uso de relações de profundidade-dano que atribuem

¹ Para a determinação dos valores totais dos prejuízos, deve-se dispor de uma estimativa de quantidades e tipos de veículos a serem afetados, bem como do tempo de congestionamento. (CANHOLI, 2015)

uma porcentagem de dano relacionada a uma determinada profundidade de água, tomando com base eventos pretéritos. Estas curvas são usadas para estimar danos diretos a edifícios residenciais, comerciais e industriais. Os dados de entrada consistem em mapas de uso da terra e zonas de parcela da área de estudo. As curvas permitem estimar os danos aos edifícios e seus conteúdos e, quando aplicados a diferentes cenários, permitem comparação do impacto (ALBANO, 2014).

2.5 MÉTODOS PARA MAPEAMENTO DE INUNDAÇÕES

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) tem sido objeto de várias definições. Alguns autores tomam por base as características tecnológicas e na funcionalidade genérica destes sistemas para distingui-los de outros tipos de sistemas. Segundo Câmara (1996), o termo Sistemas de Informação Geográfica é aplicado para sistemas que realizam o processamento de dados geográficos de diversas fontes. A partir destes conceitos, é possível indicar as principais características de SIG:

- inserir e integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de meio físico-biótico, de dados censitários, cartográficos, hidrológicos de cadastros urbano e rural, e outras fontes de dados como modelos digitais do terreno e GPS.
- oferecer mecanismos para combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação e análise, bem como para consultar, recuperar e visualizar o conteúdo da base de dados geográficos.

Por meio do SIG pode-se também realizar análises espaciais, a partir da distribuição espacial de dados e fenômenos, manipulação e otimização das informações obtidas, assim como a aplicação de análises qualitativas e quantitativas (NRC, 2007). As diferentes perspectivas traduzem conceitos distintos e refletem essencialmente diferentes aplicações dos SIG e interesses diversos dos seus muitos utilizadores. Frequentemente, um mesmo SIG deve servir simultaneamente em diferentes objetivos e vários tipos de utilizadores (ABRANTES, 1998).

Há basicamente três processos em que os SIG podem auxiliar a tomada de decisão: pré-processamento e preparação de dados (ex. bancos de dados espaciais); uso direto das ferramentas de análise espacial para avaliação dos dados; e pós-processamento dos dados e resultados (ex. mapas de risco).

O uso de Sistemas de Informação Geográfica no mapeamento de inundações, assim como para a aplicação de medidas relacionadas à

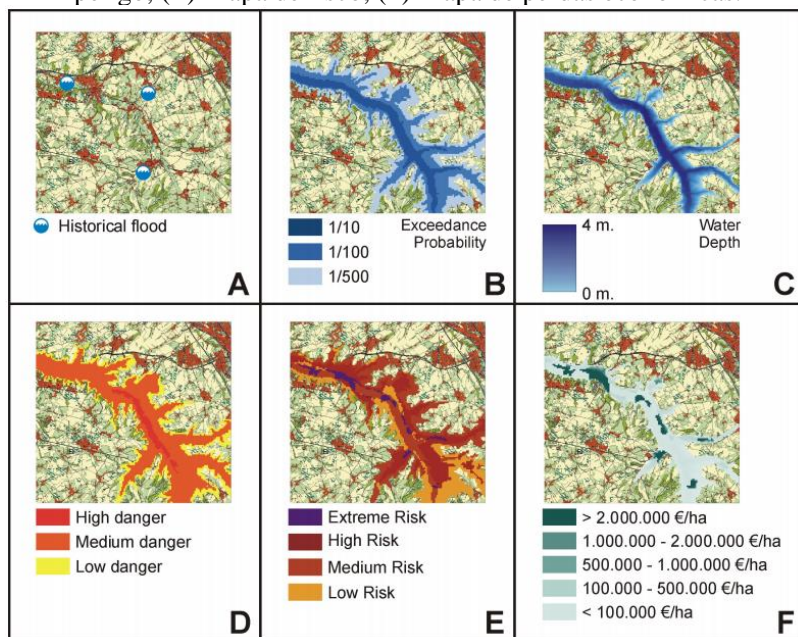
gestão do risco de desastres, é uma realidade que vem sendo utilizado com maior frequência, devido à melhoria tecnológica, disponibilidade de dados, entre outros fatores. Além da análise de cenários para previsão de desastres naturais, os SIGs também permitem avaliar e estimar a quantidade de bens, pessoas e propriedades atingidas por meio da combinação de mapas de inundação e de potencial de danos. Por seu dinamismo, a ferramenta também possibilita o monitoramento de risco de cheia em tempo real, diminuindo o tempo de resposta em casos de emergência.

Segundo Tucci (2003), a gestão do risco à inundação acontece por meio da utilização de medidas de controle da inundação que visam tornar mínimo o risco das populações expostas, diminuindo os danos causados. Essas medidas podem ser do tipo estrutural e não estrutural. As medidas estruturais são obras de engenharia que podem ser implantadas visando à correção e/ou prevenção dos problemas decorrentes de desastres naturais. São fundamentais para a avaliação, controle e gestão dos impactos causados pelas inundações dentro dos municípios. Contudo, são medidas onerosas. Enquanto as não estruturais correspondem a redução do risco por meio de mecanismos de controle e fiscalização para evitar a edificação em áreas suscetíveis à ocorrência de grande impacto. As medidas não estruturais destacam-se pela tentativa de diminuir os danos em função da melhor convivência da população com as cheias. Dentre estas medidas, as principais são as preventivas podendo ser citadas: previsão e alerta de inundação; zoneamento das áreas de risco de inundação; seguro e proteção individual contra inundação; cartas geotécnicas de aptidão à urbanização e mapeamentos das áreas suscetíveis à ocorrência de inundações ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos.

De acordo com Moel (2009), ao avaliar o perigo de inundação, uma primeira indicação pode ser obtida observando o histórico de inundações (Figura 8a) e sua magnitude. Com o advento das imagens de sensoriamento remoto e modelos digitais do terreno os tipos de mapas de inundação diversificaram-se: mapas de extensão (Figura 8b), mostram as áreas inundadas de um evento específico, que pode ser um evento histórico ou hipotético; os mapas de profundidade (Figura 8c), especificam as profundidades da inundação mostrando a profundidade de inundação máxima (ou média) por pixel e subsidiam estudos sobre os danos provocados, por exemplo, em residências e veículos; mapas de perigo de inundação (Figura 8d), geralmente relacionam diferentes parâmetros de inundação em uma única medida para o "perigo", são utilizados dois eixos para relacionar os parâmetros de inundação, por

exemplo, profundidade, velocidade, período de retorno e vulnerabilidade; mapas de risco (Figura 8e), classificando zonas de baixo a alto perigo de inundação; e por fim os mapas de perdas econômicas (Figura 8f) que representam os prejuízos estimados no caso de um evento extremo.

Figura 8 – Diferentes tipos de mapas (A) mapa histórico de inundação; (B) Mancha de inundação; (C) Profundidade de inundação; (D) Mapa de perigo; (E) Mapa de risco; (F) Mapa de perdas econômicas.



Fonte: adaptado de Moel (2009)

De acordo com a definição proposta pela Comissão das Comunidades Europeias (2006), os mapas de risco de inundação mostram os danos potenciais causados por eventos de inundações, expressos em termos de prejuízos. Podem ainda possuir informações sobre população afetada e danos ao meio ambiente. Em sua elaboração são necessários os mapas de inundação e de uso e ocupação da terra, bem como as curvas de danos por categoria de uso e ocupação.

Outra importante medida não estrutural é o zoneamento de áreas risco que objetiva evitar maiores prejuízos à população, associando faixas de uso a diferentes riscos de ocorrência de cheias. Para zonas de maior risco não deve ser permitido habitações, apenas áreas de recreação, e para

zonas de médio risco, a permissão para construções deve ser liberada caso se adote precauções especiais (NAGEM, 2008).

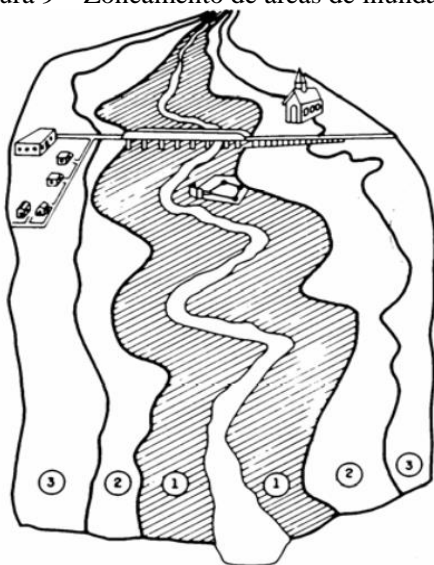
WRC (1971) considerou três faixas de risco de inundação: zona de passagem de enchentes (faixa 1), zona com restrições (faixa 2) e zona de baixo risco (faixa 3). Suas características são descritas no Quadro 8 e o zoneamento ilustrado na Figura 9.

Quadro 8 – Zonas de risco de inundação.

Faixas de inundação	Características
Zona de passagem de enchentes (faixa 1)	Tem alto risco de inundação. Trata-se de uma região que deve ficar liberada para funcionar hidraulicamente e, portanto, não deve ser permitida nenhuma nova construção nessa faixa e as edificações já existentes devem ser realocadas.
Zona com restrições (faixa 2)	Essa faixa sofre inundações com tempo de recorrência da ordem de 5 a 25 anos. Os usos da terra para essa faixa devem ser: áreas de lazer, habitações com mais de um piso, áreas industriais e comércio.
Zona de baixo risco (faixa 3)	São atingidas apenas por cheias excepcionais, com período de retorno de 50 a 100 anos. Existe uma pequena possibilidade de esta faixa sofrer com os danos causados pelas inundações, portanto não necessita de regulamentação quanto às cheias.

Fonte: WRC (1971).

Figura 9 – Zoneamento de áreas de inundação.



Fonte: WRC (1971).

Schult; Pinheiro (2003) apontam três utilidades do conhecimento do zoneamento: (i) serve de ação de planejamento aos Planos Diretores Municipais com a definição dos riscos de ocupação; (ii) permite orientar a tipologia mais adequada às construções, visando minimizar futuras perdas de materiais e humanas e (iii) permite orientar as ações de Defesa Civil.

Sob outra perspectiva, os mapas de inundação mostram a área inundada e a profundidade de submersão para diferentes períodos de retorno. Para sua composição, são necessários os dados topográficos da bacia e os níveis de inundação simulados por período de retorno. Assim, configuram em um instrumento importante na prevenção, zoneamento urbano, planos diretores, controle e gestão das inundações, pois através deles é possível definir as áreas de risco e com isso apresentar as regiões mais afetadas. Sua elaboração permite representar a variabilidade espacial do problema (BERTI, 2010).

Segundo Tucci (2003), os mapas de inundação podem ser de dois tipos:

a) mapa de planejamento: define as áreas atingidas por cheias de tempo de retorno escolhidos

b) mapa de alerta: informa em cada esquina ou ponto de controle o nível da régua para o qual inicia a inundação. Este mapa permite o acompanhamento da enchente por parte dos moradores, com base nas observações das réguas.

Um dos métodos de mapeamento é obtido pela elaboração da carta enchente, na qual são representadas as áreas inundadas quando determinado nível de água é atingido na seção fluviométrica de referência. Como exemplo cita-se a carta enchente do município de Blumenau que foi elaborada por pesquisadores da Universidade Regional de Blumenau, em 1987, na escala de 1:2.000, com curvas de nível de 1 em 1 metro e um mapa cadastral na escala 1:10.000. Nestas residências, as áreas sujeitas à inundação foram referenciadas a uma seção de medição de nível (estação fluviométrica). O método adotado consistiu em levantar as cotas de inundação das marcas relacionadas ao evento de agosto de 1984 em 879 pontos do município. Os pontos escolhidos corresponderam aos cruzamentos de ruas, de maneira a cobrir toda a área sujeita à inundação. Sendo considerados os perfis da linha de água, definidos pelos níveis máximos observados no curso d'água durante o extravasamento (SANTOS, 2007).

Avanços no conhecimento de sensoriamento remoto, SIG e modelagem têm sido fundamentais na gestão de inundações. Uma variedade de modelos pode ser desenvolvida em um ambiente SIG para representar dados espaciais, simular processos ou fornecer uma análise espacial efetiva de um fenômeno. Saraiva et al. (2010), afirmam que existe uma crescente demanda em aplicar modelos hidrológicos, hidráulicos e hidrogeomorfológicos, principalmente para bacias onde os dados fluviométricos são incipientes ou ausente.

De modo geral, o modelo é “a representação de algum objeto ou sistema, numa linguagem ou forma de fácil acesso e uso, possibilitando estudo e entendimento de seus componentes, suas características, relações e comportamentos”. Usualmente os métodos no desenvolvimento de modelos são baseados na simulação do sistema físico por meio de funções matemáticas, limitando-se pela qualidade e quantidade de dados de entrada (FRAGOSO, 2009).

Diante disso, é relevante destacar a função dos Modelos Digitais de Terreno (MDT), os quais permitem descrever, compreender e prever o armazenamento e os movimentos da água na superfície terrestre (MOORE et al., 1996). Valores comparativos dos danos residenciais obtidos pelos métodos estatístico e econômico). Os MDTs são majoritariamente utilizados como base para estudos envolvendo modelagem hidrológica por serem representações do relevo. Quando

inseridos em modelos hidrológicos permitem estimar a previsão do fluxo e da direção de escoamento da água e podem ser empregados como parâmetros para as políticas públicas para estabelecer planos de utilização para áreas com alta susceptibilidade a inundações (MORAES, 2014).

