

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA
HÍDRICA

Impactos Socioeconômicos de Inundações do Rio Sapucaí
na Cidade de Itajubá-MG

Alessandro Marques Martins

Itajubá, 2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA
HÍDRICA

Impactos Socioeconômicos de Inundações do Rio
Sapucai na Cidade de Itajubá-MG

Alessandro Marques Martins

Dissertação apresentada ao Programa de Programa do mestrado profissional de Engenharia Hídrica Universidade Federal de Itajubá como parte dos requisitos para a para obtenção do título de Mestre em Engenharia Hídrica.

Área de concentração: Gestão de Recursos Hídricos

Orientador: Prof^ª Dr Benedito Claudio da Silva

Itajubá, 2022

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por tudo que realiza na minha vida.

Agradeço a minha esposa Maria Olivia e meu guerreiro Heitor, peças fundamentais da minha vida, pelo apoio e pela torcida sem fim para a conclusão desta dissertação.

Aos meus pais Sandro e Katia e aos meus irmãos Vanessa e Henrique e a toda família Marques Martins sempre me ajudando e apoiando, incentivando na minha qualificação pessoal.

Agradeço também ao meu avô Sebastiao, que sempre acreditou em mim, me formou como homem e confiando no meu potencial, serei eternamente grato. Agradeço também a sua esposa Lazara por cuidar dele e fazê-lo feliz.

Gostaria de agradecer a todos os professores da Área de Recursos Hídricos da UNIFEI de uma forma geral, mais especificamente ao meu orientador Benedito Cláudio da Silva, pela serenidade com que conduziu esta orientação e por ter sido companheiro nos momentos que precisei.

Aos meus amigos e colegas de mestrado, Thiago Correa e Pedro Leite, pela ajuda mútua nas disciplinas.

Serei sempre grato, apesar da distância, aos meus amigos de faculdade, Adriano, Gabriel, Leônidas, João Paulo, Roberto, amigos para toda vida.

Aos meus amigos de infância e meus compadres Aureliano e Elizabeth, minha gratidão eterna, sempre nos ajudando nos momentos mais difíceis da minha vida.

Ao meu amigo Eduardo Batista que partiu tão cedo, a saudade é grande, tenho certeza que está na torcida por mim.

Aos colaboradores da Thera Trading: Leônidas, Rafael, Fernanda, Paulo, Bruno Stephanie e Vinicius que me auxiliaram na conclusão desta dissertação.

“Quando o homem compreende a sua realidade, pode levantar hipóteses sobre o desafio dessa realidade e procurar soluções. Assim, pode transformá-la e o seu trabalho pode criar um mundo próprio, seu eu e as suas circunstâncias.”

Paulo Freire

RESUMO

A ação do homem modifica o sistema de drenagem natural, ao traçar o desenho das cidades, aumentando as consequências resultantes das inundações, que acabam por se transformar em prejuízos financeiros, quando essas águas entram em contato com as atividades e benfeitorias humanas. As inundações causam prejuízos significativos a cada ano, no entanto as cidades brasileiras estão despreparadas, pois muitas delas não possuem um plano consolidado de uso do solo e podem estar sujeitas a especulação imobiliária. Apesar dos prejuízos causados pelas inundações, ainda não há uma metodologia consolidada para estimativa dos prejuízos gerados, que possam subsidiar o planejamento e as tomadas de decisão dos gestores públicos. Dessa forma elaborou-se um modelo para estimativa de prejuízos causados pelas cheias nas residências e veículos para a cidade de Itajubá-MG. Os danos nas residências foram subdivididos em três subitens que são: conteúdo, limpeza e edificação. Para delimitar a área de influência do Rio Sapucaí, foram geradas manchas de inundação para as cotas de 844 até a 848. A mancha de inundação atingiu 26 bairros da cidade de Itajubá e para estes bairros, foram calculados os prejuízos. Para efetuar este cálculo, foram utilizados dados dos setores censitários e limites dos bairros de Itajubá e equações de prejuízos. Os bairros mais afetados foram Varginha, Porto Velho, São Vicente, Vila Rubens e Boa Vista. O prejuízo para a cidade de Itajubá para a cota 848 metros foi de R\$ 1.231.506.703,77 o que equivale a R\$ 108,12 por metro quadrado. Os resultados mostram-se satisfatórios, o prejuízo à edificação é o componente principal dos prejuízos à residências, seguido por conteúdo, veículo e limpeza. Conclui-se que o resultado desta dissertação pode fornecer informações em nível local e regional das populações que necessitam de um olhar mais atento do poder público, seja por estarem em situação de vulnerabilidade socioeconômica, seja por apresentarem alto grau de exposição aos riscos de inundação.

Palavras-chave: Manchas de inundação; prejuízos econômicos; desastres naturais.

ABSTRACT

The person who modifies the drainage system of natural cities, traces the action design of cities, increasing as consequences resulting from floods, which end up being transformed into contact with activities and being human. The floods presented can be considered every year, however, cities can be considered as many of them, but they do not have a consolidated land use plan, which can be considered as speculation. Recognition of projects that have not been signed for floods, a consolidated methodology for estimating those that have not yet been signed, which can support the decision project of public managers. In this way and for the workforce designed for the city of Itajubá-MG. The damages in the residences were subdivided into three sub-items, which are: content, cleaning and building. To delimit the area of influence of Rioucaí, as were caused by stains of influence of 26 neighborhoods of the city of Itajubá and for these 848. For the estimated limits, data from security sectors and economic limits and security neighborhoods were used. The closest neighborhoods were Varginha, Porto Velho, Vila Rubens and Boa Vista. The payment to the city of Itajubá for the 848 meter elevation was BRL 1,231,506,703.77, which is equivalent to BRL 108.12 per square meter. The results are satisfactory components, the profit to the building is the main content to the work, followed by content, vehicle and cleaning. It is concluded that the result of this dissertation can provide public information on the local and regional level of information that can be considered economic and more aware of socioeconomic vulnerability, either because they present a high degree of vulnerability to flood risks.

Keywords. flood spots; economic losses; natural disasters

Lista de Tabela

Tabela 1: Parâmetros Hidrológicos das sub-bacias do Rio Sapucaí.....	35
Tabela 2: Danos das enchentes associados às alturas de inundação.....	38
Tabela 3: Classificação econômica.....	39
Tabela 4: Tipo de residências	39
Tabela 5: Porcentagem da edificação danificada (PED).	40
Tabela 6: Itens e preço da residência padrão	41
Tabela 7: Fator multiplicador dos conteúdos do imóvel padrão.....	42
Tabela 8: Tempo de Limpeza	43
Tabela 9: Dano aos veículos	44
Tabela 10: Área da mancha de inundação	49
Tabela 11: Porcentagem da edificação danificada (PED) para o bairro Boa Vista	55
Tabela 12: Área de inundação para cada cota no bairro Boa Vista	55
Tabela 13: Prejuízos para as áreas de inundação, para cada cota	56
Tabela 14: Custo dos Conteúdos do Imóvel Padrão	57
Tabela 15: Prejuízo dos conteúdos do imóvel padrão	58
Tabela 16: Custo com a limpeza.....	59
Tabela 17: Faixas de inundação para veículos	60
Tabela 18: Prejuízo relacionado aos veículos.....	61

Lista de Figuras

Figura 1-Transformação do ambiente pela urbanização.....	13
Figura 2-Transformação do ambiente pela urbanização.....	13
Figura 3-Quantidade de trechos vulneráveis a inundações graduais nas regiões brasileiras Fonte: ANA (2014)	19
Figura 4- Detalhamento da metodologia proposta.....	27
Figura 5- Localização da cidade de Itajubá.	29
Figura 6-Média mensal da precipitação (mm, barras) e cobertura de nuvens (%, linha) computada com dados medidos na estação meteorológica automática da UNIFEI entre 2010 e 2016.As barras indicam o desvio-padrão da precipitação. Fonte : Reboita et al. (2016).....	30
Figura 7-Município de Itajubá inserido na bacia do Sapucaí.	32
Figura 8-Perfil Longitudinal do Rio Sapucaí da nascente até a cidade de Itajubá	33
Figura 9- Bacias de rios a montante da cidade de Itajubá	34
Figura 10-Metodologia para gerar a mancha de inundação.....	37
Figura 11- Esquema representativo das alturas de inundação	37
Figura 12-Definição das cotas altimétricas.....	46
Figura 13-Mancha de Inundação para cidade de Itajubá	47
Figura 14-Mancha de Inundação para cidade de Itajubá com a imagem da mancha urbana ao fundo	48
Figura 15-Localização do Bairro Boa Vista	50
Figura 16-Mancha de inundação para o Bairro Boa Vista	52
Figura 17-Mancha de inundação e urbana para o Bairro Boa Vista.....	53
Figura 18-Setores censitários do bairro Boa Vista	54
Figura 19- Prejuízos do bairro Boa Vista	62
Figura 20- Distribuição dos prejuízos para cidade de Itajubá-MG.....	64
Figura 21-Distribuição dos bairros de Itajubá de acordo com o critério Brasil..	65
Figura 22-Distribuição do prejuízo absoluto para cada bairro.	66
Figura 23-Distribuição do prejuízo R\$[m ²] para cada bairro.	67
Figura 24-Distribuição do prejuízo R\$[10 ⁶] para a cidade de Itajubá-M	68

