

PROPOSTA METODOLÓGICA PARA ESTIMAR DANOS RELACIONADOS À INUNDAÇÃO EM ÁREAS URBANAS

Methodological proposal for estimating damage related to flood in urban areas

Daniela Prá Silva de Sousa
Universidade Federal de Santa Catarina
Programa de Pós-Graduação em Desastres Naturais
Campus Universitário – Florianópolis/SC
danielapraa@gmail.com

Roberto Fabris Goerl
Universidade Federal de Santa Catarina
Departamento de Geociências
Campus Universitário – Florianópolis/SC
roberto.f.goerl@ufsc.br

Resumo

O conhecimento dos 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 cadastrais. O principal objetivo do presente trabalho foi propor um método de estimativa de danos associados às inundações em áreas urbanas com base na planta de valores. A metodologia utiliza o modelo HAND (Height Above the Neareast Drainage) integrado ao TerraView para estimar as alturas da inundação, bem como planta de valores e Custo Unitário Básico. Em relação às áreas suscetíveis a inundação, cerca de 10% apresentou alto potencial de dano, enquanto que 42% apresentaram baixos valores de dano estimado. Dessa maneira, desde que haja dados cadastrais, a presente metodologia pode ser aplicada em qualquer município brasileiro.

Palavras-chave: HAND; danos; prejuízos, Timbó

Abstract

Knowing the damages caused by floods makes it possible to improve the actions of public agencies, whether in the reorganization of the urban space, civil protection, in the annual budget planning or the minimization of losses. As reference for this study was used the municipality of Timbó in Santa Catarina state, located in the Hydrographic Basin of the Itajaí-Açu river. The choice of the municipality was due to the history of floods and the availability of cadastral data. The main objective of the present work was to propose a method of estimating flood damage in urban areas based on the value plan. The methodology uses the HAND (Height Above the Neareast Drainage) model integrated with TerraView to estimate flood heights, as well as plant values and Basic Unit Cost. In relation to the flood prone areas, about 10% presented high damage potential, while 42% had low values of estimated damage. In this way, as long as there is territorial data, the present methodology could be applied in any Brazilian municipality.

Keywords: HAND; damage; loss, Timbó

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).

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. No período de 1991 a 2012, conforme o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais, volume Santa Catarina (CEPED UFSC, 2013), foram oficialmente registrados 449 desastres relacionados às inundações. A mesorregião do Vale do Itajaí foi a mais afetada, com um total de 104 eventos extremos, correspondendo a 23% das ocorrências no Estado. As precipitações prolongadas, aliadas a ocupação muitas vezes desordenada 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). Apesar desta realidade, ainda há carências de mapeamentos e metodologias de estimativa de danos.

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. A proteção contra inundações é um bem e serviço público, e requer o conhecimento das consequências dos eventos adversos para o planejamento adequado do orçamento anual. Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo elaborar e apresentar uma metodologia para estimar danos relacionados às inundações, utilizando como parâmetro a altura da água e dados cadastrais.

2. DANOS E PREJUÍZOS RELACIONADOS AOS DESASTRES NATURAIS.

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).

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 (ALCÂNTARA *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 1):

Danos	<ul style="list-style-type: none"> • Destruição total ou parcial de bens físicos existentes na área afetada. • 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.). • Seu valor monetário é expresso em termos de custos de reposição prevaletentes imediatamente antes do evento.
Prejuízos	<ul style="list-style-type: none"> • Mudanças temporárias nos fluxos econômicos decorrentes da catástrofe de inundações. • Ocorrem desde a época do desastre até que a recuperação econômica e a reconstrução completa tenham sido alcançadas, em alguns casos durando vários anos. • 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, eletricidade, 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 expressos em valores correntes.

Quadro 1 – Definição, características e diferenciação entre dano e prejuízo.

Fonte: WMO/GWP, 2013.

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 classificaram os tipos de danos provocados pelas inundações que ainda

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).

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/ano, em 2001. No ano de 2004, esse valor aumentou para U\$ 3 bilhões/ano. (PROHIMET/CYTED/WMO, 2007). De 2008 a 2011 os desastres foram responsáveis por 15 bilhões em prejuízo, sendo o setor habitacional o mais afetado, acumulando prejuízos na ordem de 7 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).

3. MÉTODOS DE ESTIMATIVAS DE DANOS

Os métodos de estimativas de danos são relativamente frequentes na literatura internacional e ainda incipientes 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 (1965) e Bhavnagri e Bugliarello (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 e 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).