2.5.1 Height Above the Nearest Drainage - HAND

O modelo *Height Above the Nearest Drainage* - HAND, desenvolvido por Rennó et al. (2008), é um dos modelos hidrológicos empregados na simulação de áreas mais suscetíveis à inundação. Nobre et al. (2011) e Rennó et al. (2008) esclarecem que a partir da rede de drenagem extraída do Modelo Digital de Terreno (MDT), a diferença entre cada elemento da grade do MDT e o ponto mais próximo associado à rede de drenagem extraída dá origem a topologia HAND, portanto o nível de referência deixa de ser fixo em relação ao mar e passa a ser relativo à rede de drenagem mais próxima.

O algoritmo HAND, escrito em C++, contém procedimentos estabelecidos para o processamento do MDT (estrutura *raster*), extraindo dele automaticamente a rede de drenagem. Com base na rede de drenagem, na direção de fluxo e no MDT, é então gerada a topologia HAND. A espacialização da inundação nas planícies e nos terraços fluviais traz como resultado uma grade que representa a normalização do MDT em relação à drenagem e indica a área onde uma cheia pode se desenvolver, em caso de água em excesso fluindo na superfície (PIRES e BORMA, 2013).

Desse modo, o modelo indica áreas suscetíveis a inundações pela análise dos desníveis topográficos e da proximidade relativa dos rios. Esses desníveis relativos constituem boas indicações das suscetibilidades a inundações de cada ponto na paisagem. A distância vertical à drenagem mais próxima está relacionada indiretamente com a profundidade do lençol freático que, por sua vez, indica a disponibilidade da água do solo. Valores pequenos de distância vertical (próximos à zero) indicam regiões cujo lençol está próximo à superfície e, portanto, o solo se encontra em condições próximas à saturação. Valores altos de distância vertical identificam regiões com lençol freático profundo, ou seja, áreas bem drenadas (CPRM; IPT, 2014).

2.5.1.1 Aplicações do modelo HAND no Brasil

No Brasil, para exemplificar a aplicação do HAND, cita-se o projeto “Vulnerabilidade das Megacidades Brasileiras às Mudanças

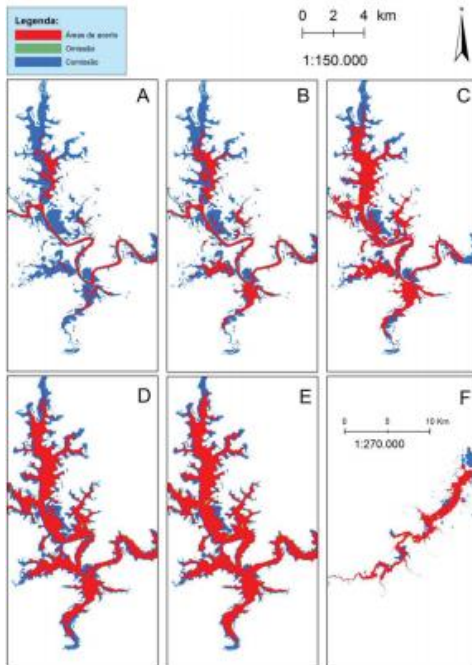
Climáticas”. Realizado entre os anos 2008 e 2011, objetivou identificar vulnerabilidades às mudanças climáticas tendo como área de estudo os municípios de São Paulo e Rio de Janeiro. Nessa perspectiva, destacam-se também os trabalhos de Silva et al. (2013), Momo et al. (2016) e Mengue et al. (2016) aplicados no contexto brasileiro. Os estudos possuem em comum o mapeamento de áreas suscetíveis à inundação.

Silva et al. (2013) objetivaram analisar os dados providos do modelo HAND visando à indicação de áreas suscetíveis à inundação em áreas urbanas, comparando com áreas inundáveis geradas por modelo hidráulico-hidrológico na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul. As áreas inundáveis foram obtidas com a modelagem HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System*). Os autores utilizaram dados de 109 estações pluviométricas na obtenção de chuvas máximas diárias e interpolação por krigagem para toda a bacia, obtendo isoietas de máxima precipitação para os períodos de retorno de 2, 10, 25, 50, 100 e 500 anos. O algoritmo HAND foi aplicado aos dados ASTER-GDEM e SRTM, as quatro classes (encharcado, ecótono, declive, platô) foram comparadas com áreas de inundação delimitadas pelo modelo hidrológico-hidráulico em diferentes períodos de retorno. Foi aplicada ao algoritmo uma hidrografia sintética alternativa, que garantiram a igualdade entre seus fluxos e a hidrografia de referência.

Momo et al. (2016) avaliaram o desempenho do modelo HAND no mapeamento das áreas suscetíveis à inundação nos municípios de Blumenau e de Brusque. Fundamentado no modelo HAND, Nobre et al. (2015) desenvolveram o HAND *contour*, que permite traçar a superfície potencial de inundação apenas com a topografia digital, sem a necessidade de calibração com parâmetros fluviográficos representativos do sistema. As superfícies simuladas, para as diferentes cotas de inundação, foram comparadas com os levantamentos realizados após a ocorrência das últimas grandes inundações na bacia do rio Itajaí-Açu.

Os parâmetros estatísticos empregados no estudo de Momo et al. (2016) demonstraram que os resultados obtidos foram similares àqueles simulados por outros autores que utilizaram modelos hidrodinâmicos. Nesta avaliação, foram usadas as variáveis acerto, omissão e comissão e, os parâmetros F estatístico, acurácia geral, Fit (%), taxa de alarme falso (TAF) e a taxa de tendência (BIAS). A Figura 10 apresenta o resultado das áreas de inundação de Blumenau para as cotas de 10 m (A), 12 m (B), 13,0 m (C), 15,46 m (D) 17 m (E). E a área de inundação de Brusque na cota 10,03 m (F). A cor vermelha representa as áreas de acerto, azul representa as áreas de comissão e verde representa as áreas de omissão simuladas pelo modelo.

Figura 10 – Cruzamentos entre as manchas de inundação observadas e as manchas de inundação simuladas pelo modelo HAND.



Fonte: Momo et al. (2016)

Mengue et al. (2016) apresentaram uma aplicação do modelo HAND para mapeamento de áreas mais suscetíveis à inundação em uma área do rio Uruguai e afluentes, próximo à Itaqui, Rio Grande do Sul, utilizando como base um evento de inundação ocorrido em 26/10/1997. A partir da classificação de uma imagem LANDSAT 5, sensor TM, foi gerado o mapa de referência com as áreas de inundação para comparar com as simulações do modelo HAND. A altura da inundação foi definida com base nos dados da cota no dia analisado da estação de Itaqui, localizada no rio Uruguai. E por fim, as simulações pelo modelo HAND e o mapa de referência classificado foram comparadas pela similaridade Fuzzy, índice de concordância Kappa e exatidão global.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para elaborar a proposta metodológica de avaliação de danos, inicialmente desenvolveu-se a pesquisa bibliográfica relativa ao tema no Brasil e no exterior, e foi reunida toda a informação disponível para o município de Timbó. Feita a estruturação do trabalho, foram definidos dados e ferramentas de software a serem utilizados. Também foram determinados os parâmetros socioeconômicos e hidrológicos.

A metodologia para desenvolvimento do estudo dividiu-se em três etapas para a aplicação do método de estimativa dos danos. Na primeira fase do trabalho foi desenvolvida a análise hidrológica para obter as alturas da água relacionadas a três diferentes eventos.

A segunda envolveu o modelo de estimativa de danos. Com base na altura da água e planta de valores do município de Timbó, foram utilizadas ferramentas de SIG para estimar o dano correspondente em cada cenário. Os valores de danos esperados foram calculados a partir de valores monetários determinados pelo Código Tributário de Timbó, CUB e Fc.

Por fim, a terceira etapa envolveu a análise dos cenários de exposição e risco. Por meio desta metodologia foi possível determinar população exposta, por setor censitário, a partir da sobreposição das alturas da água e dos setores censitários. Posteriormente foi calculado o risco a partir dos dados populacionais e de danos estimados.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

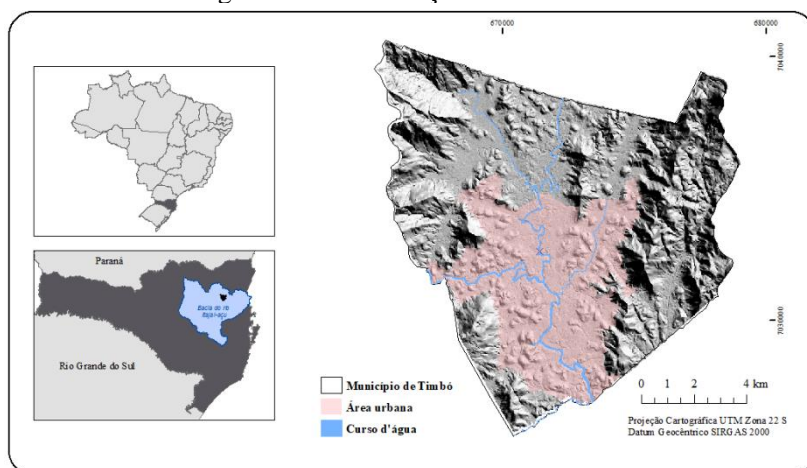
3.1.1 Município de Timbó

Localizado no médio vale do Itajaí, no Estado de Santa Catarina, o município de Timbó abrange uma área territorial de 127,4 km² (Figura 11). Segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, (KOTTEK et al., 2006) o clima é subtropical úmido (Cfa), com temperatura média anual de 20.6 °C e precipitação pluvial média anual de 1.582 mm. Devido aos parâmetros utilizados na proposta metodológica aqui apresentada, o presente trabalho considerou apenas a área urbana do município.

O município foi fundado por imigrantes alemães em 1868 e em 1883 foi construída a primeira ponte sobre o rio Benedito, unindo as duas partes centrais. O rio Benedito, considerado o principal rio da bacia Itajaí-Açu, nasce no município de Doutor Pedrinho, atravessa os municípios de Benedito Novo e Timbó e deságua em Indaial, onde se encontra com o rio Itajaí-Açu.

Em termos de inserção regional, Timbó atua como subpolo regional e tem sua economia baseada na indústria, comércio e turismo. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e da Secretaria de Estado do Planejamento de Santa Catarina (SPG), em 2010 o Produto Interno Bruto (PIB) do município atingiu o montante de R\$ 983.501 mil resultando a 27ª posição do ranking estadual, correspondendo por 0,64% da composição do PIB catarinense. Nos setores produtivos de Timbó a agropecuária contribuiu com 0,7%, a indústria com 39,09% e os serviços e com 36,62% do PIB municipal (IBGE, 2010).

Figura 11 – Localização de Timbó/SC.



Fonte: elaborado pela autora.

O perímetro urbano de Timbó situa-se quase em sua totalidade na planície de inundação, com elevações do maciço cristalino, na forma de colinas, serras e morros, esculpidos nas rochas gnáissicas e graníticas do Complexo Granulítico de Santa Catarina. O padrão de dissecação do relevo resulta em amplitudes altimétricas elevadas nos limites do município. Com altitudes que variam de 45 a 100 metros na grande planície central e a 751m, no topo do Morro Azul, Nordeste do município (UFSC, 2018). A profundidade de alguns vales fluviais cuja forma predominante é em “V” chega a atingir 300m, revelando as condições de intensidade erosiva ocorrentes em toda a unidade, típico de climas tropicais, quentes e úmidos; as vertentes são na maioria sulcadas e separadas por ressaltos e descontinuidades topográficas, apresentando

nichos erosivos e cicatrizes provocados por movimentos de massa. As vertentes exibem também especialmente em suas porções média e inferior, cones de dejeção (IBGE, 2002).

A área de estudo está inserida no domínio morfoestrutural Embasamentos em Estilos Complexos (SANTA CATARINA, 1986) que integra, respectivamente, a região e unidade geomorfológica Serras de Leste Catarinense e Serras de Itajaí, onde predominam modelados de dissecação e, secundariamente, o domínio de Depósitos Sedimentares que formam modelados de acumulação de origem coluvionar e aluvionar. O perímetro urbano ocupa essencialmente a planície central e é drenada por rio Benedito e seu afluente, o rio dos Cedros (UFSC, 2018). O município é geologicamente formado por litologias do Escudo Catarinense que incluem rochas magmáticas e metamórficas mais antigas, rochas sedimentares e vulcânicas da Bacia Sedimentar do Paraná e sedimentos mais recentes ainda não consolidados. Os municípios de Blumenau, Pomerode, Benedito Novo, Indaial, Timbó e rio dos Cedros compõe parte do arcabouço geológico mais antigo, formado por rochas metamórficas gnaíssicas granulíticos (AUMOND, 2005).

As dificuldades de escoamento devido às características dos vales fluviais emprestam à drenagem, nos períodos de alta precipitação pluviométrica, um caráter impetuoso determinando a ocorrência frequente de inundações catastróficas. O fenômeno das cheias em território catarinense não está restrito à bacia do Itajaí-Açu; é, contudo, nesta bacia hidrográfica que elas ocorrem com maior intensidade e frequência (IBGE, 2002).

De acordo com Siebert (1996), os condicionantes físicos impuseram na origem da colonização uma ocupação territorial longitudinal com lotes estreitos e compridos distribuídos transversalmente ao rio. O relevo acentuado e alta densidade de drenagem favoreceram a ocupação dos vales. O vetor da colonização seguiu ao longo dos cursos d'água, onde havia facilidade de instalação e poucos desníveis.