Sumário

1	INTRODUÇÃO	10
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1	INUNDAÇÕES E CONSEQUÊNCIAS DAS AÇÕES ANTRÓPICAS	12
2.2	ESTIMATIVAS DE MANCHAS DE INUNDAÇÕES	14
2.3	EXPERIÊNCIA INTERNACIONAL NA MITIGAÇÃO DE INUNDAÇÕES.....	16
2.4	OCORRÊNCIA E PREJUÍZOS DE INUNDAÇÕES NO BRASIL	18
3	METODOLOGIA	27
3.1	ÁREA DE ESTUDO.....	28
3.1.1	<i>Município de Itajubá</i>	28
3.1.2	<i>Bacia do Rio Sapucaí</i>	31
3.1.3	<i>Principais afluentes do rio Sapucaí a montante da cidade de Itajubá-MG</i>	33
3.2	DELIMITAÇÃO DA MANCHA DE INUNDAÇÃO	36
3.3	CONSIDERAÇÕES INICIAIS PARA CÁLCULO DO PREJUÍZO	37
3.4	PREJUÍZOS À PROPRIEDADES RESIDENCIAIS	38
3.5	PREJUÍZOS AOS CONTEÚDOS NA RESIDÊNCIA	41
3.6	CUSTO DE LIMPEZA DE PROPRIEDADES	43
3.7	DANOS MATERIAIS AOS VEÍCULOS.....	44
4	RESULTADOS	46
4.1	MANCHA DE INUNDAÇÃO PARA A CIDADE DE ITAJUBÁ	46
4.2	CÁLCULOS DE PREJUÍZO.....	49
4.2.1	<i>Cálculos detalhados para o bairro Boa Vista</i>	49
4.3	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	69
5	CONCLUSÃO	72
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73

1 INTRODUÇÃO

As enchentes atingem a humanidade desde os primórdios da civilização. O fenômeno pode ser visto como benéfico quando, por exemplo, representa prosperidade para a agricultura, mas também caracteriza um dos maiores desastres em todo o mundo com danos da ordem de bilhões de dólares e com tendência a se agravar devido às previsões científicas sobre o aquecimento global (NAGEM, 2008).

Nessa perspectiva, as inundações em todo o mundo, especialmente nas últimas décadas, registram taxas elevadas significativas tanto em número absoluto de eventos, quanto em termos de perdas financeiras. Especificamente, estima-se que as inundações causem cerca de 40% dos danos causados por todos os desastres naturais (KOURGIALAS e KARATZAS, 2016).

O aumento do risco de inundações é claramente percebido pela observação dos registros de desastres naturais ocorridos no mundo, os quais resultaram em perdas de 3,7 milhões de pessoas entre os anos de 1970 a 2014, segundo Atlas de vulnerabilidade a inundações da Agência Nacional de Águas (ANA, 2014). De acordo com ANA (2014) se for considerado apenas os registros das inundações nas américas central e sul, a parcela deste tipo de desastre chega a 42% do total, alertando para importância do tema.

Há também uma tendência de aumento dos riscos de inundação, em frequência e gravidade, através dos impactos das mudanças globais no clima e o consequente aumento de eventos extremos de chuva, além da pressão sobre o uso do solo por meio da urbanização (TEHRANY et al., 2014).

Diante desse contexto e conhecendo-se o fato de que o processo de urbanização sem controle intensificou os impactos das inundações, seja na frequência, duração ou magnitude. Estas inundações quando atingem os centros urbanos, causam danos avassaladores. Estes eventos extremos causam diversos prejuízos sociais, econômicos, financeiros e representam custos significativos para toda a população das grandes cidades, principalmente para os moradores de áreas potencialmente inundáveis, geralmente cidadãos de baixa renda (FREIRE, GONZÁLEZ, e HALL, 2017; KEIFER e EFFENBERGER, 2018).

Portanto, as inundações são um problema social, econômico e de saúde pública que devem ser estudados para mitigação deste perigo. No Brasil, a média estimada de

perdas econômicas anuais devido a quatro maiores inundações entre 2008 e 2011 foram de 1,4 bilhões de dólares (WORLD BANK, 2014).

Em Minas Gerais, 54% dos municípios apresentam algum risco hidrológico (ANA, 2014). Itajubá enquadra-se nesta estatística, com o Rio Sapucaí percorrendo grande parte da cidade e com áreas de possíveis alagamentos, a cidade já sofreu com várias enchentes e, a cada período chuvoso, surge a expectativa de um novo evento extremo que deixa a população que vive nas áreas de risco apreensiva. Portanto, esta dissertação visa identificar áreas suscetíveis a inundações, através das manchas de inundação geradas a partir de um Modelo Digital de Elevação (MDE), e estimar o prejuízo nas residências e veículos para cada cota, caso o evento extremo ocorra.

Marciano e Pinheiro, (2005) estudaram as inundações na cidade de Itajubá, obtiveram cotas de inundação e traçaram manchas de inundação para mapear a magnitude dos eventos.

Não existe para cidade de Itajubá uma estimativa dos prejuízos causados por estes eventos, portanto, esta dissertação tem como objetivo calcular, através de equações matemáticas, estimando assim, o prejuízo para diferentes cotas de inundação, um valor médio, e representativo para cada bairro, a fim de que, possa ser utilizado para políticas públicas. A maioria dos dados utilizados para o cálculo do prejuízo são de domínio público, portanto de fácil acesso podendo ser atualizados com frequência. Com base nessas considerações, o presente trabalho tem como objeto geral adaptar uma metodologia para estimar os custos dos prejuízos econômicos das enchentes do Rio Sapucaí para a cidade de Itajubá-MG, visando auxiliar a tomada de decisão na ocorrência de eventos extremos.

Para alcançar este objetivo geral, foram propostos os seguintes objetivos específicos:

- Gerar manchas de inundação para diferentes cotas de cheia na área urbana de Itajubá;
- Estimar os prejuízos das inundações para as diferentes cotas de cheia;
- Avaliar a distribuição espacial dos prejuízos, de acordo com os bairros da área urbana.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para o desenvolvimento do presente trabalho foi realizado um levantamento bibliográfico cujos principais tópicos compreendem uma revisão sobre as inundações e os fatores condicionantes de sua ocorrência, conceitos relacionados a desastres, além de uma metodologia para calcular o custo econômico destas inundações.

2.1 Inundações e consequências das ações antrópicas

As inundações ocorrem quando as águas dos rios, ribeirões e córregos ultrapassam o leito de escoamento em virtude da falta de capacidade de transporte desses sistemas, ocupando áreas utilizadas para fins de moradia, transporte, lazer, indústria, entre outros (TUCCI, 2004a). Tais eventos podem ser decorrentes do comportamento natural dos rios, porém a retirada da cobertura vegetal é a primeira ação do processo de urbanização, seguida, quase sempre, da impermeabilização dos solos. A urbanização transforma significativamente o balanço hídrico da bacia, pois aumenta o volume do escoamento superficial, antecipa e eleva o pico das cheias e reduz a transpiração vegetal e a infiltração no solo, acelerando assim, o escoamento das águas pluviais, permitindo que se acumulem mais rapidamente nos pontos baixos das cidades.

Mais especificamente, a urbanização acarreta alterações que afetam o balanço hídrico previamente existente. Com o aumento das áreas impermeáveis (Figura 1), o escoamento superficial tende a aumentar, visto que a infiltração é dificultada. Com isso, diminui-se o escoamento subsuperficial, além disso, evapotranspiração também é comprometida pela modificação da paisagem (FADEL, 2015).