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 *Comisión Económica para América Latina y el Caribe* (CEPAL) 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).

Observam-se na literatura, tradicionalmente, dois tipos principais de modelos analíticos utilizados para estimativas de danos relacionados à inundação: microeconômicos e macroeconômicos. 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).

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).

Os danos provocados por inundações 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) e podem ser proporcionais à altura, velocidade e duração da inundação. A principal característica considerada para a estimativa de danos é a altura de 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 usualmente 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 variável mais frequentemente considerada na avaliação do dano e é amplamente aplicada em funções que buscam quantificar custos diretos (ZONENSEIN, 2007; KREIBICH *et al.*, 2009).

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 profundidade de água dentro de um edifício e o dano refere-se ao dano esperado como resultado dessa altura da água (EMERGENCY MANAGEMENT AUSTRALIA, 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 (ZONENSEIN, 2007).

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.

3.1 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. Recentemente, o NOPRED e o AVADAN foram substituídos por um único documento, o Formulário de Informações do Desastre (FIDE). Fica a cargo do município o encaminhamento com informações acerca da situação após o evento extremo, 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.

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.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

Localizado no médio vale do Itajaí no Estado de Santa Catarina, o município de Timbó abrange uma área territorial de 127,405 km² (Figura 1) e possuía 36.774 habitantes em 2010 (IBGE, 2010b). Segundo a classificação de Köppen-Geiger (1928), 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 aqui apresentada, o presente trabalho considerou apenas na área urbana do município.

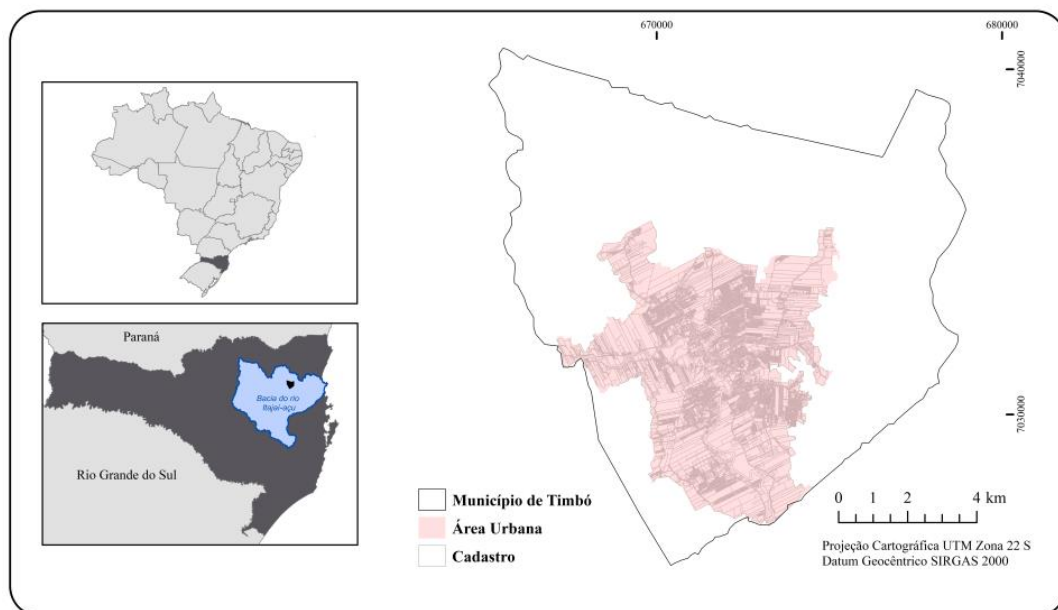


Figura 1 - Localização do município de Timbó/SC

Fonte: Elaborado pelos autores

O município de Timbó possui um vasto histórico relacionado às inundações urbanas 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 enchente 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).

A primeira inundação de que se tem registro em Timbó ocorreu no ano de 1888 – (10 m), seguido pelos anos 1911 (9,30 m) e 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. Já a de novembro de 2008 (8,15 m) foi considerada, a mais “famosa” das inundações, devido à 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 9,40 m e 9,86 m (CEOPS, 2017).

4.2 Cálculo da altura

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), extraíndo 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).

O modelo HAND utilizado para a determinação das alturas está integrado ao software do TerraHidro¹. Para a representação topográfica, utilizou-se o MDT obtido do levantamento aerofotogramétrico realizado pela Secretaria de Desenvolvimento Econômico e Sustentável de Santa Catarina em 2011, com resolução espacial de 1 m.