A vegetação primária de Timbó integra o Bioma Mata Atlântica, pertencendo principalmente à Floresta Ombrófila Densa (KLEIN et al., 1986). Apesar de estar localizada numa zona de clima subtropical, a floresta possui características da floresta pluvial tropical, como a existência de vários estratos, de altos valores de biomassa, de alto grau de endemismo, de muitos cipós e lianas, de epifitismo e de espécies raras, de grande especialização das relações entre flora e fauna e dominância de vetores animais nas síndromes de polinização e dispersão das plantas (VIBRANS, 2003).

3.1.2 Histórico de eventos hidrológicos extremos

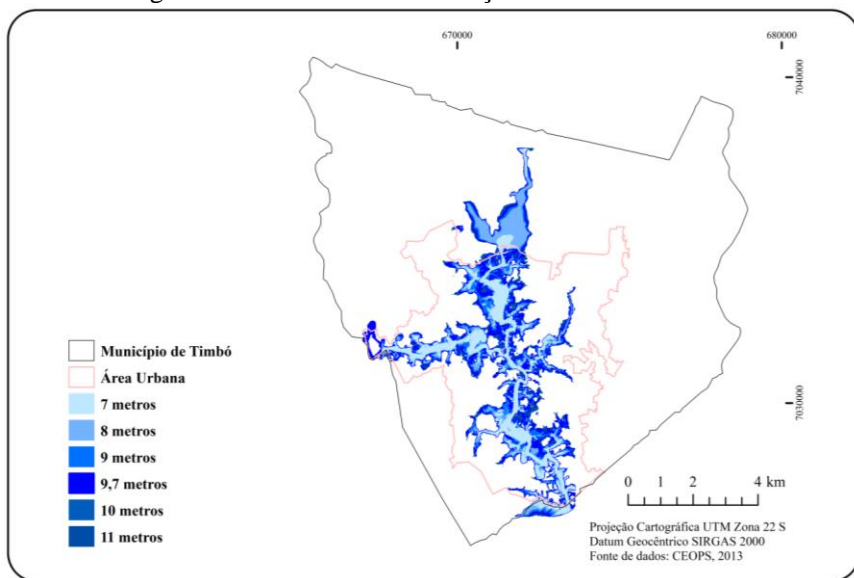
O município de Timbó possui um vasto histórico relacionado às inundações e enxurradas provocadas pelas cheias do rio Benedito e dos Cedros. O Centro de Operações do Sistema de Alerta da Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí-Açu (CEOPS) documentou no período entre 1852 e 2011 um total de 45 picos de cheia com cotas máxima de 10 m e mínima de 2,9 m (CEOPS, 2017). Tratando-se apenas dos eventos extremos oficialmente reconhecidos como desastres, o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais contém registros históricos desde 1991 a 2012, contabilizando um total de cinco enxurradas e três inundações (CEPED UFSC, 2013). Já o no banco de dados S2ID, foram registradas cinco inundações e seis enxurradas, entre 1983 e 2014.

A primeira inundação de que se tem registro em Timb o ocorreu em setembro de 1888 (10 m), seguido pelos eventos em maio de 1911 (9,30 m), maio e setembro de 1931 (5,4 m) e novembro de 1935 (6,50 m). A inundação de maio de 1992 (8,71 m) resultou em danos a quase todas as casas situadas às margens do rio. J a a de novembro de 2008 (8,15 m) foi considerada, a mais “famosa” das inundações, devido   destruição em diversos municípios da mesorregião do Vale do Itajaí. As inundações mais recentes ocorreram nos anos de 2011 (setembro) e 2014 (junho) e atingiram, respectivamente, as alturas de 9,86 m e 9,40 m (CEOPS, 2017).

A parceria técnico-científica entre Prefeitura de Timb o, Universidade Regional de Blumenau e CEOPS desenvolveu um estudo denominado “Cota Enchente de Timb o”. O levantamento das cotas de enchente baseou-se na inundação ocorrida em 2011 e apresenta a cota que naquele ponto, organizado por ruas e bairros, inicia a ser inundado. As cotas de enchente levantadas para a cidade de Timb o estão relacionadas com o nível do rio Benedito, medido na régua da Agência Nacional de  gua (ANA), que fica localizada nos fundos da Rua Honduras. Assim, a cota de enchente difere da cota topográfica do IBGE, pois se relaciona diretamente com os níveis de água do rio, medidos a partir da régua limim trica do posto fluviométrico (CORDERO, 2012).

A carta enchente mostra as manchas de inundações para diversos níveis, quando o rio Benedito e rio dos Cedros atingem uma determinada cota numa eventual inundação. Em Timb o, a extensão das manchas foi elaborada baseada no evento de setembro de 2011 (Figura 12).

Figura 12 – Manchas de inundação em Timbó/SC.



Fonte: elaborado pela autora.

Na Tabela 5 estão apresentados os resultados de um estudo estatístico das cotas máximas do rio Benedito em Timbó utilizando o método dos valores extremos ou de distribuição empírica – distribuição de Gumbel com os dados de 1980 a 2012 (CORDERO, 2012). Como as manchas de inundação são de 7, 8 e 9,7 m, assumiu-se os Tr de 5, 10 e 25 anos, aproximadamente, para as respectivas manchas.

Tabela 5 – Períodos de retorno para Timbó/SC.

Período de Retorno	Nível do rio Benedito
T (anos)	H (m)
5	7,5
10	8,5
25	9,7
50	10,5
100	11,3
200	12,0
300	12,5
500	13,0

Período de Retorno	Nível do rio Benedito
T (anos)	H (m)
1000	13,6

Fonte: Cordero (2012).

3.1.3 Registros de reconhecimento de anormalidade

De acordo com o Decreto Federal 7.257/2010, Situação de Emergência é uma situação anormal, decretada em razão de desastre, causando danos e prejuízos que impliquem o comprometimento parcial da capacidade de resposta do poder público do ente atingido. O CEOPS estabelece o nível de água para caracterização das situações para o enfrentamento de inundações, apresentados no Quadro 9.

Quadro 9 – Situação (NA= Nível de Água).

Normal	Atenção	Alerta	Emergência
NA < 3	3 < NA < 5	5 < NA < 7	NA > 7

Fonte: CEOPS (2017).

O Quadro 10 apresenta os eventos que houve decretações de Situação de Emergência (SE) ou Estado de Calamidade Pública (ECP) referentes à inundação/enxurrada no município de Timbó.

Quadro 10 – Registros de reconhecimento de anormalidade em Timbó/SC.

Evento	SE/ECP	Nº do Decreto	Data do Decreto
Inundações	ECP	19.679	09/07/1983
Enxurradas	ECP	22.971	06/08/1984
Inundações	ECP	1.910	29/05/1992
Enxurradas	SE	4.473	13/05/1994
Enxurradas	SE	31	29/02/2000
Inundações	SE	130	01/10/2001
Enxurradas	ECP	1.500	22/11/2008
Enxurradas	SE	1.483	12/01/2009
Enxurradas	SE	2.257	16/02/2011
Inundações	SE	489	12/09/2011
Inundações	SE	1.753	23/09/2013
Inundações	SE	3.501	09/06/2014

Fonte dos dados: S2ID (2017)

3.2 PROPOSTA METODOLÓGICA

3.2.1 Determinação da altura da água

O primeiro passo para a determinação da altura da água foi a aplicação do algoritmo HAND que calcula a altura em relação a drenagem mais próxima. Escrito em C++, compreende procedimentos para o processamento do MDT, extraindo dele automaticamente a rede de drenagem. A partir da rede de drenagem e do MDT, é então gerada a topologia HAND (NOBRE et al., 2011). Para se processar o HAND aplicou-se a ferramenta TerraHidro² integrada ao *software* livre do TerraView desenvolvido pelo INPE. Para a representação topográfica, utilizou-se o Modelo Digital de Elevação (MDE) obtido do levantamento aerofotogramétrico realizado pela Secretaria de Desenvolvimento Econômico e Sustentável de Santa Catarina em 2011, com resolução espacial de 1 m, disponibilizado em sigsc.sds.sc.gov.br

Segundo Momo (2016), o processo para definir a rede de drenagem é desenvolvido em três etapas, as duas primeiras utilizando procedimentos já consolidados e a terceira etapa com o método desenvolvido para o HAND.

(1) correção do MDT e direção do fluxo de drenagem (*Flow Extraction*). É definida para cada ponto de grade a direção do fluxo de drenagem considerando-se a direção do escoamento superficial. O método aplicado, *D8*, utiliza a regra da maior declividade para atribuir a direção do fluxo e tem como resultado uma grade de pontos chamada Direção do Fluxo de Drenagem (em inglês *LDD - Local Drain Direction*). Para regularizar possíveis incoerências do valor altimétrico do MDT utiliza-se rotina de regularização da drenagem, que pode ser *Fill* (preencher), *Breach* (cavar) ou outro método, que corrige as imperfeições do dado topográfico, tais como presença de sumidouros, áreas que podem ser naturais, ruídos dos dados ou artefatos criados durante o processamento topográfico (MOMO, 2016).

(2) fluxo acumulado (*Contributing Area*) e extração da rede de drenagem (*Drainage Extraction*). Com o MDT corrigido e o fluxo de drenagem são calculados, para cada célula da grade, os valores acumulados de fluxo recebidos, no qual células com valores altos indicam uma maior concentração de fluxo acumulado. Para a extração da

² <http://www.dpi.inpe.br/menu/Projetos/terrahidro.php>

drenagem é necessário definir um limiar (número de pixels) referente à área de contribuição mínima. Os valores do limiar são uma contagem do número de pixels cujos fluxos da drenagem convergem para um pixel considerado. O limiar representa áreas acumuladas da drenagem, maiores limiares geram drenagens de maior ordem, apresentando-se neste caso, apenas os canais principais. Limiares menores incluirão as drenagens menores, aumentando a densidade de drenagem da área de estudo. Foram realizados vários testes com diferentes limiares e definiu-se o limiar de 1.000.000 pixels, por melhor reproduzir a rede de drenagem.

(3) geração do modelo HAND. Nesta etapa o modelo classifica todos os pontos da grade de entrada com base nas distâncias verticais relativas, ao longo das trajetórias superficiais de fluxo, para o curso d'água mais próximo. Como resultado a cada ponto de grade é ajustado um novo valor altimétrico referenciado topograficamente com a rede de drenagem (MOMO, 2016).

Após a geração do HAND, o mesmo foi exportado e a importado no *software* ArcGIS 10.3. A reclassificação dos resultados do HAND, para obter as alturas da água, teve base nas manchas de inundação elaboradas pelo CEOPS e nos períodos de retorno estabelecidos por Cordero (2012).

Desse modo, o presente trabalho propôs uma metodologia para estimar danos com base na altura da água. Esta altura foi obtida diretamente pela reclassificação dos valores do HAND. Assim, a altura da água representada em cada pixel é a diferença entre o limiar de fatiamento e o valor do pixel. Para determinado limiar de altura do HAND a equação (1) foi aplicada.

$$Hc = Vmax - HAND \quad (1)$$

Onde, Hc é a altura da água no pixel, $Vmax$ é o valor máximo do HAND utilizado no mapeamento e $HAND$ é o valor do $HAND$ para cada pixel.

A altura máxima foi obtida após a calibração do HAND, tomando como base as manchas de inundação, elaborada pelo CEOPS, para o evento de 2011 e os tempos de retorno de 25, 10 e 5 anos. De acordo com a classificação de Cordero (2012), a inundação de 2011 faz parte do grupo de eventos extremos com recorrência de 25 anos (cota de 9,7 m). Ainda, verifica-se um tempo de retorno de 10 anos para eventos de média frequência (cota 8,5 m), de 5 anos para alta frequência (7,5 m). Dessa maneira, como intervalo de fatiamento utilizou-se o valor de HAND de 9, 10 e 12 m, respectivamente, sendo este o valor adotado para $Vmax$.

Os valores de calibração do HAND foram determinados empiricamente, variando os valores de fatiamento até que contemplassem toda a mancha de inundação para determinado tempo de retorno.

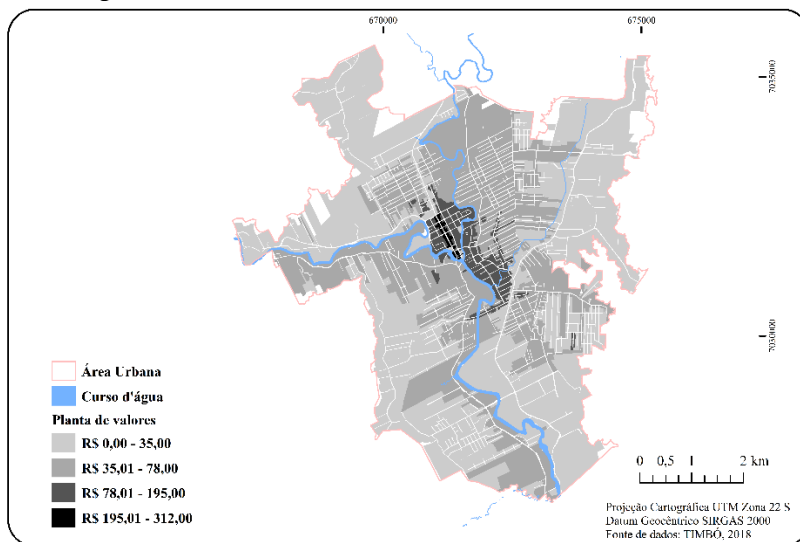
3.2.2 Modelo de Estimativa de Danos

Segundo a NBR 14.653-2, a Planta de Valores é a representação gráfica ou listagem dos valores genéricos de metro quadrado de terreno ou do imóvel numa mesma data. Ou seja, subdivide as áreas urbanizadas em zonas de valor, onde são determinados os valores básicos do m² dos terrenos. Para cada zona de valor, no caso os lotes, é atribuído um único valor venal por unidade de área (R\$/m²), para todos os terrenos que pertencem àquela região. Assim, a principal finalidade desta planta é fornecer os valores de mercado atualizados dos terrenos de determinado município.