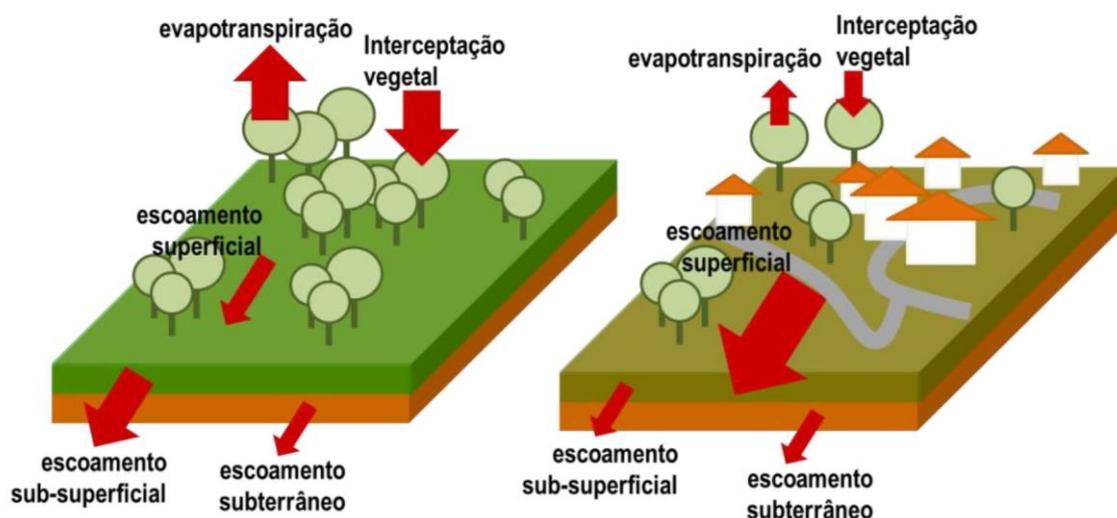


Figura 1-Transformação do ambiente pela urbanização

Fonte: Fadel (2015)

Com o aumento da impermeabilização e da construção de condutos e canais, o tempo de concentração da bacia hidrográfica é reduzido. Isto significa aumentar a velocidade do escoamento, resultando, portanto, em picos maiores e mais rápidos de vazão (Figura 2). Estudos mostram que, nesse caso, a vazão média de enchentes pode chegar a sete vezes mais do que as vazões observadas nas condições de pré-urbanização (TUCCI, 2004a). Além disso, o crescimento urbano tende a se expandir ao longo dos leitos de inundação dos rios, contribuindo para um maior número dos registros de inundações urbanas.

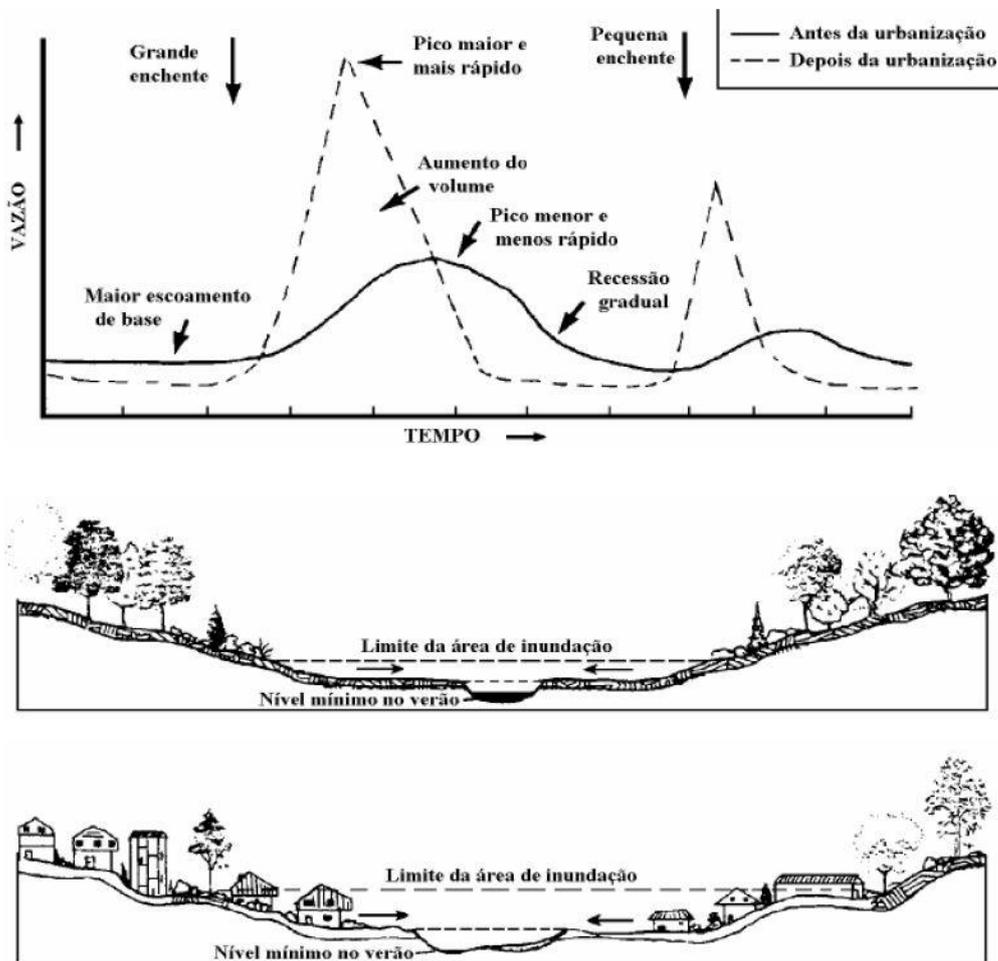


Figura 2-Transformação do ambiente pela urbanização

Fonte: Fadel (2015)

O zoneamento de áreas de inundação previsto em Planos Diretores Urbanos que avalia faixas de uso do solo segundo o risco de inundação, associado ao tempo de recorrência de um determinado evento, deveria reduzir a exposição da população ao fenômeno, nem sempre está disponível ou é respeitado, seja por despreparo técnico ou político, por desconhecimento pela população ou pela omissão de fiscalização. Outra consequência do contínuo e desordenado crescimento da urbanização é o processo de favelização, latente nas grandes cidades brasileiras. A ocupação dos espaços menos nobres do meio urbano (encostas, manguezais, brejos, etc.) pelas favelas tem impactos diretos no ciclo hidrológico da bacia hidrográfica, como a redução do amortecimento das cheias. Por não contarem com uma infraestrutura básica adequada, estas ocupações lançam irregularmente lixo nas encostas ou nos rios, que acabam sendo incorporados no escoamento urbano, atrapalhando o fluxo de água e complicando o quadro das enchentes. Somado a isto, a destruição da cobertura vegetal das encostas acelera os processos erosivos que contribuem para o assoreamento dos cursos d'água, que promove uma redução da seção e geram extravasamento das águas para vazões anteriormente suportadas dentro das calhas dos rios.

2.2 Estimativas de manchas de inundações

As inundações são eventos naturais que ocorrem devido ao extravasamento das águas do leito menor de um rio. As áreas localizadas em relevos com baixa declividade e rebaixados, como as planícies fluviais, onde há acumulação de água e de sedimentos são mais afetadas pelas inundações, , segundo Tucci (2004).

Os problemas causados pelas inundações estão presentes em grande parte dos municípios brasileiros e as técnicas convencionais quando aplicadas para monitorar a expansão urbana e a ocupação de áreas de bacias hidrográficas, não tem conseguido acompanhar a velocidade da ocupação urbana, de acordo com Andrade *et al.* (2017).

Dessa forma, obter o estudo de áreas susceptíveis a inundações é de extrema importância para o crescimento do perímetro urbano. Em função disso, a busca de novos métodos deve ser abordada. Andrade *et al.* (2017) relata que atualmente, com a facilidade ao acesso a modernos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), bem como o estudo gerado a partir de dados facilmente disponíveis ou coletados em campo, é possível

desenvolver diversos tipos de análises no âmbito dos estudos de riscos geológicos e hidrológicos.

Neste sentido, diversos estudos foram desenvolvidos para gerar manchas de inundação sintéticas, a fim de representar as inundações e estudar seus possíveis impactos, caso um evento extremo ocorra.

Corsi et al. (2012) utilizou mapas topográficos obtidos da prefeitura de São Luiz do Paraitinga-SP. Para completar este mapa foi utilizado imagem de satélite e para validar a mancha foi comparado com fotografias aéreas do desastre. Este mapa topográfico foi processado com o software Autocad e gerada a mancha de inundação com suas respectivas alturas.

Coelho (2018) empregou uma análise geográfica integrada, utilizando a hidrografia e imagens de satélites para a delimitação de área inundável a partir do maior registro de precipitação mensal dos últimos trinta anos e utilizou de técnicas de Sensoriamento Remoto (SR). De acordo com o autor os resultados foram satisfatórios, pois permitiram, delimitar a área inundável, confrontar usos e compreender a dinâmica destas áreas alagáveis em questão. O estudo foi validado com campanhas de campo utilizando GPS e registro fotográfico.

Assim como Coelho (2018), Brubacher, Guasselli e Oliveira (2017) recorreram a técnicas de sensoriamento remoto para delimitar a mancha de inundação. Os autores usaram uma ferramenta cujo nome é Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI), elaborado com o intuito de ressaltar áreas inundáveis com um maior poder de discriminação dos alvos. Para gerar a mancha foi utilizada imagem do satélite LANDSAT para observar o extravasamento das águas do Rio dos Sinos, a partir do índice MNDWI, como subsídio para a delimitação de inundações no município de Esteio, localizado na Região Metropolitana de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

Paralelamente as técnicas de sensoriamento remoto, o avanço no setor de desenvolvimento de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) voltados à observação de variáveis hidrológicas também vem ganhando espaço, como pode ser observado nos trabalhos de Petroselli *et al.* (2016), Leitão *et al.* (2015), Bandini *et al.* (2020) que estimaram variáveis como vazão, topografia, evapotranspiração e elevação de níveis d'água respectivamente, a partir de sensores embarcados em VANTs.