Após a geração do HAND, o mesmo foi exportado e importado no software ArcGIS Desktop 10.3. A reclassificação do resultado do HAND, para obter a altura da água, teve base nas manchas de inundação elaboradas pelo CEOPS e nos períodos de retorno estabelecidos por Cordero, 2012.

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.

$$H_c = V_{max} - HAND \quad (1)$$

Onde, H_c é a altura da água no pixel, V_{max} é o valor máximo do HAND utilizado no mapeamento e $HAND$ é o valor do HAND para cada pixel.

¹ <http://www.dpi.inpe.br/menu/Projetos/terrahidro.php>

A altura máxima foi obtida após a calibração do HAND, tomando como base o mapeamento da área de inundação elaborado para o evento com tempo de retorno de 25 anos. Dessa maneira, como intervalo de fatiamento utilizou-se o valor de HAND de 12 m, sendo este o valor adotado para V_{max} .

4.3 Dados cadastrais

Segundo definição da 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 m^2 dos terrenos. Para cada zona de valor é atribuído um único valor venal por unidade de área ($R\$/m^2$), para todos os terrenos que pertencem àquela região.

Os dados de valor da terra foram estabelecidos com base na Planta de Valores do 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. O aumento que ocorre anualmente é reajustado considerando o acumulado do IPCA – Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo que foi de 5,91% no ano passado (TIMBÓ, 2018).

Além da planta de valores, foi utilizado o Custo Unitário Básico (CUB/ m^2) de uma propriedade padrão para análise 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. Este valor representa o custo parcial da obra e não o global, isto é, não leva em conta os demais custos adicionais. 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 do dano, utilizou-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 1).

Tabela 1 – Ponderação do FC com base na situação do lote

Situação da Ocupação	Fator de Correção (Fc)
Construído	1,0
Construção em Andamento	0,7
Ruínas/Demolição	0,1
Não construído	0,0

4.4 Estimativa do dano

O dano estimado por lote, tomando por base as relações entre altura da água e prejuízo esperado e determinado pelas equações (2) e (3).

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

$$Valor = Valor \text{ do lote} + (CUB * Fc) \quad (3)$$

Onde *De* é o Dano Estimado, *Valor* é o prejuízo econômico.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A altura da água ilustra a cota atingida e pressupõe indicativos de áreas inundadas. Para simplificar a visualização, a variação dos tons de azul caracterizam as alturas de inundações observadas na Figura 2a. Além disso, a figura apresenta os resultados do HAND, pela classificação das baixas alturas relativas, permitindo identificar as áreas mais suscetíveis às inundações (pixels escuros). Enquanto a Figura 2b apresenta o resultado obtido na determinação do valor dos lotes urbanos, com base nas informações de cadastro e CUB.

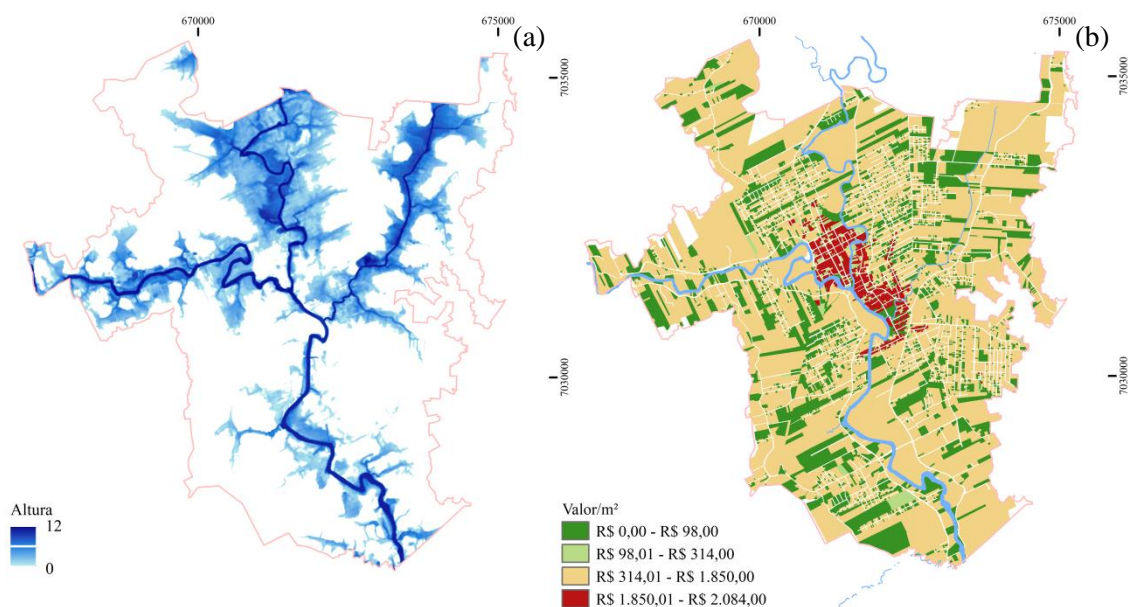


Figura 2 - a) Altura da água com base no HAND e b) Valor obtido com base na equação (3)