Os dados de valor da terra foram estabelecidos com base no Anexo I da Lei Complementar 142/1998 (Código Tributário do Município de Timbó e Lei Complementar 255/2003). A Unidade Fiscal do Município (UFM) é a medida de valor e parâmetro de atualização monetária de tributos e de valores expressos em Real (R\$) ou Unidade Fiscal de Referência (UFIR) na legislação tributária municipal (Lei Complementar nº 193, 2000). A expressão monetária da UFM de 2018 corresponde a R\$ 3,9001. Para o reajuste anual é considerando o acumulado do IPCA – Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo que foi de 5,91% no ano passado (TIMBÓ, 2018).

As informações contidas na planta de valores foram espacializadas ao nível de lotes, e apresentem os valores de m² convertidos em Reais. (Figura 13). Nos casos que um mesmo logradouro apresentava valores distintos foi atribuído o menor valor apresentado.

Figura 13 – Planta de Valores da área urbana de Timbó/SC.



Fonte: elaborado pela autora.

Além da planta de valores, foi utilizado o Custo Unitário Básico (CUB/m²) de uma propriedade padrão para estimativa de danos, conforme adotado por Fadel et al. (2018). O CUB é o custo, por metro quadrado, de construção do projeto-padrão considerado, calculado de acordo com a metodologia estabelecida pelos Sindicatos da Indústria da Construção Civil e que serve de base para a avaliação de parte dos custos de construção das edificações. O CUB é um padrão de referência instituído pela Lei 4.591 de dezembro de 1964 que dispõe sobre o condomínio em edificações e as incorporações imobiliárias. Atualmente, seu procedimento de cálculo é normatizado pela NBR 12.721:2006 (SINDUSCON, 2007). Para esse estudo, o CUB residencial médio adotado, com referência para junho de 2018, foi de R\$ 1.772,27.

Para determinar o valor estimado de danos, adotou-se um Fator de Correção (Fc) em relação à situação do lote, tomando por base as informações contidas no cadastro. Dessa maneira, foram determinados pesos para diferenciar o grau de importância (situação) na valoração dos lotes. O Fc foi calculado com pesos, ponderados com base na situação do lote (construído, em ruínas, etc). O Fc varia de 0 a 1, sendo que 1 é o lote construído e 0 é o lote vazio (Tabela 6). Estas informações da situação do lote são encontradas no cadastro do município.

Tabela 6 – Ponderação do Fc com base na situação do lote.

Ocupação	Fator de Correção (Fc)
Construído	1
Construção em andamento	0,7
Ruínas/demolição	0,1
Não construído	0

Fonte: elaborado pela autora.

O Modelo de Estimativa de Danos (MED) proposto associa as alturas da água e o prejuízo econômico, obtido pela relação entre CUB, Fc e zona de valor (lote) para determinar o valor por m². Assim, a proposta para estimativa de danos em áreas urbanas fornece uma avaliação quantitativa para informar a tomada de decisão em relação a danos e prejuízos. Devido à ambiguidade na literatura, o presente trabalho adotou os termos danos e prejuízos como sinônimos.

O modelo utiliza os dados de altura da água determinados com base no algoritmo HAND que simula as áreas mais suscetíveis à inundação. Assim como a associação de dados cadastrais à planta de valores definida com base no código tributário do município.

Os dados, inicialmente em formato vetorial, foram transformados em *raster* para obtenção da estimativa. O dano estimado, tomando por base as relações entre altura da água e valor, é determinado pelas equações (2) e (3).

$$De = Hc * Valor \quad (2)$$

$$Valor = Zv + (CUB * FC) \quad (3)$$

Onde, *De* é o Dano Estimado, *Hc* é a altura da água no pixel e *Valor* é o prejuízo econômico. *Zv* é a zona de valor, para cada uma é atribuída um único valor por unidade de área (R\$/m²).

3.2.3 Análise da população exposta e do Risco

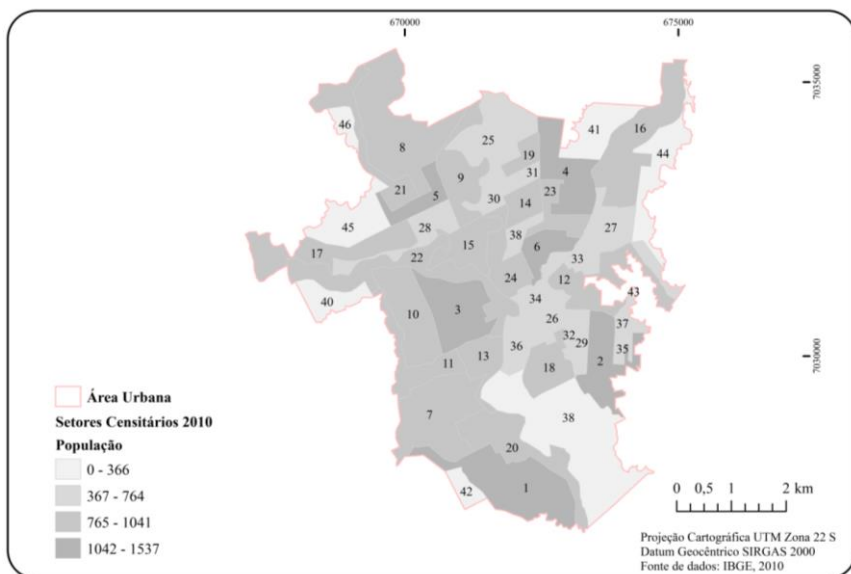
O IBGE fragmenta o território nacional em setores censitários para realização dos censos demográficos e para realização de outras pesquisas amostrais. O setor censitário é a menor unidade territorial definida pelo IBGE, criado para fins de controle cadastral da coleta de dados, com limites físicos identificáveis em campo, com dimensão adequada à operação de pesquisas e cujo conjunto abrange a totalidade do Território

Nacional, o que permite assegurar a plena cobertura do País (IBGE, 2002). O setor censitário, composto por aproximadamente 250 a 400 domicílios, é caracterizado por um polígono composto por logradouros, unidades residenciais e não residenciais.

Durante o Censo Demográfico são aplicados dois tipos de questionários: o básico, aplicado em todos os domicílios e o amostral, aplicados apenas em uma fração dos domicílios. O questionário básico faz um levantamento de características gerais do domicílio e dos moradores. O questionário da amostra realiza um número maior de perguntas sobre sexo, idade, renda e escolaridade, além de condições gerais dos domicílios, como padrão de construção, número de banheiros, abastecimento de água, coleta de esgoto e de resíduos sólidos, entre outras informações (IBGE, 2002).

Para determinar a população exposta, foi utilizado como unidade territorial o setor censitário referente ao Censo Demográfico de 2010 (Figura 14) disponibilizado pelo IBGE em arquivo digital *shapefile*, além de planilhas contendo todas as variáveis do censo e contagem populacional.

Figura 14 – Setores censitários urbanos de Timbó e faixas de população absoluta.



Fonte: elaborado pela autora.

Para determinar a população exposta a eventos de diferentes magnitudes, foram utilizadas as alturas da água obtidas a partir do HAND, considerando apenas a área total inundada, e não as alturas.

Para estimar a população exposta foi aplicada a equação que relaciona a população por setor censitário para uma determinada área de inundação. Dessa maneira, a população exposta foi determinada por meio da ponderação da área inundada do setor, da área total do setor e da população do setor equação (4)

$$PopExp = PopSetor * \frac{\text{Área inundada}}{\text{Área total}} \quad (4)$$

Onde, PopExp é a população exposta por setor, PopSetor é a população do setor, Área inundada é a área do setor censitários considerada suscetível a inundação e Área Total é a área total do setor censitário.

O risco pode ser considerado como a probabilidade de consequências prejudiciais ou perdas (econômicas, sociais ou ambientais) resultantes da interação entre perigos naturais e sistemas humanos (UNDP, 2004). No presente trabalho o risco foi determinado pela função da população exposta e da estimativa de danos conforme equação (5).

$$R = D * PopExp \quad (5)$$

Onde, R é o risco, D é o Dano estimado por setor e $PopExp$ é a população exposta por setor.

A população exposta total para os diferentes Tr é dada pelo somatório de PopExp por setor censitário. Enquanto o dano (D) foi obtido por meio da ferramenta *Zonal Statistic* do ArcGIS pela soma dos valores do pixel (danos) dentro de determinado setor censitário.

Os resultados foram escalonados entre 0 (baixo risco) e 1 (alto risco). A padronização é necessária devido às diferentes unidades de análise e é obtida pela equação (6).

$$Rescalonado = \frac{Robservado - r_{mínimo}}{r_{máximo} - r_{mínimo}} \quad (6)$$

Por fim, a área urbana do município foi classificada em três zonas: zona de alto risco, zona de moderado risco e zona de baixo risco.

Definidas pela classificação quantil, aplicada para dados distribuídos linearmente, e, portanto, excluindo-se a subjetividade no processo de definição do limiar de corte.

3.2.4 Comparação entre avaliações de danos

Na comparação entre o Modelo de Estimativa de Danos (MED) e as metodologias de avaliação preliminar de danos relacionados aos eventos de inundação em Timbó foram utilizados os formulários de Avaliação de Danos (AVADAN) e Formulário de Informações do Desastre (FIDE). Os dados oficiais foram disponibilizados no Banco de Dados da Secretaria Nacional de Defesa Civil (BRASIL, 2015), pelo Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID). O S2ID é uma plataforma de integração desenvolvida em 2011 pela Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC) e o Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres da Universidade Federal de Santa Catarina (CEPED UFSC).

Os relatórios de danos AVADAN (utilizados até 2012) e os FIDE são emitidos pelos municípios atingidos à Defesa Civil do Estado em caso de perdas por algum evento extremo, e são reconhecidos e registrados oficialmente pelo poder público. Assim, os danos são classificados como Situação de Emergência (SE) que implica que os danos causados são superáveis, suportáveis pela população, ou Estado de Calamidade Pública (ECP), situação anormal provocada por desastres naturais com sérios danos à população afetada (MI).

Atualmente, o uso do S2ID é obrigatório para decretação SE ou ECP pelos municípios, estados e pelo Distrito Federal, igualmente para o reconhecimento federal da situação de anormalidade. O requerimento deve ser encaminhado ao Ministério de Integração (MI) em até 10 dias (CEPED UFSC, 2014). Com as seguintes documentações: 1. Ofício de Requerimento 2. Decreto 3. Formulário de Informações do Desastre (FIDE) 4. Declaração Municipal de Atuação Emergencial (DMATE) ou Declaração Estadual de Atuação Emergencial (DEATE).

A análise considerou as informações registradas em AVADAN e FIDE para comparação com os danos estimados pelo modelo entre os eventos de magnitude similar. Os dados utilizados correspondem a Danos Humanos, em ambas as metodologias, ao somatório de afetados diretamente e indiretamente. Enquanto os danos totais correspondem aos Danos Materiais, Danos Econômicos, Danos Sociais no AVADAN e Prejuízos Econômicos Públicos e Prejuízos Econômicos Privados no FIDE.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

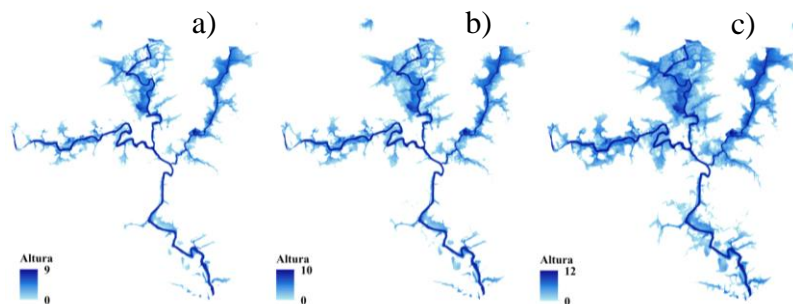
Os resultados das análises realizadas referem-se ao modelo proposto, população exposta e zoneamento do risco. Ainda são discutidas e comparadas as metodologias de avaliação de danos, e vantagens e desvantagens da metodologia proposta. Por último são apresentadas as curvas de dano.

4.1 CENÁRIOS DE DANOS

Um cenário de inundação pode ser identificado por um período de retorno. Para diferentes cenários de inundação com diferentes tempos de retorno é possível relacionar probabilidades de cada evento de inundação para danos potenciais (ALBANO, 2014). O Tempo de retorno (T_r), da cota ou da vazão, estabelece o intervalo de tempo médio em que este evento é igualado ou superado. É, também, o inverso da frequência anual com que a cota ou vazão é igualada ou superada. Assim, o período de retorno está associado a uma altura máxima, que, por sua vez, determinará características específicas da inundação, tais como altura, área, velocidade e duração da cheia (MOREIRA, 2016). Na teoria das probabilidades, os sistemas naturais configuram-se como fenômenos estocásticos, ou seja, apresentam aleatoriedade. O T_r serve como um parâmetro ou medida para estabelecer as frequências da variabilidade desses sistemas.

Conforme explicado ao longo da metodologia, a altura da água foi determinada a partir da simulação de três tempos de retorno, 5, 10 e 25 anos, escolhidos com base nas manchas de inundação na área de estudo. A Figura 15 apresenta a extensão e altura da água para eventos de diferentes magnitude para a área urbana do município de Timbó.