Da Silva et al. (2017) utilizou o software IBER para gerar a mancha de inundação do Rio Mundaú, estado de Alagoas. Os dados de entrada deste software são: o Modelo Digital de Elevação (MDE), a batimetria do corpo hídrico estudado e os coeficientes de Manning. O MDE foi concebido a partir de levantamentos topobatimétricos. Os dados dos levantamentos foram processados e, assim, geraram para área em estudo um arquivo de curvas de nível de 1 em 1 metro. De posse deste arquivo, utilizou-se o software Civil 3D para criar uma superfície da região de interesse. Feito isto, o arquivo gerado foi exportado para o ArcGis 10.0 e, a partir deste software, criou-se um MDE compatível com o modelo IBER. Foram simuladas manchas de inundações para diferentes tempos de retorno.

2.3 Experiência internacional na mitigação de inundações

As inundações repentinas, do inglês *flash flood* (FF), são um dos desastres naturais mais devastadores na Europa, causando inúmeras vítimas e enormes perdas econômicas (BARREDO, 2007; THIELEN *et al.*, 2019). Este tipo de inundação é caracterizado por chuvas intensas em pequenas e médias bacias hidrográficas, muitas vezes montanhosas, levando a um curto tempo de resposta entre a precipitação e o pico de descarga na rede de drenagem (no intervalo de minutos a algumas horas). O início súbito do evento muitas vezes dificulta uma resposta rápida às inundações (por exemplo, na forma de evacuações ou fechamento de estradas) e é a principal razão para os altos impactos socioeconômicos causados por estas inundações (SILVESTRO, REBORA e FERRARIS, 2011).

A fim de mitigar o problema das inundações a Agência Ambiental Europeia argumenta que a melhoria dos sistemas de alerta é a medida mais eficaz para reduzir os impactos de um evento extremo principalmente nas bacias onde ocorrem inundações repentinas, as denominadas *Flash Floods* (FF). A Agência propõe como medidas, melhorar a estimativa da previsão de chuva. Outra forma é incluir informações adicionais no sistema de alerta para melhorar o suporte à decisão, simulando, para os tomadores de decisão, como aquele evento estimado se comportará na rede de drenagem, o que pode ser feito através de modelagem hidrológica. A terceira indicação da Agência é estabelecer a comunicação do alerta, caso seja confirmado o evento, devendo chegar ao usuário de maneira clara, evitando maiores prejuízos econômicos e perdas de vidas (UE, 2010).

A União Europeia incentivou que cada país membro deve criar mapas de perigo de inundação usando diferentes níveis de perigo (probabilidades de inundação). Esta

classificação tornaria a informação de risco de inundação mais óbvia para as autoridades locais e facilmente compreensível para o público, fornecendo ao mesmo tempo informações espaciais valiosas sobre o grau de risco de inundação e as prioridades quanto ao planejamento das medidas de proteção contra inundação (KOURGIALAS e KARATZAS, 2016).

Seguindo as orientações da agência europeia, RITTER *et al.* (2020) utilizaram o modelo ReAFFIRM que usa estimativas de chuva em grade para avaliar em tempo real a enchente e traduzi-la nos impactos correspondentes na província da Catalunha, Espanha.

O modelo ReAFFIRM avalia um perigo eminente de uma chuva por radar e transforma em risco, classificando a chuva num tempo de retorno já previamente calculado. Caso o modelo classifique um potencial dano para aquela localidade, é elaborada automaticamente, um mapa de inundação e extrai-se indicadores como, cota, população afetada e prejuízo causado. O modelo foi testado para três eventos extremos da região, a mancha gerada estava compatível com a observada, os indicadores econômicos de prejuízo superestimaram prejuízos em algumas partes da área estudada e em outras subestimaram. A causa citada pelos autores destas incertezas foi a ausência de um banco de dados que reúna informações econômicas completa dos imóveis da zona estudada.

Para diminuir a incerteza dos modelos como foi relatado por Ritter *et al.* (2020), Klug e Kmoch (2015) propuseram melhorar a qualidade de aquisição e transmissão de dados com sensores mais modernos e propôs a construção de algoritmos para definição de indicadores, seja indicadores de potencial chuva como indicadores de nível dos rios em tempo real. Os autores também propõem um sistema de alerta com uma boa previsão, variando com tempo de concentração da bacia e eventual ocorrência da cheia.

Silva e kawasaki (2020) estudaram os impactos sociais das inundações em Sri Lanka, uma ilha no sul da Ásia. A coleta de dados foi através de questionários aplicados através de entrevistas aleatórias. Foram entrevistadas 270 famílias, também foram utilizados dados do censo demográfico para compor a análise. Os resultados sugerem que as características das enchentes e o nível de renda familiar têm um impacto direto nas perdas econômicas em enchentes severas em todas as classes sociais, com impactos mais significativos entre as famílias pobres, mesmo para inundações menores, a altura da inundação é o fator mais significativo que afeta as perdas, independentemente do grupo

econômico. Além disso, a diferença absoluta de perda entre famílias pobres e ricas é de 48% para inundações severas, e 10% devido a inundações menores. Esses resultados indicam que as inundações severas aumentam a desigualdade social.

A vulnerabilidade em diferentes comunidades a certos desastres e as respostas da comunidade a esses desastres foram examinadas, considerando o impacto das inundações. Muitos desses estudos confirmaram efeitos adversos significativos dos desastres sobre a pobreza e o desenvolvimento humano e econômico (BORGOMEIO; HALL; SALEHIN, 2018; BUCKLAND; RAHMAN, 1999; JONGMAN *et al.*, 2015; PATNAIK; NARAYANAN, 2010; TAHIRA; KAWASAKI, 2017; WINSEMIUS *et al.*, 2017).

2.4 Ocorrência e prejuízos de inundações no Brasil

O Brasil, assim como a maioria dos países em desenvolvimento, encontra-se, em sua maioria, ainda na fase Higienista, onde predominam a coleta de água à montante para abastecimento e a disposição dos esgotos à jusante, afastado da população. Além disso, medidas relacionadas à drenagem e às inundações urbanas são praticamente inexistentes em grande parte das cidades. O gerenciamento integrado dos sistemas hídricos urbanos é, portanto, uma grande dificuldade, uma vez que ainda são priorizadas as ações pontuais para a solução dos problemas (FADEL, 2015).

O Atlas de vulnerabilidade a inundações da Agência Nacional de Águas (ANA) mapeou as áreas de risco em todo país e identificou áreas com potenciais riscos de inundações. Desta forma o Atlas de Vulnerabilidade a Inundações (fonte) identificou 13.948 trechos de rios inundáveis em 2.780 cursos d'água do País, dos quais 4.111 trechos, ou seja 30%, foram considerados de alta vulnerabilidade a inundações graduais, 6.051 (43%) de média e 3.786 (27%) de baixa propensão a essas ocorrências. As regiões que apresentaram maior proporção de trechos de rios com alta vulnerabilidade à inundações são a Centro-Oeste e a Sul (43%). As demais apresentaram menos de 30% dos seus trechos com alta vulnerabilidade a inundações graduais. As regiões Norte e Nordeste possuem 78% dos trechos identificados com vulnerabilidade média ou baixa à inundações e a Sudeste, 72%. Entretanto, nas regiões Sul e Sudeste foram identificados mais trechos de alta vulnerabilidade a inundações graduais, 2.618 e 1.027, respectivamente. A Figura 3 mostra a quantidade e a vulnerabilidade dos trechos inundáveis em cada região (ANA,

2014).