Fonte: Elaborado pelos autores

Os danos resultantes pelo evento de inundação foram estimados e relacionados com base na integração da altura d'água e valor/m². Também é importante ressaltar que a metodologia proposta estima os danos com base em dados padrão, como o cadastro e CUB que fornecem informações básicas para a estimativa. A escolha da área urbana como

delimitação ao estudo se deu em conformidade à importância do planejamento urbano e proteção civil, visto que essa área é mais exposta aos eventos extremos.

Dessa forma, a Figura 3, apresenta os pontos críticos de danos, estimados entre R\$ 12.584,19 e R\$ 24.587,55. Enquanto que 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 próximos aos rios. Isto posto, há uma junção dos fatores hidrológicos e cadastrais que resultam em lotes com o maior potencial de dano nas adjacências do canal principal.

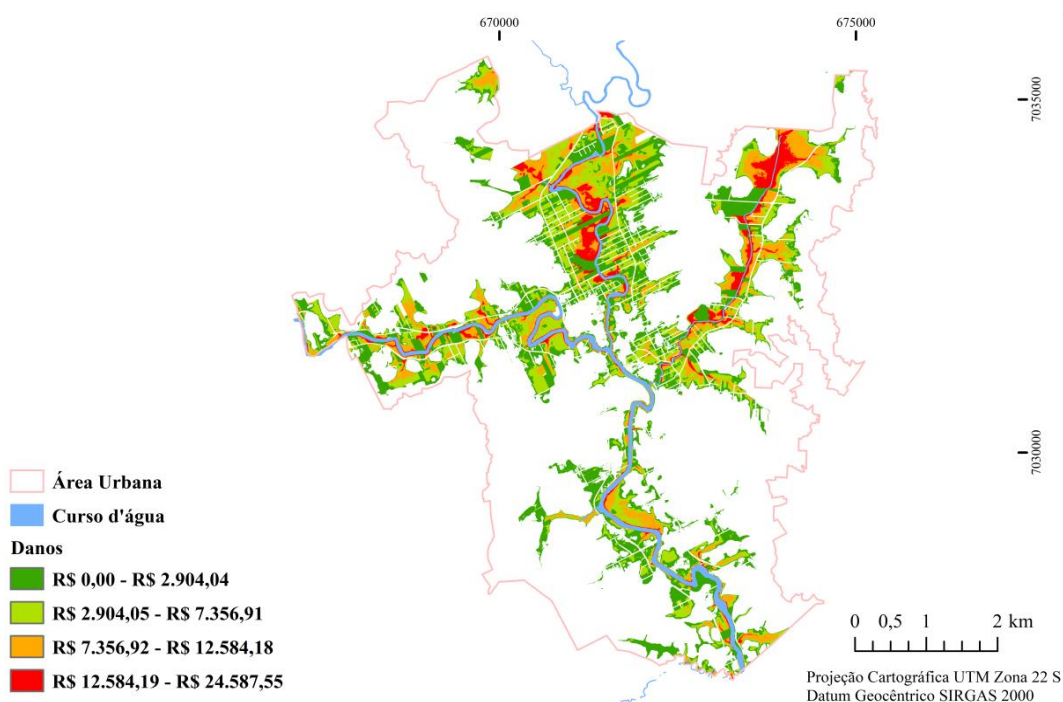


Figura 3 - Dano estimado para área urbana

Fonte: Elaborado pelos autores

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.

O setor central do perímetro urbano não seria atingido pela inundação, mesmo localizado próximo à rede de drenagens, o que pode ser explicado pela elevada altura em relação aos rios mais próximos.

A área urbana tem um total de 38,67 km² e aproximadamente 30% dela está localizada em áreas propensas às inundações. A Figura 4 apresenta o somatório de área para diferentes classes de danos. Nota-se que a classe mais alta do dano estimado ocupa uma pequena parcela

da área urbana. Além da questão histórica da ocupação, pôde-se observar na Figura 2b que os lotes de maior valor e que poderiam gerar um dano estimado elevado se concentram em uma pequena área central.