Figura 15 – Alturas obtidas pelo HAND: a) Tr 5 anos, b) Tr 10 anos e c) Tr 25 anos.



Fonte: elaborado pela autora.

A altura da água ilustra a cota atingida e pressupõe indicativos de áreas inundadas. Os resultados apresentados consideram as áreas estudadas com cenário de menor magnitude, mas de maior frequência com tempo de retorno de cinco anos. Assim, respectivamente, 10 e 25 anos de tempo de retorno foram considerados cenários intermediários e de menor frequência. Optou-se por estes tempos de retorno por serem os cenários mais próximos aos eventos ocorridos no município e mapeados por Cordeiro (2012).

Na Tabela 7 apresenta-se os Tr, cotas e valores de fatiamento (Vmax) determinados para o HAND e respectiva extensão em km².

Tabela 7 – Especificações por tempo de retorno.

Tr (anos)	Cotas (m)	Fatiamento	Área (km ²)
5	7	9	8,32
10	8	10	10,55
25	9,7	12	15,19

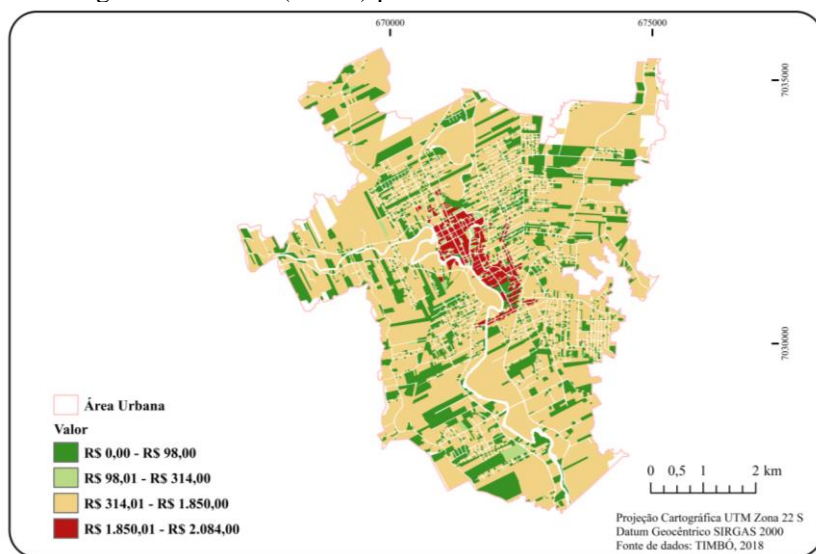
Fonte: elaborado pela autora.

Obteve-se que, de um total de 38,67 km² de área urbana, mais de 21% dela está localizada na área propensa às inundações caso um evento de Tr de 5 anos ocorresse. Devido ao histórico de ocupação, era esperado que o setor central apresentasse áreas inundáveis. Porém, o setor central não é atingido mesmo próximo às drenagens, o que pode ser explicado pela elevada altura em relação à drenagem mais próxima. Isso indica que utilizar apenas a distância em relação ao canal poderia superestimar as áreas e pessoas atingidas.

As plantas de valores indicam os valores unitários (R\$/m²) utilizados na formação do valor de cada imóvel para fins de tributação. Nesse sentido, buscou-se determinar uma propriedade padrão de acordo com a planta de valor e o custo unitário básico para análise de danos. Esses parâmetros podem ser corrigidos a qualquer tempo, em função da dinâmica econômica de mercado, entre outros, permitindo flexibilidade do modelo.

A Figura 16 apresenta o resultado obtido na determinação do valor por m², com base nos dados cadastrais, CUB e Fc. A área central do município é a que apresenta os maiores valores. Em pequenos municípios, geralmente há a formação de um núcleo urbano que se expande com a evolução da urbanização. Além disso, na proximidade desse núcleo há a oferta de serviços e a valorização dos imóveis circunvizinhos ao mesmo. Isso pode ser observado na planta de valores, onde há uma concentração na parte central da área urbana de alto valor.

Figura 16 – Valor (R\$/m²) para a área urbana de Timbó/SC.

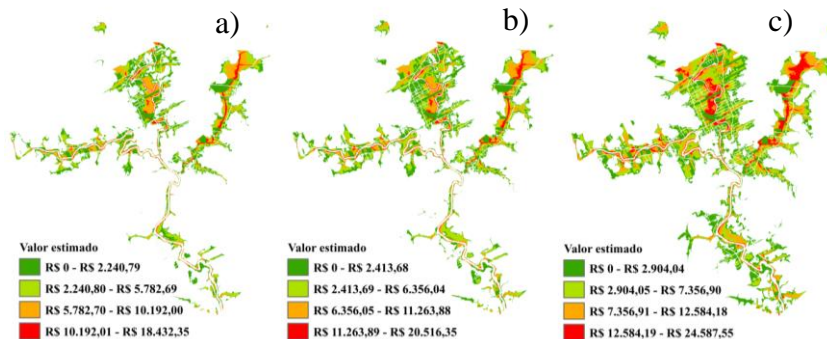


Fonte: elaborado pela autora.

A integração da altura da água e planta de valores definida com base no código tributário do município possibilitou a proposta para estimar os danos às áreas diretamente afetadas pelos eventos de inundações para diferentes magnitudes. Na Figura 17 são apresentados as

estimativas de danos para os Tr de 5, 10 e 25 anos determinados pela Equação 2, ou seja, pela altura da água e prejuízo econômico obtidos por meio do valor por m², CUB e fator de correção aplicado.

Figura 17 – Estimativa de dano para diferentes magnitudes: a) Tr 5 anos, b) Tr 10 anos e c) Tr 25 anos.



Fonte: elaborado pela autora.

Especificamente identificou-se os pontos críticos de danos, estimados em valores máximos de R\$ 18.432,35, R\$ 20.516,35 e R\$ 24.587,55 relacionados as três diferentes magnitudes, enquanto a maior parte da área urbana apresenta danos menos significativos. A altura da água é geralmente máxima ao longo do canal e nas adjacências do mesmo. Além disso, tradicionalmente, diversas cidades catarinenses se desenvolveram ao longo da planície de inundação, ou seja, lotes mais tradicionais e próximos aos serviços básicos estão próximo aos rios. Isto posto, há uma junção dos fatores hidrológicos e cadastrais que resultam em áreas com o maior potencial de dano nas adjacências do canal principal.

As áreas totais com danos estimados são consideradas àquelas onde houve sobreposição da altura da água e dos lotes urbanos. Para os Tr de 5, 10 e 25 anos, respectivamente, tem-se 16%, 20% e 29% da área urbana compreendida com danos estimados. Assim como, 5%, 6% e 9% com danos em relação à área total do município.

Analisando a cota de 9,7 m, observa-se que há uma maior frequência de locais com dano estimado entre R\$ 0,00 e R\$ 2.904,04, ocupando uma área de 4,8 km² da área total onde ocorreriam danos maior que zero, cerca de 11,3 km². Ainda se destaca que da totalidade de área urbana atingida, apenas 1,1 km² tem danos com altos valores por m², que

variam de R\$ 12.584,19 a R\$ 24.587,55. Para a cota de 8 m, 7,7 km² de área urbana atingida, apenas 0,5 km² tem danos com altos valores. Enquanto que para a cota de 7 m dos 6,0 km² de área urbana que sofreram danos, um total de 0,4 km² tiveram danos entre R\$ 10.192,01 e R\$ 18.432,35.

Nota-se que os valores mais altos de dano estimado ocupam pequenas parcelas da área urbana nos diferentes cenários. Além da questão histórica da ocupação, pôde-se observar na Figura 16 que a extensão de maior valor e que poderia gerar um dano estimado elevado se concentram em uma pequena área central.

Conforme zoneamento urbano do Plano Diretor Municipal de 2007 observou-se que as principais zonas atingidas são descritas como residencial, especial recreacional, industrial e micropolo industrial. Nesse sentido, tem-se que a estimativa de dano possibilita planejadores urbanos, rurais e regionais a adotar medidas de prevenção e mitigação para enfrentar ameaças em potencial, assim como auxiliar as autoridades competentes na preparação, revisão de resposta e atualização de planos de contingência.

Sobre a importância dos resultados de estimativa de danos e as áreas onde podem ser usados, Vetere Arellano et al. (2003) citam:

- planejamento espacial e de uso da terra para adoção de medidas de prevenção e mitigação para enfrentar ameaças em potencial;
- prática de estimativa de danos para melhorar as técnicas de estimativa de danos;
- pesquisa de estimativa de danos para identificar áreas de pesquisa onde os avanços podem ser feitos, bem como proporcionar uma melhor compreensão dos perigos e como eles impactam a sociedade.

4.2 POPULAÇÃO EXPOSTA E RISCO

Com base na distribuição em área do setor censitário sobreposto às alturas da água na área urbana do município foi possível quantificar o total da população exposta por diferentes Tr. Segundo IBGE (2010b), o município de Timbó possuía 36.774 habitantes no último censo realizado em 2010 com população estimada para 2018 em 43.484 pessoas.

Uma vez que essa metodologia considera uniforme a distribuição de população ao longo de toda área habitável, o percentual de área inundada é proporcional à relação entre população exposta e total para

cada setor. Assim, observou-se que na área urbana são numerosos os setores com população exposta (Tabela 8).

Tabela 8 – Síntese pessoas expostas.

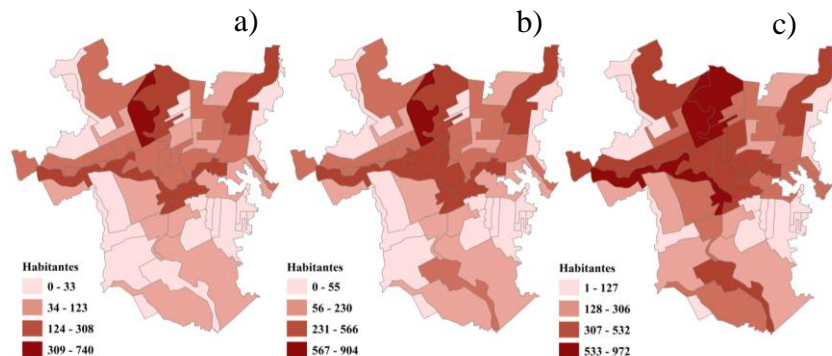
Cotas (m)	Número total de setores	Número total de pessoas exposta	Pessoas expostas por setor (%)
7	37	5.624	19
8	39	7.543	24
9,7	41	11.311	35

Fonte: elaborado pela autora.

O padrão de distribuição espacial da população exposta representa que os valores mais altos ocorrem de forma concentrada na área central e em seu entorno. Os valores de média e baixa exposição predominam nas áreas periféricas, não são numerosos e estão dispersos (Figura 18).

A área urbana concentra 93% da população total de Timbó. Além dos resultados de exposição por setores, para as respectivas magnitudes, verificou-se também que 16%, 22% e 33% da população total da área urbana pode ser considerada como população exposta.

Figura 18 – População exposta para diferentes magnitudes: a) Tr 5 anos, b) Tr 10 anos e c) Tr 25 anos.



Fonte: elaborado pela autora.

Do ponto de vista de prevenção, há três fatores que podem reduzir significativamente à população exposta: emissão de alertas de emergência da Defesa Civil ao município e região; sistema de monitoramento

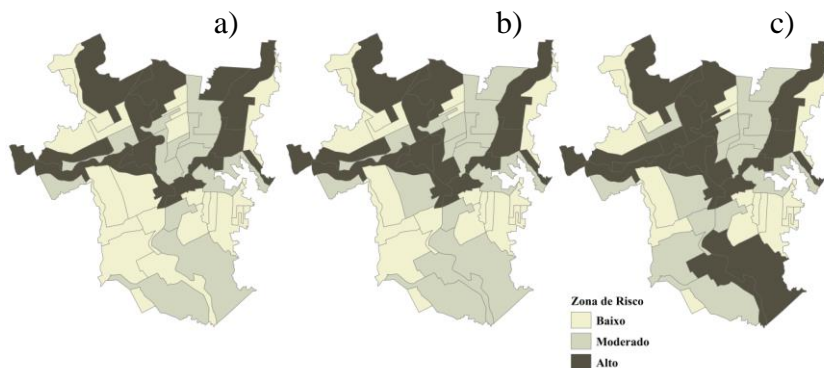
hidrológico operando plenamente; e aprendizagem da população sobre percepção de risco.

Por fim, por meio dos estudos apresentados foram obtidos a quantidade de pessoas expostas e o dano esperado para uma mesma unidade de análise, resultando no zoneamento de risco. A Figura 19 apresenta a distribuição do risco por setores censitários nos diferentes tempos de retorno.

Assim, as três zonas de risco foram identificadas: zona de alto risco, onde há grande concentração de elementos essenciais, o que provoca danos sociais e econômicos em eventos extremos, zona de moderado risco e zona de baixo risco.

Para o Tr de 5 anos 33% da área urbana correspondem a zona de alto risco, 29% a zona de risco moderado e 38% a zona de risco baixo. Para o Tr de 10 anos 33% da área urbana foram classificadas como de Alto risco, 37% de Moderado risco e 30% de Baixo risco. Para o Tr 25 anos 47% da área urbana foi classificada como de Alto risco, 30% tem Moderado risco e 22% tem Baixo risco.

Figura 19 – Zoneamento de risco para diferentes magnitudes: a) Tr 5 anos, b) Tr 10 anos e c) Tr 25 anos.



Fonte: elaborado pela autora.