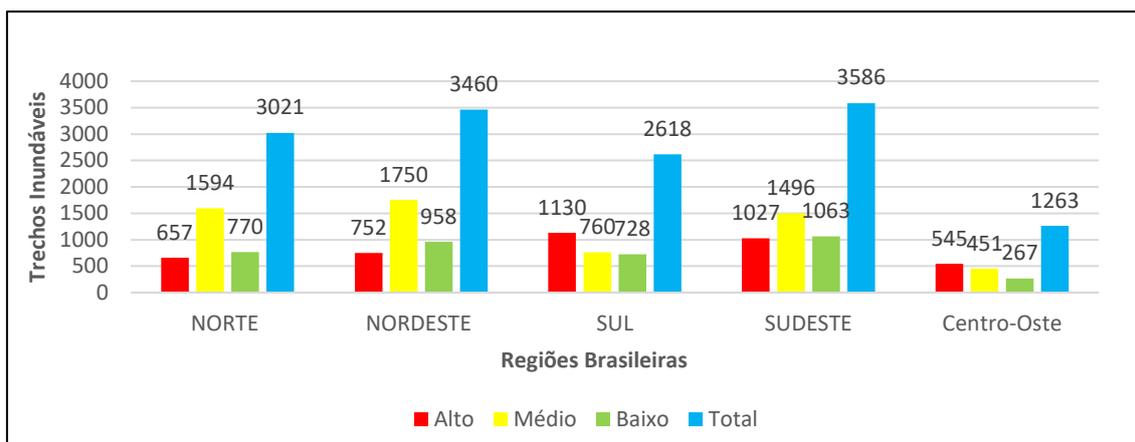


Figura 3-Quantidade de trechos vulneráveis a inundações graduais nas regiões brasileiras Fonte: ANA (2014)

O Sudeste apresentou a maior quantidade de trechos suscetíveis à inundação dentre todas as regiões brasileiras (Figura 3). Do total de 3.586 trechos, 1.496 foram classificados como de média vulnerabilidade e 1.027, como de alta. Dos 853 municípios do Estado de Minas Gerais 459 municípios possuem situações de vulnerabilidade. São 536 corpos d'água com 2312 trechos inundáveis, sendo que 612 trechos apresentam alto risco, 943 médio risco, e 757 baixos risco (ANA, 2014).

Segundo Miguez (2018), apesar do Brasil apresentar um grande perigo das inundações e áreas de vulnerabilidade, somente em julho de 2011, seis meses após o desastre na região serrana do Rio de Janeiro, foi criado o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais – CEMADEN. Neste evento, os municípios de Areal, Bom Jardim, Nova Friburgo, São José do Vale do Rio Preto, Sumidouro, Petrópolis e Teresópolis foram severamente atingidos por inundações e enxurradas e movimentos de massa. A partir deste desastre que contou com mais de 900 mortes, 300 mil afetados e um total de perdas estimado em R\$4,78 bilhões (WORLD BANK, 2011), e de sua forte repercussão perante a opinião pública, percebeu-se um esforço do poder público no sentido de aprimorar os processos e atividades da gestão integral de risco no país, passando pela instituição, investimentos em tecnologia e equipamentos, capacitação de recursos humanos e apoio a Pesquisa e desenvolvimento de soluções.

Em abril de 2012 foi promulgada a Lei federal 12.608/12 que instituiu a Política Nacional de Proteção e defesa Civil – PNPDEC (BRASIL, 2012), na qual define-se que compete a união:

- Expedir normas para implementação e execução da Política Nacional de proteção e Defesa Civil e instituir o Plano Nacional de Proteção e Defesa Civil.
- Apoiar os Estados, o Distrito Federal e os municípios no mapeamento das áreas de risco, nos estudos de identificação de ameaças, suscetibilidades, vulnerabilidade e risco de desastres e nas demais ações de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação.
- Instituir e manter o sistema de informações e mapeamentos de desastres
- Incentivar a instalação de centros universitários de ensino e pesquisa sobre desastres.

O mesmo instrumento legal (BRASIL, 2012) atribui ainda aos municípios a obrigação de:

- Executar PNPDEC no âmbito local.
- Incorporar as ações de proteção e defesa civil no planejamento municipal.
- Identificar e mapear as áreas de risco de desastres, promover a fiscalização das áreas de risco e vedar novas ocupações nessas áreas.
- Manter a população informada sobre áreas de risco e ocorrências de eventos externos bem como sobre protocolos de prevenção e alerta e sobre as ações emergenciais em circunstâncias de desastres.
- Promover ações para o plano de Contingência de proteção e Defesa Civil, realizar regularmente exercícios simulados, promover a coleta e distribuição e o controle de suprimentos em situações de desastres, prover solução de moradia temporária às famílias atingidas por desastres, estimular a participação de todos na execução do plano.

Após este aparelhamento do estado brasileiro e a criação de um centro de pesquisa de referência para desastre, o CEMADEM, vários estudos sobre o tema foram realizados no Brasil.

Minervino e Duarte (2016) analisaram dois bancos de dados, EM-DAT (global) e S2iD (nacional), entre os períodos de 2010 a 2014. A análise mostra diferenças tanto no número total de ocorrências de desastres (EM-DAT = 36; S2iD = 4070), quanto nos danos materiais resultantes (EM-DAT – R\$ 9,2 bilhões; S2iD – R\$ 331,4 bilhões). A análise da

distribuição de eventos permitiu concluir que os cinco estados mais afetados por tais eventos (SC, RS, MG, SP e PR) estão nas regiões sul e sudeste, condizente com achados de outros estudos. As edificações que tiveram maiores prejuízos materiais foram, nesta ordem: unidades habitacionais, obras de infraestrutura pública, instalações públicas de uso comunitário, instalações públicas prestadoras de outros serviços, instalações públicas de ensino e instalações públicas de saúde. O prejuízo a instalações públicas de saúde apresentou valores elevados. Os autores concluíram que apesar das limitações de ambos os bancos de dados, o EM-DAT e o S2iD demonstraram sua utilidade em determinar tendências sazonais e de longo prazo, bem como padrões e áreas onde se concentram riscos, auxiliando tomadores de decisão na identificação das áreas mais afetadas e vulneráveis aos desastres.

Péres, Russo e Nunes (2019) estudaram os impactos e custos econômicos dos desastres naturais sobre os estabelecimentos de saúde, identificando quais tipos são mais frequentes e de maior custo, e sua distribuição nas regiões e Unidades da Federação (UF) do país, tendo como base os dados de desastres naturais ocorridos no país no período de 2000 a 2015, registrados no Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2iD), da Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC). Foram sistematizados e analisados 15.950 registros, sendo que deste universo, em somente 29,4% das ocorrências havia registros de custos, totalizando quase R\$ 4 bilhões. Os desastres climatológicos foram os mais recorrentes, mas não os responsáveis pelos custos mais expressivos. Na relação custos por evento, os desastres hidrológicos apresentaram custos 3,2 e 3,6 vezes maiores do que os meteorológicos e geológicos, respectivamente. Em relação ao custo total em milhões de reais nos estados, destacaram-se Pernambuco, Amazonas e Santa Catarina. Em relação ao custo por desastre em milhões de reais o destaque foi a Região Norte e, em particular, o Acre. Apesar das limitações deste estudo relacionadas à qualidade dos registros, os dados apresentados devem ser compreendidos como a ponta visível de um iceberg, pois os impactos e danos vão além dos econômicos, com impactos sobre a infraestrutura e recursos que servem de suporte aos serviços, comprometendo a capacidade de oferta exatamente quando a população mais necessita dos serviços de saúde.

Pesquisadores estão adaptando o software denominado Hazus-MH, originalmente, para quantificar perdas ocasionadas por furacões nos Estados Unidos, para calcular prejuízos em inundações. As informações obtidas do software Hazus-MH,

podem ser comparadas com informações espaciais sobre vulnerabilidade social para examinar os impactos e comparar com variáveis sociodemográficas para, assim, efetuar um planejamento de mitigação de perigos (BURTON e CUTTER, 2008; CORSI, AZEVEDO e GRAMANI, 2012; DOLMAN et al., 2018; KEIFER; EFFENBERGER, 2018; ROZELLE, 2019).

Além do Hazus-MH, há inúmeras metodologias para quantificar o prejuízo causado pelas inundações. RITTER et al. (2020) calcularam o prejuízo através de um banco de dados fornecidos por empresas de seguros de imóveis e, através de plantas da prefeitura da cidade, foram catalogados os principais pontos da cidade, como escola e pontos turístico. Foi elaborada a mancha de inundação sobreposta sobre este banco de dados.

DAEE (1999) aplicou uma equação simplificada para o cálculo dos danos, incluindo estrutura, conteúdo e áreas adjacentes, como jardins. Estas equações consideraram que os custos dos prejuízos têm um crescimento praticamente linear com a altura de inundação. Na equação, os custos dos danos diretos seriam estimados relacionando o valor de mercado das propriedades da área atingida, com a altura de inundação e um fator multiplicador, determinado pela análise de eventos históricos de cheias.

Sousa e Goerl (2018) propuseram um método de estimativa de danos associados às inundações em áreas urbanas com base na planta de valores do município de Timbó, em Santa Catarina, localizado na Bacia Hidrográfica do rio Itajaí-Açu. 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 para estimar o valor de um imóvel atingido.

Tachini et al. (2001) avaliaram os danos de inundações ocorridas em Blumenau-SC nos anos 1983, 1984, 1992 e 2001. No município ocorreram neste período 69 eventos de inundação com níveis superiores a 8,50 metros. Para mapear a inundação os autores utilizaram o mapa de inundação do município de Blumenau, Mapeamento de Área Inundável de Blumenau - SC nas escalas 1: 2.000, com curva de níveis de 1m e 1:10.000, com curva de níveis de 5m. Os pontos escolhidos correspondem às áreas de vulnerabilidade do município. Para o cálculo do dano foram utilizadas equações de regressão do cadastro de edificações do município de Blumenau.