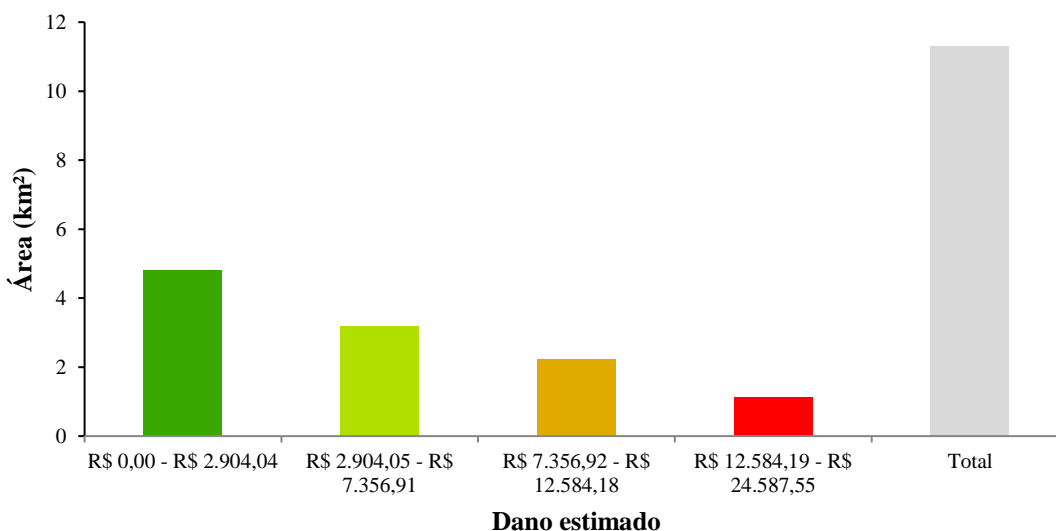


Figura 4 - Dano estimado na área urbana por área de extensão (km²)

Fonte: Elaborado pelos autores

A maior área de extensão em relação à inundação, 4,8 km², tem dano estimado entre R\$ 0,00 e R\$ 2.904,04. Ainda se destaca que de um total de 11,3 km² 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.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo apresentou uma proposta metodológica que integra dados de altura de cheia obtidos com o HAND a um modelo de estimativa de dano para eventos de inundação. Desta forma, o modelo proposto forneceu a estimativa dos danos associado a inundações na área urbana de Timbó/SC com base na planta de valores do município e no CUB.

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 dessa área. 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 métodos objetivos 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 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.

ALCÁNTARA, A.; A. R. R. OUTÃO; C. S. A. B. AFFONSO; E. M. QUEIROZ; L. B. MARTINS; L. C. PINHEIRO; L. A. M. COELHO; M. S. MACHADO; S. L. T. CARVALHO; S. MACHADO; H. M. GITIRANA; A. B. BARROS. **Terminologias básicas na área de defesa civil e segurança civil: construindo pontes para um entendimento intersetorial.** V Seminário Internacional de Defesa Civil – DEFENCIL – São Paulo, 2009. Anais eletrônicos – artigos. Disponível em: Acesso em: 08 jun. 2017.

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

BRASIL. 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.

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: 09 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.

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.

DERM. **Guidelines on the assessment of tangible flood losses**. Department for Natural Resources and Mines, Queensland, Australia. Queensland Government Bulletin. Australia, 2002. 21p. Disponível em: <www.derm.qld.gov.au/water/regulation/pdf/guidelines/flood_risk_management/tangible_flood_damages.pdf> Acesso em: 02 set. 2017.

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.

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.

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

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

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.

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.

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.

MERZ, B.; A. H. THIEKEN. **Flood risk analysis**: Concepts and challenges. *Oesterr. Wasser Abfallwirtschaft*, 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.

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.

NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; HODNETT, M.; RENNO, 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.

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 hidrográficas 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.

RENNO, 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.

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.

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.

TIMBÓ. **Prefeitura de Timbó**. Disponível em: <<http://www.timbo.sc.gov.br/>> Acesso em: 11 de jan. 2018.

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

UNESCAP. **Disaster Impact Calculator**: Using the ECLAC Methodology. United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific. 1972. Disponível em: <www.iiasa.ac.at/Research/RAV/conf/IDRiM06/pres/torrente.xls> Acesso em: 03 jun. 2017.

UNISDR. **Terminology on Disaster Risk Reduction**. 2009. Disponível em: <http://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologyEnglish.pdf> Acesso em: 09 jun. 2017.

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

_____. **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.

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

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.

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