Evidenciou-se que os setores centrais foram os que apresentaram maior risco. Foi observado que setores que apresentaram alto risco não necessariamente apresentaram altos valores de dano potencial. Porém, são correlatos aos setores que detêm maior número de pessoas expostas. Em relação à magnitude do evento, notou-se que não houve um aumento expressivo dos setores de médio e alto risco em relação ao aumento do

Tr. Além disso, independente do cenário, houve setores censitários que permaneceram classificados como baixo risco. Dessa maneira, o mapa de risco pode ser uma ferramenta de gestão territorial, indicando locais seguros para a expansão urbana, controlar a expansão nos setores de alto risco e promover medidas de proteção, como sistemas de engenharia.

4.3 ANÁLISES COMPARATIVAS

No formulário AVADAN, o município registra os danos diretos e indiretos. Os danos diretos são divididos em danos humanos (desabrigados, desalojados, mortes e afetados) e danos materiais (residências danificadas, destruídas e valores dos prejuízos). Os danos materiais dispõem de dados referentes a unidades habitacionais, instalações públicas e obras de infraestrutura pública, identificando para cada item a quantidade danificada, destruída e o valor relacionado prejuízo. Os danos indiretos são divididos em danos ambientais, danos econômicos e sociais. No âmbito dos prejuízos, os danos econômicos envolvem setores da economia, como agricultura, pecuária, indústria e serviços afetados e também os danos sociais como os serviços essenciais que foram prejudicados ou interrompidos pelo evento.

O Quadro 11 apresenta as informações do total de afetados e de danos nos eventos de enxurrada e inundação dos anos de 2001, 2008, 2011 (AVADAN) e 2014 (FIDE) ocorridos no município de Timbó.

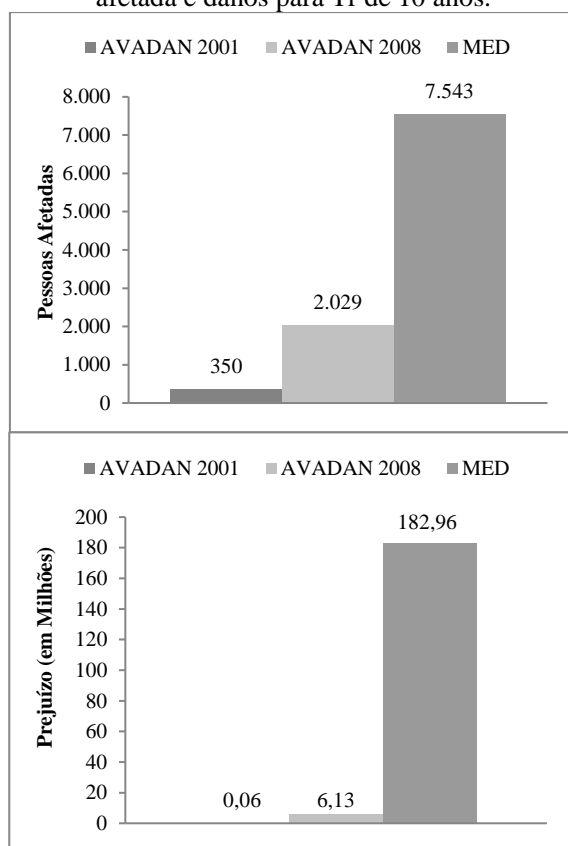
Quadro 11 – Dados dos danos e prejuízos dos registros de eventos AVADAN e FIDE.

	Eventos	Danos humanos	Danos materiais	Danos ambientais	Danos econômicos	Danos sociais
		Total (pessoas)	Total (mil R\$)	Total (mil R\$)	Total (mil R\$)	Total (mil R\$)
AVADAN	Inundações 1/10/2001	350	54	3	-	-
	Enxurradas 22/11/2008	2.029	1.526,25	2.000	2.395,62	203,4
	Deslizamentos/ Inundações 08/09/2011	36.774	35.539	1.500	40.768,98	943
FIDE	Eventos	Danos Humanos	Danos Materiais	Prejuízos econômicos públicos	Prejuízos econômicos privados	
		Total (pessoas)	Total (R\$)	Total (R\$)	Total (R\$)	
	Inundações 09/06/2014	-		-		-

Fonte dos dados: S2ID (2017).

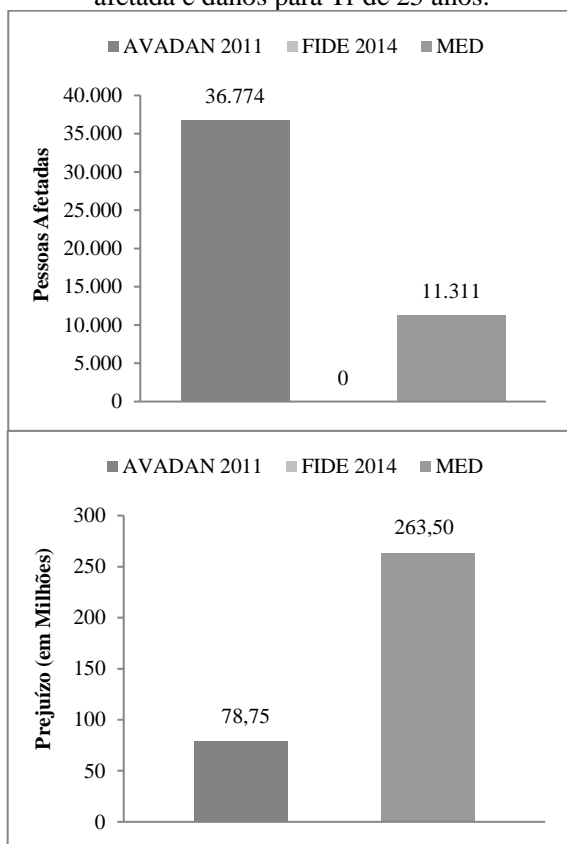
Nas figuras 20 e 21 são apresentadas as comparações das metodologias, AVADAN, FIDE e MED, em cada cenário para os tempos de retorno considerados: 10 e 25 anos. Não foi considerado o Tr de 5 anos devido a não ocorrência (ou registro) de um evento dessa magnitude no município que tenha gerado um relatório de dano.

Figura 20 – Comparação entre metodologias considerando população afetada e danos para Tr de 10 anos.



Fonte: elaborado pela autora

Figura 21 – Comparação entre metodologias considerando população afetada e danos para Tr de 25 anos.



Fonte: elaborado pela autora

Os resultados obtidos com a comparação dos danos mostraram variabilidade para todos os eventos. A comparação de população afetada mostra contagem superestimada pelo MED para Tr 10 anos e contagem subestimada para Tr 25 anos, o que pode ser explicado devido ao AVADAN do evento de 2011 ter considerado toda a população do município como afetada. Quaranteli (2001) citando como exemplo um evento de inundação e fluxo de detritos ocorrido na Venezuela em 1999 argumentou que alguns relatórios do Banco Mundial reportaram 50.000 mortos para este evento, já outros relatórios da mesma instituição reportaram 5.000 mortos. A Defesa Civil nacional da Venezuela estimou

em 5.800 o número de vítimas, já as autoridades locais estimaram entre 20.000 a 25.000 enquanto pesquisadores que realizaram trabalhos de campo estimaram em 3.500 mortos, que provavelmente foi o mais próximo da realidade. Nesse sentido, os relatórios emitidos pela Defesa Civil podem conter incertezas quanto ao número de pessoas afetadas.

O evento de 2008 foi um dos mais extremos em Santa Catarina. No relatório de AVADAN consta como destruídas 12 residências somando R\$ 300 mil em prejuízo. Isto indicaria um valor de R\$ 25 mil reais por residência. Além disso, o custo dos danos em residências consideradas danificadas foi estimado em R\$ 600 mil para 130 casas, o que resultaria em apenas R\$ 5.000 de danos estimados para cada casa danificada. Contudo, assumindo o valor do CUB de novembro de 2008, data do evento, com o valor estimado para as residências destruídas (R\$ 25.000), seria possível construir uma casa de aproximadamente 26 m². Dessa maneira, os danos apresentados no AVADAN carecem de precisão.

As inundações de 2011 e 2014 no rio Benedito que afetaram Timbó, foram particularmente intensas, causando danos diretos e indiretos. O somatório dos danos decorrentes do evento, informados pelo município em 2011, foi de 78,7 milhões de reais. Já o FIDE de 2014 não registrou valores de danos.

Uma das vantagens da proposta apresentada é a determinação de uma metodologia de apoio e alternativa para a estimativa de danos, sem a subjetividade inerente no uso do FIDE e, anteriormente, do AVADAN.

Outra análise que pode ser feita é quanto às metodologias empregadas para a avaliação de danos. A título de exemplo, no preenchimento do AVADAN, os valores nos campos de danos materiais e prejuízos eram multiplicados por 1.000. O que permitia inconsistências no registro de valores ao não considerar a multiplicação do campo. Verificando-se ainda, discrepâncias quando comparada a relação entre os valores informados e os valores unitários aproximados de mercado. Enquanto que atualmente, uma das contrariedades com o FIDE encontra-se na lacuna dos dados registrados. De maneira geral, os dados como de número de atingidos ou mortos não foram documentados, assim como informações sobre prejuízos econômicos que não constam nos relatórios. Os principais responsáveis pelo preenchimento do FIDE são os profissionais que atuam na Defesa Civil, que não precisam necessariamente de nenhuma formação específica, ou outros representantes oficiais do respectivo estado ou município afetado (CEPED UFSC, 2014).

O propósito fundamental das metodologias apresentadas é registrar a ocorrência do desastre, juntamente com uma estimativa de danos

decorrentes do desastre, para que o ente federado (estado ou município) possa solicitar o reconhecimento das situações de emergência ou de calamidade pública (CEPED UFSC, 2014). Nesse sentido, a análise comparativa entre AVADAN (metodologia fora de uso) e FIDE é apresentada no Quadro 12, que apresenta as alterações sofridas em relação às metodologias.

Quadro 12 – Análise comparativa entre estimativas no AVADAN e FIDE.

	AVADAN	FIDE
Danos Humanos	X	X
Danos Materiais	X	X
Danos Econômicos	X	
Danos Sociais	X	
Prejuízos econômicos públicos		X
Prejuízos econômicos privados		X

Fonte: elaborado pela autora.

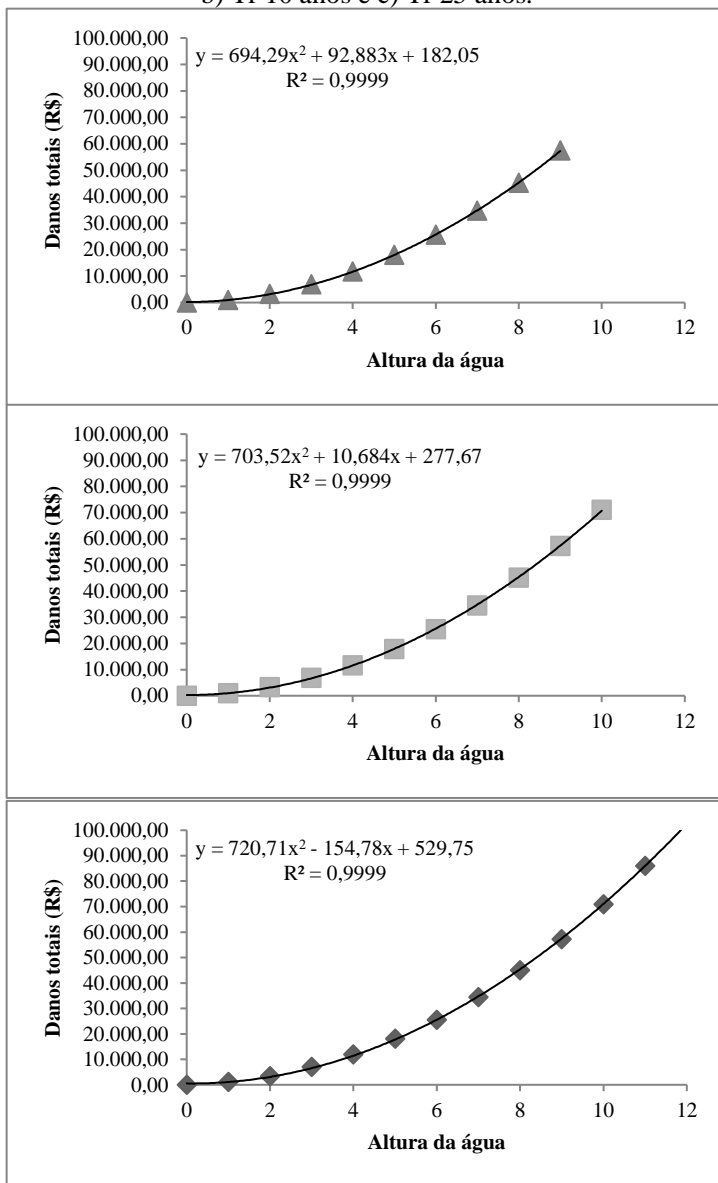
O procedimento de avaliação no FIDE é realizado com base na comparação dos prejuízos avaliados frente ao PIB do ente afetado. Nesse sentido, não apresenta especificamente os métodos sobre como obter ou estimar os dados apresentados. Os danos materiais são estimados a partir do somatório dos valores de instalações públicas de saúde, de ensino, de uso comum, prestadoras de outros serviços, unidades habitacionais e obras de infraestrutura destruídas ou danificadas pelo desastre. Além disso, evidencia-se a impossibilidade de avaliar adequadamente os danos humanos dada a dificuldade de valorar em termos monetários, como exemplo, perdas relativas aos bens pessoais.

Assim, o FIDE não atende o objetivo de mensurar os danos totais de um desastre evidenciado pelo curto espaço de tempo (120 horas) em que a notificação precisa ser realizada, prejudicando a acurácia das estimativas dos danos. Outra falha são as diferenças nos critérios de estimativa, à superestimação dos danos e prejuízos pelos gestores e distintos processos de coleta e armazenamento dos dados.