Fadel (2015) elaborou uma metodologia genérica que foi aplicada no município de Lajeado/RS, com possibilidade de ser replicada para demais municípios da região que sofrem com os mesmos problemas de inundação. A metodologia deste estudo divide-se inicialmente em duas análises: a obtenção das manchas de inundação e a avaliação dos danos econômicos. Para elaborar a mancha de inundação o autor utilizou o software HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers - River Analysis System). Estabelecendo os níveis de inundação atingidos na cidade de Lajeado em cada uma das seções transversais consideradas no rio Taquari, associados aos diferentes tempos de retorno estabelecidos na regionalização de vazões para o local. De posse desses níveis, juntamente com a topografia da região, foi possível a obtenção de um mapa de áreas inundáveis, pela extensão para o programa ArcGIS. A avaliação econômica, assim como propõe esta dissertação, foi discretizada por setores censitários, delimitados pelo IBGE. A determinação do prejuízo foi realizada pela estimativa dos danos passíveis de ocorrer nas áreas inundáveis do município, dependente da profundidade média de submersão estimada para cada setor.

Jonov (2012) desenvolveu uma metodologia para a avaliação dos custos de recuperação de danos causados às edificações por inundações. A metodologia foi desenvolvida através da análise de eventos de inundações e conhecimento das manifestações patológicas decorrentes destes eventos. No trabalho são propostas medidas de proteção para redução dos prejuízos causados pelas inundações e adaptações para tornar as edificações mais resilientes. A parte experimental do trabalho envolveu a realização de vistorias a edificações nas quais foram identificadas manifestações patológicas provocadas pelas inundações de 31 de dezembro de 2008 e 22 de janeiro de 2009, na Região do Barreiro, no Município de Belo Horizonte (Minas Gerais). A avaliação dos custos de recuperação de danos foi realizada através da elaboração de orçamentos dos serviços de engenharia necessários para a reconstituição da edificação de forma a recuperar suas condições de higiene e habitabilidade originais. Na elaboração dos orçamentos foram adotados projetos padrões de edificações que mais se assemelhavam ao das edificações vistoriadas. A avaliação dos custos de recuperação foi feita tendo como referência as profundidades de inundação fornecidas por mapas das manchas de inundação para a região. Tais mapas foram elaborados a partir de bases de dados da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, bases de dados de empresa de consultoria em Hidrologia e modelos hidráulicos desenvolvidos para esta finalidade.

Por expressarem os prejuízos causados pelas inundações, os custos de recuperação assim obtidos possibilitaram a obtenção de curvas de danos de inundação versus profundidades. Estas curvas foram elaboradas para as edificações sem nenhuma medida de proteção e posteriormente com a adoção de cada uma das medidas de proteção. As curvas assim obtidas mostram uma tendência de aumento dos custos de recuperação dos danos à medida que se aumenta a profundidade da inundação. Adicionalmente, as curvas de danos de inundação versus profundidades, obtidas para as edificações sem nenhuma medida de proteção e posteriormente com a adoção de cada uma das medidas de proteção, possibilitaram a realização de análises de custos e benefícios da implantação dessas medidas de proteção. Em tais análises foram considerados os custos para implantação das medidas de proteção, os custos de sua manutenção e os benefícios expressos pela redução dos prejuízos causados pelas inundações. Os resultados mostram as situações em que é vantajosa a implantação das diversas medidas de proteção.

Corsi et al. (2012) calcularam os danos decorrentes da inundação em São Luiz do Paraitinga estado de São Paulo. Os dados utilizados para a valoração das perdas e danos decorrentes da inundação que atingiu São Luiz do Paraitinga foram obtidos junto a Prefeitura Municipal, Coordenadoria de Defesa Civil Estadual e junto a Secretaria Nacional de Defesa Civil. Para esta estimativa utilizou-se uma adaptação do método DaLa (Damage and Loss Assessment). Essa avaliação engloba o conjunto de efeitos e seus impactos sobre os diferentes setores econômicos e sociais, infraestrutura e o meio ambiente, permitindo, deste modo, dimensionar o montante necessário para a reconstrução, gerenciamento de risco e políticas públicas direcionadas à prevenção de riscos de desastres naturais. Segundo Antais (2014), a aplicação da metodologia é realizada de acordo com avaliação das perdas e danos em setores, como habitação, transporte, educação, saúde, agropecuária, água e saneamento, energia, indústria, comércio e serviços. O primeiro passo é delimitar a área afetada para, então, calcular os prejuízos econômicos, sociais e ambientais decorrentes do desastre naquela região para cada setor. Para este cálculo, são necessárias informações de fontes oficiais, sejam de órgãos municipais, estaduais ou federais. Também é possível entrevistar proprietários de estabelecimentos de comércio, o que possibilita uma estimativa do impacto do desastre na iniciativa privada. A distinção entre impactos no setor público e no setor privado é de vital importância para se determinar qual dos dois foi mais afetado pelo desastre e, portanto, terá maiores gastos com a etapa de reconstrução.

Corsi et al. (2012) estimou como resultado e chegou ao montante das perdas e danos em São Luiz do Paraitinga, de R\$103,63 milhões. Cabe ressaltar que o setor de habitação e patrimônio tombado foi o mais impactado no evento, representando 35% das perdas e danos, remetendo à vulnerabilidade do setor, ou seja, R\$ 35 milhões. Em seguida aparece o setor de transporte que representa 24% dos custos totais da inundação no município.

Salgado (1995), uma referência no assunto no Brasil, elaborou funções-prejuízo (conteúdo e edificação) para unidades residenciais através de abordagem sintética, utilizando suposições que retratam a realidade brasileira. O autor formulou expressões distintas para danos ao conteúdo e à edificação.

Para valoração dos prejuízos à edificação, Salgado (1995) considerou o custo de reposição de alguns itens da construção, levando em consideração atributos físicos, como tipo, área construída, número de pavimentos e qualidade da construção, corrigido por um fator de depreciação física, estabelecido em função da vida útil, do tempo de uso e do estado de conservação, avaliados pela aparência externa. No tocante aos prejuízos aos conteúdos, considerou o somatório do custo de cada item danificado, determinado pelo menor valor entre o custo de reposição (à vista) e o de limpeza/conserto, levando em consideração a depreciação do item devido ao tempo de uso. O padrão de qualidade dos conteúdos, diferentemente dos autores supracitados, foi avaliado pelo padrão de acabamento externo das construções.

Nagem (2008) estabeleceu para cálculo de edificações atingidas, os custos unitários básicos (CUB) de construção. De acordo com a Norma Técnica NBR 12721-2005, da ABNT, este índice estabelece o custo de acordo com as características do imóvel. Os valores dos custos unitários básicos (CUB) devem ser divulgados mensalmente pelos Sindicatos da Indústria da Construção Civil, em todo o país, em R\$/m² para os diferentes projetos-padrão definidos pela Norma. Para relacionar este indicador (CUB) com outras informações da região, buscou-se relacioná-lo com a classe socioeconômica, definida pelo Critério de Classificação Econômica Brasil. A renda média familiar da área em estudo é obtida através do Censo Demográfico, do IBGE. Além do dano residencial, o autor calculou dano em veículo, custo de limpeza e custo dos alagamentos para o transporte públicos.

Além dos indicadores socioeconômicos no Brasil são registradas altas taxas de óbitos especialmente em crianças menores de 1 ano e nas regiões Norte e Nordeste do País (RUFINO *et al.*, 2016). Duarte et al. (2019) analisaram a associação das taxas de internações por doenças diarreicas infecciosas na população do município de Rio Branco, capital do estado do Acre, com variáveis climáticas, como a precipitação, o nível do Rio Acre, a umidade e a temperatura, entre os anos de 2000 e 2013. Os dados foram extraídos do Sistema de Informações Hospitalares do SUS, do Instituto Nacional de Meteorologia e da Agência Nacional das Águas (ANA). Foram ajustados modelos múltiplos de regressão de Poisson e binomial negativa. Os resultados mostram que existe uma associação positiva entre as internações por doenças diarreicas infecciosas e o nível do Rio Acre. O artigo concluiu que o grupo mais vulnerável pertence à faixa etária de menores de 1 ano de vida.

Vários estudos correlacionaram aumento da Hepatite A, leptospirose e dengue, com inundações em diferentes regiões do país. Os autores encontraram uma correlação entre inundações ocorridas e aumento dos casos (DE MELO et al., 2011; LONDE et al., 2016; SCHNEIDER et al., 2017; SILVEIRA et al., 2021; WOLFARTH-COUTO, 2020; FILIZOLA e DURIEUX, 2020).