4.4 CURVAS DE DANOS

Com base nos resultados, procedeu-se à construção das curvas com a média dos danos totais e altura da água. A seleção da função apropriada de danos causados pela inundação levou em consideração os tempos de retorno, diferentes alturas da água e, também, os valores obtidos na estimativa danos (Figura 22).

Figura 22 – Curvas de danos para diferentes magnitudes: a) Tr 5 anos, b) Tr 10 anos e c) Tr 25 anos.



Fonte: elaborado pela autora

As curvas obtidas mostram danos consideráveis segundo a altura da água. Esses resultados constituem-se em instrumento para a estimativa de danos associados a inundações, podendo contribuir à avaliação de custo-benefício de alternativas de controle e proteção.

Ainda se observa que para um evento com cota 7 m e Tr de 5 anos, o dano total seria R\$ 57.503,25, para 8 m e Tr de 10 anos, seria de R\$ 71.083,22. E por fim, para 9 m e Tr de 25 anos, R\$ 103.019,60.

Ao analisar o comportamento das curvas, considerando os danos, observa-se a similaridade entre Tr de 5, 10 e 25 anos e cotas até 9 m. Devido a adoção do CUB para uma propriedade padrão, o aumento da profundidade de inundação afetou igualmente às edificações. Uma vez que para baixos padrões construtivos haveria uma tendência de aumento dos danos à medida que se aumenta a profundidade da inundação. Isso significa que, se a qualidade da propriedade antes do evento é boa, os impactos sobre ela serão reduzidos, se existir, portanto, capacidade de suporte.

Os resultados obtidos mostram que as curvas de danos são uma importante ferramenta para a estimativa, podendo também ser utilizadas na análise de custos e controle desses eventos. As curvas descrevem os resultados da estimativa de danos e quando aplicadas a diferentes cenários, permitem uma comparação do impacto. Além de mostrar a relação entre a profundidade da inundação e os danos causados.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As contribuições da geografia são fundamentais à compreensão dos fenômenos que resultam em desastres. Diante dessa perspectiva, este estudo apresentou uma proposta metodológica para estimativa dos danos e mapeamento de risco associados a inundações na área urbana de Timbó/SC com base nas alturas da água obtidas com o HAND, na planta de valores do município, no CUB e fator de correção.

Foi observado que para um evento com tempo de retorno de 25 anos, similar ao ocorrido em 2011, os danos totais entre R\$ 0,00 e R\$ 2.904,04, ocupam 42% da área urbana. Ainda se destaca que da totalidade de área urbana atingida, apenas aproximadamente 9% tem danos com altos valores por m², que variam de R\$ 12.584,19 a R\$ 24.587,55.

Na análise da população exposta, a associação da altura da água e de informações do censo permitiram significativas observações para a área urbana. Ainda que o recenseamento a cada 10 anos não seja ideal devido à dinâmica populacional, foi possível identificar os setores com maior concentração de população exposta para diferentes magnitudes. Assim, verificou-se que para tempos de retorno de 5, 10 e 25 anos, respectivamente, 16%, 22% e 33% da população total da área urbana pode ser considerada como população exposta, sendo o fator proximidade, distância do canal, importante nessa condição.

Nesse contexto, considerando a população exposta e a estimativa de danos, as três zonas de risco: alto, moderado e baixo foram identificadas para a área urbana do município. Foi possível, então, verificar que a população localizada na área central e próxima ao rio do Cedros e Benedito é a mais afetada, tanto em função da exposição quanto do risco. As análises podem contribuir na criação de instrumentos que auxiliem à população sobre a percepção de risco e dos prejuízos em consequência da ocupação de áreas de risco. Assim como, ao planejamento de ações preventivas para realocação da população mais exposta, visando sua proteção e segurança.

A comparação dos eventos evidenciou a necessidade de se aperfeiçoar a metodologia de estimativa de danos. Os registros de danos apresentados, tanto no AVADAN como no FIDE, retratam a subjetividade das metodologias adotadas, prejudicando a capacidade de determinar perdas e danos para uma avaliação rápida dos recursos financeiros prioritários. Nesse sentido, devido à estimativa de danos relacionados às inundações ser tão crítica à gestão de risco, a mensuração dos danos deve ser tão confiável e precisa quanto possível.

Os resultados obtidos podem contribuir para mapeamento das áreas de risco de inundação em escala municipal e servir de base para as políticas públicas de planejamento e gestão da ocupação dessas áreas. Pela disponibilidade gratuita dos dados e aplicabilidade rápida e satisfatória, essa metodologia pode ser empregada em outras regiões, respeitando-se as especificidades locais. E também, com o propósito de apoiar a tomada de decisões no que se refere à priorização da avaliação de planos de proteção a inundações para a realização da análise custo-benefício.

Além disso, os danos relacionados aos eventos extremos ainda são cercados de subjetividade, faltando assertividade para estimar os prejuízos para diferentes tipologias de desastres. Dessa maneira, o modelo aqui proposto pode-se tornar uma ferramenta útil para o repasse de recursos para a reconstrução após o desastre, ou ainda, como possibilidade ao governo para planejamento orçamentário anual mais adequado. Assim como, para avaliar a viabilidade de uma medida estrutural, visto que em muitos casos as obras de prevenção só são construídas quando o dano supera o valor da obra.

Ressalta-se ainda que o presente método, mesmo usando dados gratuitamente disponíveis, carece de informações cadastrais e bases cartográficas em escalas adequadas, demonstrando a importância da disponibilidade e constante atualização dos dados cadastrais.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14.653-2**: Avaliação de bens – Parte 2: Imóveis urbanos. Rio de Janeiro, 2011. 30 p.

ABRANTES, G. **Sistemas de Informação Geográfica**: Conceitos. 1998. Disponível em: <<http://www.isa.utl.pt/dm/sigdr/sigdr01-02/SIGconceitos.html>> Acesso em: 27 out. 2015.

ALBANO, R.; SOLE, A.; ADAMOWSKI, J.; MANCUSI, L. **A GIS-based model to estimate flood consequences and the degree of accessibility and operability of strategic emergency response structures in urban areas**. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 2014.

ALCÁNTARA-AYALA, I. **Geomorphology, natural hazard, vulnerability and prevention of natural disasters developing countries**. Geomorphology, v. 47, 2002. 107-124 p.

AUMOND, J. J. Geologia e Paleoambiente. In: **Bacia do Itajaí**: Formação, recursos naturais e ecossistemas. Blumenau, EDIFURB, 2005. 20-44p.

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

_____. **Decreto Federal nº 7.257, de 04 de agosto de 2010**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/Decreto/D7257.htm> Acesso em: 11 dez. 2016.

_____. Ministério da Integração Nacional. **Instrução Normativa nº 1, de 24 de agosto de 2012**. n. 169. Brasília: Diário Oficial da União, 2013b. 30 p. Disponível em: <http://www.mi.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=822a4d42-970b-4e80-93f8-dae395a52d1&groupId=301094> Acesso em: 22 de jul. 2016.

_____. **Manual de Planejamento em Defesa Civil**. Volume 1. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 1999. 134 p.

_____. Secretaria Nacional de Defesa Civil. **Banco de dados e registros de desastres**: Sistema Integrado de Informações sobre Desastres - S2ID. 2017. Disponível em: <<http://s2id.integracao.gov.br/>>. Acesso em: 10 ago. 2017.

BERTI, T. L. **Elaboração de Manchas de Inundação para o Município de Santa Rita do Sapucaí, utilizando SIG**. Itajubá, 2010.

BROWN, J.D. AND DAMERY, S.L. **Managing Flood Risk in UK**: Towards an Integration of Social and Technical Perspectives. Transactions of the Institute of British Geographers. 2002. 412-426 p. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/1475-5661.00063>> Acesso em: 10 agosto 2017.

CÂMARA, G. et al. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**. 10a. Escola de Computação, UNICAMP, 1996. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/anatomia.pdf>> Acesso em: 05 nov 2015.

CANÇADO, V. L. **Consequências econômicas das inundações e vulnerabilidade**: Desenvolvimento de metodologia para avaliação do impacto nos domicílios e na cidade. Tese. (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2009. 394 p.

CENTRO DE OPERAÇÕES DO SISTEMA DE ALERTA. **Picos de enchentes**. Disponível em <<http://ceops.furb.br/index.php/sistema-de-alerta/picos-de-enchentes>>. Acesso em: 02 set. 2017.

_____. **Cota Enchente de Timbó**. 2013. Disponível em: <www.timbo.sc.gov.br/upload/_fixo/Cotas-de-Enchente-de-Timbo.pdf> Acesso em: 01 mar. 2018

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRE. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2012**: volume Santa Catarina. 2ª Ed. Florianópolis: CEPED UFSC, 2013.

_____. **Curso de capacitação para usuários do Sistema Integrado de Informações sobre Desastres – S2ID**: Módulos

de registro e de reconhecimento. – 3. ed. - Florianópolis: CEPED UFSC, 2014. 178 p.

_____. **Relatório de danos materiais e prejuízos decorrentes de desastres naturais no Brasil: 1995 - 2014/** Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. Florianópolis: CEPED UFSC, 2016. 230 p.

COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPEIAS. **Proposal for a directive of the european parliament and of the council on the assessment and management of floods.** Bruxelas: CCE, 2006. Disponível em:

<<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2006:0015:FIN:EN:PDF>> Acesso em: 02 set 2017.

CORDERO, A.; SALVADOR, D.; Refosco; SEVERO, D. L.. **Cotas-Enchente do município de Blumenau.** In: XVII Congresso Brasileiro de Meteorologia. Gramado, 2012.

CORSI, A.C.; AZEVEDO, P.B.M.; GRAMANI, M.F. **Valoração de danos decorrentes da inundação em São Luiz do Paraitinga.** Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade. v. 1, n. 2. Florianópolis, 2012. 126-145 p.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações: 1:25.000 (livro eletrônico): nota técnica explicativa/coordenação Omar Yazbek Bitar.** São Paulo: IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo; Brasília, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2014.

DE MOEL, H.; VAN ALPHEN, J.; AERTS, J. C. J. H. **Flood maps in Europe: methods, availability and use.** Natural Hazards and Earth System Sciences, 2009. 289-301 p.

DIAS, L.; BRAUNSCHWEIG, F.; GROSSO, N.; COSTA, H.; GARRETT, P. **Guia Metodológico para a Produção de Cartografia de Risco de Inundações.** Fundação da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. 2014. Disponível em:

<<http://cirac.apseguradores.pt/outputs/guia-metodologico/guia-risco-pt.pdf>> Acesso em: 05 jul 2017.

DOOGE, J. C. **An agenda of science for environment and development into the 21st century**. I. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1992.

DUARTE, P.S.C.; BARATELLA, R.; PAIVA, A.S. **As doenças de veiculação hídrica: um risco evidente**. III Congresso Internacional trabalho docente e processos educativos. ISSN 22-37-8022. 2015.

EMERGENCY MANAGEMENT AUSTRALIA. **Disaster Loss Assessment Guidelines**. In: Australian Emergency Manuals Series, Part III, Volume 3, Guide 11. 2002. Disponível em: <www.em.gov.au/Documents/Manual27-DisasterLossAssessmentGuidelines.pdf> Acesso em: 02 set. 2017.

EMERGENCY EVENTS DATABASE. **The International Disaster Database**. The OFDA/CRED. Centre for Research on The Epidemiology of Disasters. Disponível em: <<http://www.emdat.be/database>>. Acesso em: 10 abr 2016.

FADEL, A. W. **Incorporação do Risco de Prejuízo no Gerenciamento de Medidas de Controle de Inundação**. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) Universidade Federal do Rio Grande Do Sul. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas, 2015. 113 p.

FADEL, A. W.; MARQUES, G.; GOLDENFUM, J. A.; MEDELLÍN-AZUARA, J.; TILMANT, A. **Full Flood Cost: Insights from a Risk Analysis Perspective**. Vol 144, No 9. Journal of Environmental Engineering. 2018.

FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY. **Flood Velocity Determination**. PROTECTING Manufactured Homes from Flood and other Hazards. A Multi-Hazard Foundation and Installation Guide. 2013. 8 p.

FRAGOSO, C. R.; MARQUES, D. M.; FINKLER, T.F. **Modelagem ecológica em ecossistemas aquáticos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/289523599_Modelagem_Ecologica_em_Ecosistemas_Aquaticos> Acesso em: 16 set. 2017.

FRANK, B; PINHEIRO, A. (Org.). **Enchentes na Bacia do Itajaí: 20 anos de experiências**. Blumenau: Edifurb, 2003.

GRACIOSA, M.C.P. **Modelo de seguro riscos hidrológicos com base em simulação hidráulico-hidrológica como ferramenta de gestão do risco de inundações**. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2010. 163 p.

GOERL, R. F.; KOBAYAMA, M. **Considerações sobre as inundações no Brasil**. 2005. Disponível em: <http://www.labhidro.ufsc.br/Artigos/ABRH2005_inundacoes.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Timbó. *In: IBGE Cidades*. 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat>>. Acesso em: 11 nov. 2016.

_____. **Sinopse do Censo Demográfico 2010**. 2010b. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 11 jan. 2017.

_____. **Geomorfologia: síntese temática**. In: PROJETO Gerenciamento Costeiro, 3ª fase. Florianópolis: SPF/SC, 2002. 56p. Disponível em: <<http://morrodo Bau.ufsc.br/files/2011/03/Geomorfologia.pdf>> Acesso em: 11 dez. 2017.

JONKMAN, S.; MAASKANT B.; BOYD E.; LEVITAN M. **Loss of life caused by the flooding of New Orleans after hurricane Katrina**: a preliminary analysis of the relationship between flood characteristics and mortality. In: 4th International Symposium on Flood Defence: Managing Flood Risk, Reliability and Vulnerability. Toronto, 2008.

JONOV, C. M. **Avaliação dos danos às edificações causados por águas de inundações e estudo de alternativas de proteção para tornar as edificações mais resilientes**. Tese. (Doutorado em Engenharia Civil. Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Minas Gerais: Belo Horizonte, 2012.

KLEIN, R.M.; PASTORE, U.; COURA NETO, A. B. **Vegetação**. In: **Atlas de Santa Catarina**. Florianópolis: Gabinete do planejamento e Coordenação Geral de Santa Catarina, 1986. 35-36 p.

KOBIYAMA, M. (Org.). **Prevenção de desastres naturais**: conceitos básicos. Curitiba: Ed. Organic Trading, 2006. Disponível em: <<http://logatti.edu.br/images/prevencaodesastres.pdf>> Acesso em: 11 nov 2016.

KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. **World Map of Köppen-Geiger climate classification updated**. KOUSKY, V. E. Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American sector. v. 15, n. 3. Meteorologische Zeitschrift, 2006. 259-263 p.

KREIBICH, H.; PIROTH, K.; SEIFERT, I.; MAIWALD, H.; KUNNERT, U.; SCHWARZ, J.; MERZ, B.; THIEKEN, A. H.. **Is flow velocity a significant parameter in flood damage modelling?** v.9, ed.5. Natural Hazards and Earth System, 2009. 1679- 1692 p.

LUINO, F., C, C. G., BIDDOCU, M., AGANGI, A., GIULIETTO, W., GODONE, F., AND NIGRELLI, G.: **Application of a model to the evaluation of flood damage**. 13. GeoInformatica, 2009. 339–353 p.

MACHADO, M. L., NASCIMENTO, N, BAPTISTA, M. B., et al. **Curvas de danos de inundação versus profundidade de submersão**: desenvolvimento de metodologia. v. 2, n. 1. Porto Alegre: REGA, 2005. 35-52 p.

MASKREY, Andrew. **Los desastres no son naturales**. Colômbia: Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina (LA RED), IntermediateTechnologyDevelopmentGroup (ITDG), 1993.

MARANDOLA JR., E.; HOGAN, D.J. **Vulnerabilidades e riscos**: entre Geografia e Demografia. Revista Brasileira de Estudos de População, São Paulo, Abep, v. 22, n. 1, p. 29-53, jan./jun. 2005.

MARCELINO, E. V. **Desastres Naturais e Geotecnologia**: Conceitos Básicos. Santa Maria: INPE, 2008.

MARGARIDA, C.; NASCIMENTO, C. A. **Manual de Defesa Civil**. Florianópolis: CEPED UFSC, 2009. 108 p.

MENDIONDO, E.M. **Flood risk management of urban waters in humid tropics: early warning, protection and rehabilitation**. In: TUCCI, C.E.; GOLDENFUM, J. (orgs.) *Workshop on Integrated Urban Water Management in Humid Tropics*, UNESCO IHP-VI. Foz do Iguaçu, 2005. 1-14 p.

MENGUE, V. P.; SCOTTÁ, F. C.; SILVA, T. S. S.; FARINA, F. **Utilização do Modelo HAND para mapeamento das áreas mais suscetíveis à inundação no Rio Uruguai**. V. 43. Nº 1. Jan.-Abr. ISSN: 1807-9806. *Pesquisas em Geociências*, 2016. 41-53 p. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/igeo/pesquisas/4301/034301.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

MERZ, B., AND A. H. THIEKEN. **Flood risk analysis: Concepts and challenges**, *Oesterr. Wasser Abfallwirtschaft*, 56(3-4). 2004. 27–34 p.

MESSNER, F., PENNING-ROUSELL, E., GREEN, C., MEYER, V., TUNSTALL, S., AND VAN DER VEEN, A. **Evaluating flood damages: guidance and recommendations on principles and methods**. FLOODsite Project Deliverable, 2007. Disponível em: <http://www.floodsite.net/html/partner_area/project_docs/T09_06_01_Flood_damage_guidelines_d9_1_v2_2_p44.pdf> Acesso em: 11 abr. 2018.

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

MOORE, I., GRAYSON, R. & LADSON, A. **Digital terrain modeling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications**. *Hydrological Processes*, 1992. 3-30 p.

MORAES, I. C.; CONCEIÇÃO, F. T.; CUNHA, C. M. L.; MORUZZI, R.B.. **Comparação de metodologias na definição de fluxos acumulados a partir de Modelos Digitais de Elevação do terreno aplicado a suscetibilidade de inundações**. v.19, n.2. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 2014. 223-235 p.

MOREIRA, J. G. V. **Método para análise de frequência e de gestão do risco de cheias, a partir da informação hidrometeorológica, sob a condição de nãoestacionariedade.** 2016 185 p. Disponível em: <<http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/1111D.PDF>> Acesso em: 30 abr. 2017.

NAGEM, F. R. M.. **Avaliação econômica dos prejuízos causados pelas cheias urbanas.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: COPPE, 2008. 114 p.

NASCIMENTO, N., BAPTSTA, M., SILVA, A., MACHADO, M.L., LIMA, J.C., GONÇALVES, M., SILVA, A., DIAS, R. AND MACHADO, E. **Flood-damage curves: methodological development for the Brazilian context.** Water Practice Technol. 2006. Disponível em: <www.iwaponline.com/wpt/001/01/default.htm> Acesso em: 12 abr 2017.

NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; HODNETT, M.; RENNÓ, C. D.; RODRIGUES, G.; SILVEIRA, A.; WATERLOO, M.; SALESKA, S. **Height above the Nearest Drainage, a hydrologically relevant new terrain model.** v. 404, n. 1-2. Journal Hydrology, 2011. 13–29 p.

OLIVERI, E.; SANTORO, M. **Estimation of urban structural flood damages: the case study of Palermo.** Urban Water 2. 2000. 223–234 p. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MIimg&_imagekey=B6VRE-42BTKW7-5-24&-_CDI=6222&_USER=984977&_orig=search> Acesso em: 14 jun 2017.

PENNING-ROSWELL, E.C., CHATTERTON, J.B. **The Benefits of Flood Alleviation: A Manual of Assessment Techniques.** Farnborough, England, Saxon House, 1977.

PIRES, E. G.; BORMA, L. A. **Utilização do modelo HAND para o mapeamento de bacias hidrografias em ambiente de Cerrado.** Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. Foz do Iguaçu: INPE, 2013.

POLIDO, W. **Seguros para Riscos Ambientais**. V. 1, Nº 0. Revista Brasileira de Risco e Seguro, 2005. Disponível em: <http://www.rbrs.com.br/arquivos/rbrs_0_8.pdf> Acesso em: 30 abr. 2018.

PROHIMET; CYTED; WMO. **Documentos de divulgação**. In: PROHIMET - Jornada Internacional de Gestão de Risco de Inundações e Deslizamentos, São Carlos. PROHIMET. São Carlos: USP/EESC/DHS/NIBH, v. 1. p.1-21, 2007.

PROVERBS, D. G., SOETANTO, R. **Flood Damaged property a Guide to Repair**. England: Blackwell Publishing, 2004.

QUARANTELLI, E. L. **Statistical and conceptual problems in the study of disasters**. Disaster Prevention and Management: An International Journal, v. 10, n. 5. 2001. 325-338 p.

RENNÓ, C. D., et al. **HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia**, Remote Sensing of Environment. 2008.

SALGADO, J. C. M. **Avaliação econômica de projetos de drenagem e de controle de inundações em bacias urbanas**. Dissertação. (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) Rio de Janeiro: Escola de Engenharia da UFRJ, 1995. 113 p.

SANTOS, R. F. **Vulnerabilidade Ambiental: desastres naturais ou fenômenos induzidos?** Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007. 192p. Disponível em: <http://fld.com.br/uploads/documentos/pdf/Vulnerabilidade_Ambiental_Desastres_Naturais_ou_Fenomenos_Induzidos.pdf> Acesso em: 30 mai. 2016.

SIEBERT, C.F. **Estruturação e desenvolvimento na rede urbana do Vale do Itajaí**. Blumenau: Ed. da Furb, 1996. 74 p.

SILVA, W.F., MOLLERI, G.S.F., PINTO, M.B.P. & ARAÚJO JUNIOR, G.J.L.D. **Análise do modelo HAND para a indicação de áreas suscetíveis a eventos críticos de cheias**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. Foz do Iguaçu. Anais. São José dos Campos, INPE, v. 1, 2013. 7011-7008 p.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Custo Unitário Básico (CUB/m²):** principais aspectos. Belo Horizonte: SINDUSCON-MG, 2007. 112 p.

SILVEIRA, W. N.; KOYBAMA, M.; GOERL, R. F.; BRANDENBURG, B. **História das Inundações em Joinville:** 1851-2008. Curitiba: Organic Trading, 2009.

SMITH, D. I.: **Flood damage estimation** – A review of urban stage damage curves and loss functions. Water SA, 1994. 231–238 p.

SCHULT, S. I. M.; PINHEIRO, A. **Ocupação e Controle das Áreas Urbanas Inundáveis.** In: Enchentes na Bacia do Itajaí: 20 Anos de Experiências. 1ª edição. Blumenau: FURB, 2003. 173-190 p.

TACHINI, M., KOBAYAMA; M. LOESCH; C. SEVERO; D. L. SILVA, H. S. e CORDERO, A. **Avaliação de danos de inundações ocorridas em Blumenau/SC nos anos 1983, 1984, 1992 e 2001.** XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Campo Grande, 2009. Disponível em: <http://ceops.furb.br/index.php/publicacoes/artigos/doc_download/7-avaliacaodanosblumenauxviiiisbrh> Acesso em: 09 mai. 2018.

TASCA, F. A.; FINOTTI, A. R.; POMPÊO, C. A.; GOERL, R. F. **O Papel da Drenagem Urbana na Prevenção de Desastres Hidrológicos na Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí Açu.** Revista Brasileira de Cartografia nº 69/1. Rio de Janeiro, 2017. 129-142 p.

TIMBÓ. **Prefeitura de Timbó.** Disponível em: <<http://www.timbo.sc.gov.br/>> Acesso em: 11 de jan. 2017.

_____. **Lei Complementar Nº 193,** de 28 de dezembro de 2000 institui a legislação tributária municipal. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a2/sc/t/timbo/lei-complementar/2000/19/193/lei-complementar-n-193-2000-institui-a-unidade-fiscal-do-municipio-altera-a-lei-complementar-n-142-de-21-12-98-e-da-outras-providencias>> Acesso em: 11 de mai. 2018.

TOMINAGA L. K. (Org.). **Desastres naturais:** conhecer para prevenir. 1. ed. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. Disponível em:

<www.igeologico.sp.gov.br/downloads/livros/DesastresNaturais.pdf>
Acesso em: 13 nov. 2016.

TUCCI, C. E. M. **Controle de enchentes**. In: _____. Hidrologia: ciência e aplicação. 2. ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS/ABRH, 2000. 621-658 p.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3ª ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2002. 943 p.

TUCCI, C.E.M. **Inundações Urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: UFRGS, 2003.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Departamento de Geociências – Ministério das Cidades/SNAPU. **Elaboração de cartas de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais no município de Timbó, Estado de Santa Catarina**. Relatório Técnico Parcial, 2018.

UNITED NATIONS ECONOMIC AND SOCIAL COMMISSION FOR ASIA AND THE PACIFIC. **Disaster Impact Calculator**: Using the ECLAC Methodology. 1972. Disponível em: <www.iiasa.ac.at/Research/RAV/conf/IDRiM06/pres/torrente.xls>
Acesso em: 03 jun. 2017.

UNITED NATIONS INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION. **Terminology on Disaster Risk Reduction**. 2009. Disponível em: <http://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologyEnglish.pdf>
Acesso em: 09 jun. 2017.

UNITED STATES ARMY CORPS OF ENGINEERS. **National Economic Development Procedures Manual**: Urban Flood Damage. IWR Publications, 2006.

VETERE ARELLANO, A.L., NORDVIK, J.P., RANGUELOV, B. **In search of a common methodology on damage estimation: from an European perspective**. In: VAN DER VEEN, A., VETERE ARELLANO, A.V., NORDVIK, J.P. In search of a common methodology on damage estimation—workshop proceedings, Delft. 2003. 195–206 p. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/296063760_From_hazard_to_impact_the_flood_damage_assessment_tools_for_mega_cities> Acesso em: 04 nov 2017.

VIBRANS, A. C. **A cobertura florestal da bacia do Rio Itajaí: elementos para uma análise histórica.** Tese (Doutorado em Geografia), UFSC, Florianópolis, 2003. 231p.

WHYTE, A.V.T. **From hazard perceptions to human ecology.** In: WHITE, G. F.; KATES, R. W.; BURTON, I. Themes from the work of Gilbert F. White. 2 ed. Chicago: University of Chicago Press, 1986.

WMO/GWP ASSOCIATED PROGRAMME ON FLOOD MANAGEMENT. **Integrated flood management tools series: conducting flood loss assessments.** 2013. Disponível em: <http://www.apfm.info/publications/tools/APFM_Tool_02.pdf> Acesso em: 03 jun. 2017.

ZONSEIN, J. **Índice de Risco de Cheia como Ferramenta de Gestão de Enchentes.** Dissertação. (Ciências em Engenharia Civil) Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2007.