As inundações são um problema social, econômico e de saúde pública que deve ser estudado para mitigação deste perigo. Em Minas Gerais, 54% dos municípios apresentam algum risco hidrológico (ANA, 2014). Itajubá enquadra-se nesta estatística, com o rio Sapucaí percorrendo grande parte da cidade. A cidade viveu várias enchentes e a cada período chuvoso surge a expectativa de um novo evento extremo que deixa a população que vive nas áreas de risco, apreensiva.

Lima (2003) e Machado et al. (2005) elaboraram curvas de prejuízo para setores habitacionais, aplicando questionários junto a moradores de área inundadas no município de Itajubá em Minas Gerais, para servir de referência empírica, ao mesmo tempo em que buscaram generalizações, como distinção por classe socioeconômica, para garantir a aplicabilidade destas curvas em outros locais.

3 METODOLOGIA

A metodologia deste estudo divide-se em duas análises: a obtenção das manchas de inundação e a avaliação dos danos econômicos. Para obtenção da mancha de inundação foi utilizado um modelo digital de elevação de resolução de 10 metros. A avaliação econômica foi discretizada por setores censitários, delimitados pelo IBGE.

A determinação do prejuízo foi realizada pela estimativa dos danos passíveis de ocorrer nas áreas inundáveis da cidade de Itajubá-MG, dependente da profundidade média de submersão estimada para cada setor. Sobrepondo as informações de caracterização socioeconômica dos setores às áreas de inundação simuladas, foi possível estimar o dano para cada bairro. A Figura 4 a seguir apresenta a estratégia metodológica, a qual será melhor explicada nos itens que seguem.



Figura 4- Detalhamento da metodologia proposta

Com a mancha de inundação calculada e validada foram extraídas as faixas de inundação e calculados os prejuízos nas residências e veículos.

Os prejuízos tratados nesta metodologia foram considerados por se julgar os mais significativos na caracterização dos impactos das cheias no meio urbano. São eles:

- Prejuízos a propriedades: conteúdo e edificação;
- Limpeza de residências;
- Danos materiais a veículos;
- Gerar mancha de inundação

3.1 Área de Estudo

3.1.1 Município de Itajubá

O município de Itajubá situa-se no sul do Estado de Minas Gerais, pertencente a mesorregião do sul de Minas Gerais e município sede da Microrregião de Itajubá (Figura 5). O município é referência para 12 cidades, são elas: Brasópolis, Consolação dos Ouros, Cristina, Delfim Moreira, Dom Viçoso, Maria da Fé, Marmelópolis, Paraisópolis, Piranguçu, Piranguinho, Wenceslau Brás, Virgínia. Possui uma altitude de 1746 metros no seu ponto mais alto e de 830 metros no ponto mais baixo, acima do nível do mar, sendo que a área urbana, sem considerar os morros, fica numa altitude média de 842 metros. Sua extensão territorial é de 290,45 km², com uma área rural de 219,75 Km² de área rural e 70,70 Km² de área urbana (IBGE, 2019)

De acordo com IBGE (2018), Itajubá é o município mais populoso de sua microrregião, com uma população estimada para o ano de 2020 de 97.334 pessoas, ocupando a 33^o posição no estado de Minas Gerais e o 311^o mais populoso do país. Seu PIB para o ano de 2018 foi de R\$ 2.815.199.247,68 com PIB per capita de R\$ 31.052,96. Possui Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,787, o quarto maior IDH do estado de Minas Gerais.

Em 2018, o salário médio mensal era de 2,9 salários mínimos, ocupando a posição 23 dentre os 853 municípios do estado de Minas Gerais e em comparação com todos os municípios do Brasil, ocupa a posição 235 dos 5570 municípios. Já a proporção de pessoas ocupadas em relação à população total era de 28,5%, ocupando a posição 63 dos 853 municípios mineiros e ocupa a posição de 574 a nível nacional.

Considerando domicílios com rendimentos mensais de até meio salário mínimo por pessoa, tinha 33.2% da população nessas condições, o que o colocava na posição 622 de 853, dentre as cidades do estado e na posição 3981 de 5570, dentre as cidades do Brasil (IBGE, 2019).

A cidade apresenta 90,5% de domicílios com esgotamento sanitário adequado, 50.1% de domicílios urbanos em vias públicas com arborização e 40.3% de domicílios urbanos em vias públicas com urbanização adequada (presença de bueiro, calçada, pavimentação e meio-fio (IBGE, 2018).

Segundo a classificação climática de Köppen, o clima de Itajubá é o Cwa, isto é, clima temperado úmido com inverno seco e verão quente; e, temperatura média do mês mais quente superior a 22° C (REBOITA et al. 2015 e SÁ JÚNIOR, 2009).

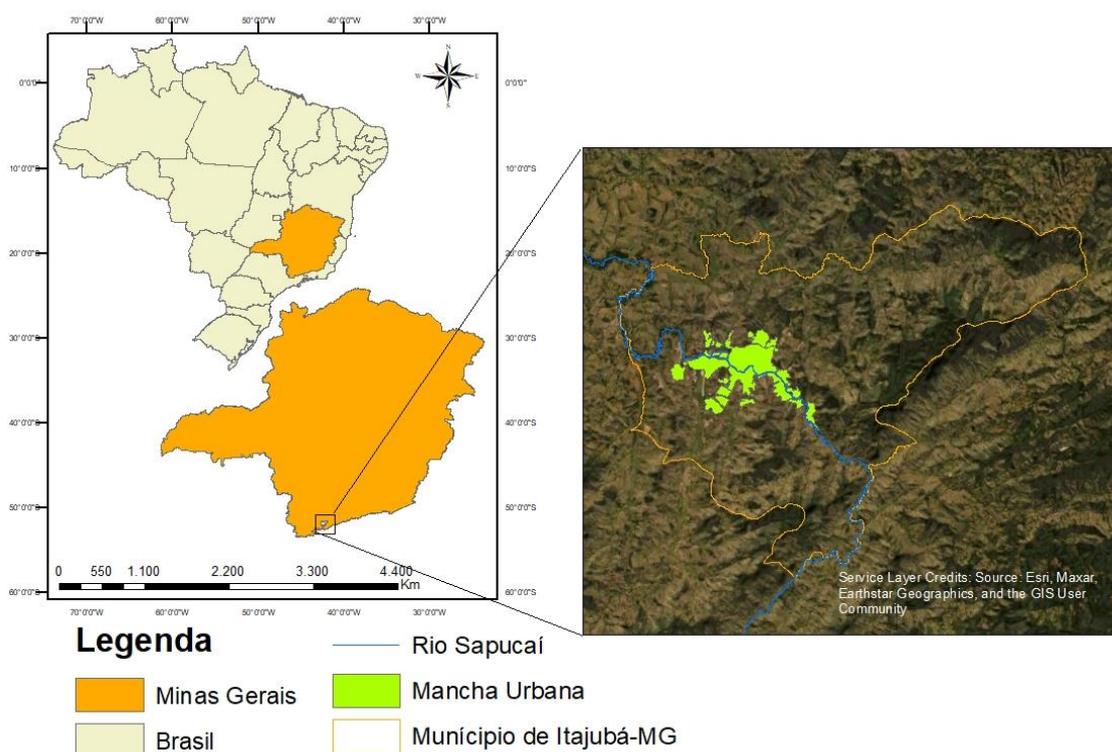


Figura 5- Localização da cidade de Itajubá.

Reboita et al. (2016) analisaram as principais variáveis meteorológicas registradas pela estação meteorológica automática da marca Davis, instalada no campus da UNIFEI (22° 24' 46" S e 45° 27' 06" W; 850 metros de altitude). Foi considerado nas análises dos autores um período de 2010 a 2016. Em Itajubá, a maior temperatura média é de 23,3° C em fevereiro e a menor é de 15,1° C em julho. Com relação à precipitação, o total médio

anual é de 1458 mm, sendo que cerca de 80% desse valor ocorre entre os meses de outubro a março (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**) .Os verões úmidos e invernos secos, típicos da região sudeste do Brasil, são evidenciados na análise da umidade relativa, cujos valores nos meses de Julho e Agosto podem, durante o período vespertino (15h), atingir valores significativamente baixos e Umidade relativa menor que 30%. A variabilidade mensal da cobertura de nuvens acompanha a da precipitação, sendo que em janeiro há mais de 50% do céu encoberto por nuvens, enquanto que em agosto, menos de 30% de cobertura é observada (Figura 6).

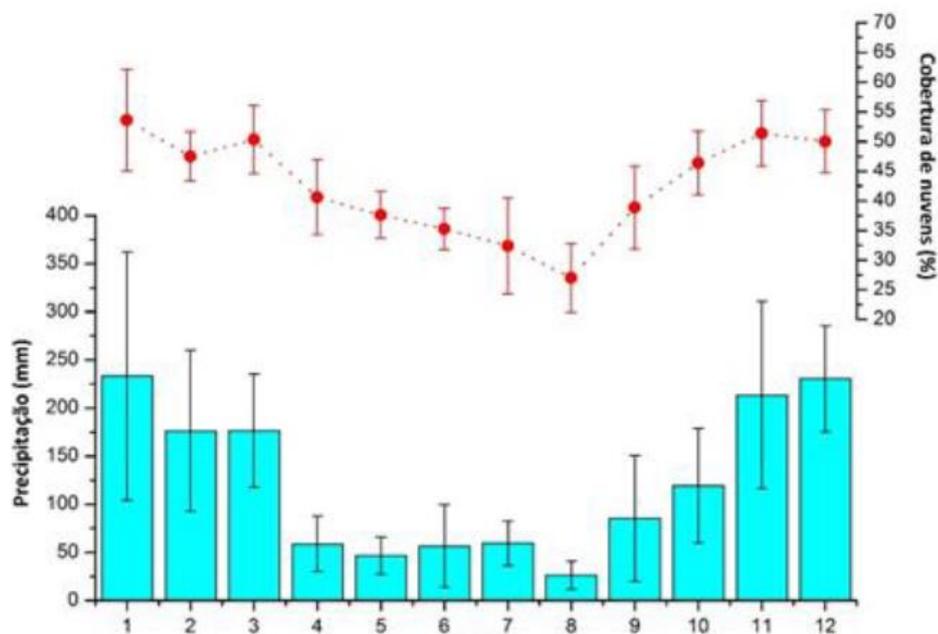


Figura 6-Média mensal da precipitação (mm, barras) e cobertura de nuvens (% , linha) computada com dados medidos na estação meteorológica automática da UNIFEI entre 2010 e 2016.As barras indicam o desvio-padrão da precipitação. Fonte : Reboita et al. (2016)

Aliadas às fortes precipitações que são concentradas e decorrentes do verão chuvoso, a cidade de Itajubá-MG é cortada por 6 rios: Rio Sapucaí, Rio Lourenço Velho, Ribeirões Anhumas, José Pereira, Piranguçu e Água Preta. Com a ocupação desordenada ao longo do tempo na planície de inundação dos rios, cria-se um dos principais problemas a serem enfrentados pela população (REIS *et al.*, 2016).

Segundo Pinheiro (2005), o município foi atingido por 74 eventos de cheia desde 1821 e, por conta da magnitude e dos danos provocados, ganham destaque os eventos de 1874, 1945 e de 2000. Para Bosco et al. (2016), as explicações para a recorrência destes eventos estão nas características hidrológicas e hidráulicas da bacia do rio Sapucaí, principalmente no trecho onde está situada a área urbana do município, pois se encontra

em uma planície aluvionar, com baixa declividade média do rio Sapucaí. Em relação à precipitação, a ocorrência de chuvas bem distribuídas espacialmente pela bacia, atingindo ao mesmo tempo as áreas de contribuição da cabeceira do rio Sapucaí e também dos seus principais afluentes a montante de Itajubá, - rio das Bicas e Santo Antônio -, provocam o aumento do nível do rio, produzindo uma onda de cheia em direção à área urbana itajubense e, ocasionalmente, nos eventos mais extremos, resultando no transbordamento do rio e na ocorrência de inundação.

3.1.2 Bacia do Rio Sapucaí

Conhecer a bacia hidrográfica é fundamental para compreender o perigo e quantificar o risco de um possível evento extremo no município. A área de estudo corresponde à cidade de Itajubá, que está situada na parte alta da bacia do Rio Sapucaí.

O rio Sapucaí nasce na Serra da Mantiqueira, na cidade de Campos do Jordão – SP, a uma altitude de 1.620 metros, desaguando no Lago de Furnas a 780 metros de altitude, percorrendo, aproximadamente, 248 km (MARTINS; SILVA; PONS, 2019).

O clima da bacia do rio Sapucaí, de acordo com a classificação de Köppen, é predominantemente clima subtropical de altitude, com inverno seco e verão ameno (Cwb) e clima subtropical de inverno seco, com temperaturas inferiores a 18°C (Cwa). A parte da bacia mais próxima às elevadas altitudes da Serra da Mantiqueira é Cwb e o restante Cwa (ALMEIDA et al., 2017).

A vegetação original do trecho do alto Sapucaí corresponde às características do domínio da Mata Atlântica. Entretanto, as pressões - representadas pela expansão urbana e de infraestrutura e pelas atividades econômicas - sobre a vegetação no passado até os dias atuais, provocaram grandes alterações das características naturais da região. Foi observado um intenso desmatamento de seus ecossistemas naturais, com substituição da vegetação nativa por áreas de pastagens, culturas e também, silviculturas, além da expansão das áreas urbanas e da malha viária (REIS *et al.*, 2016)

A Bacia abriga 48 municípios mineiros e 3 paulistas, onde vivem aproximadamente 620.000 pessoas e abriga importantes indústrias (Figura 7). Sua área de drenagem é de 8.882 km² (DURÃES e MELLO, 2016).

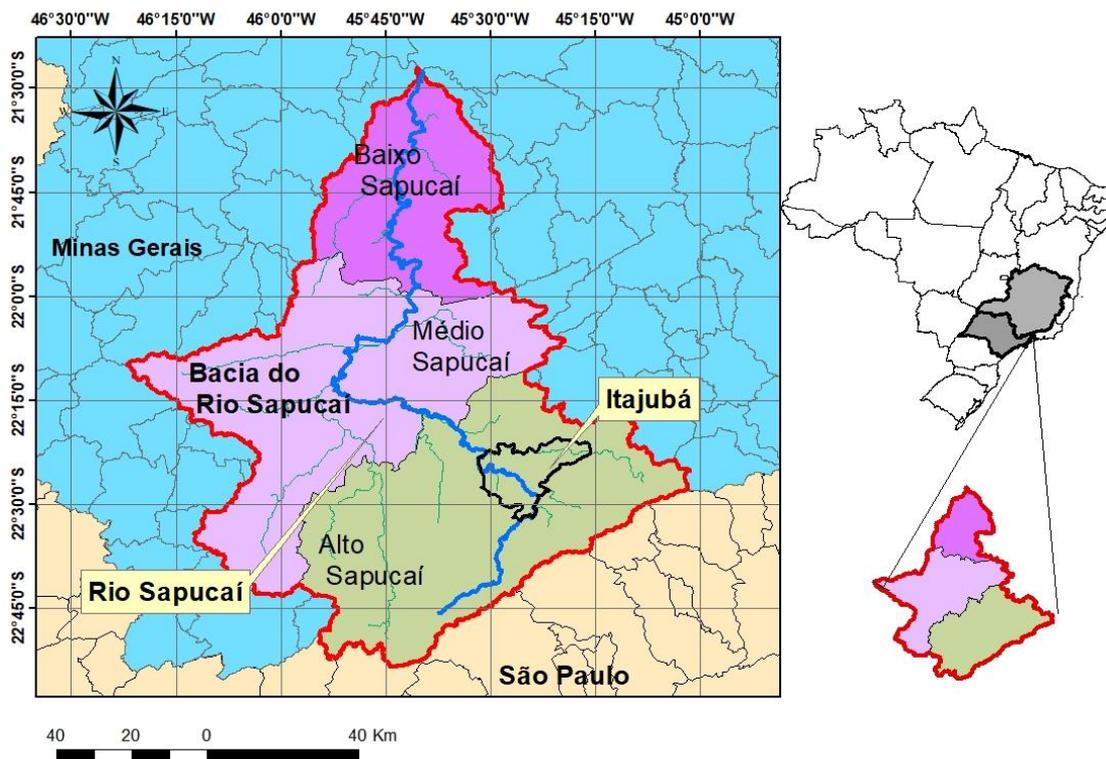


Figura 7-Município de Itajubá inserido na bacia do Sapucaí.

Fonte: Martins (2017)

A altitude da área de drenagem a montante de Itajubá varia entre 838 a 1767 m, sendo que a região leste possui as maiores altitudes. Na porção noroeste, a jusante da bacia, ocorrem as menores altitudes, entre 836 e 1063 m, onde está situado o núcleo urbano. Pode-se observar pela, Figura 8 que o rio Sapucaí nasce em elevadas altitudes, superiores a 1692 m e chega na cidade de Itajubá com altitudes inferiores a 852 m gerando um desnível entre a cabeceira e o exultório da área de estudo de 860 metros.

Os primeiros 20 km o Rio Sapucaí percorre altitudes superiores a 1500 metros com pouca declividade. A partir do quilometro 20 a altitude decresce para 1200 metros em apenas quatro quilômetros. O rio percorre um platô de 2 quilômetros e a partir do quilometro 26 sofre nova variação de altitude, chegando na cidade de Itajubá com altitudes inferiores a 900 metros (Figura 8).

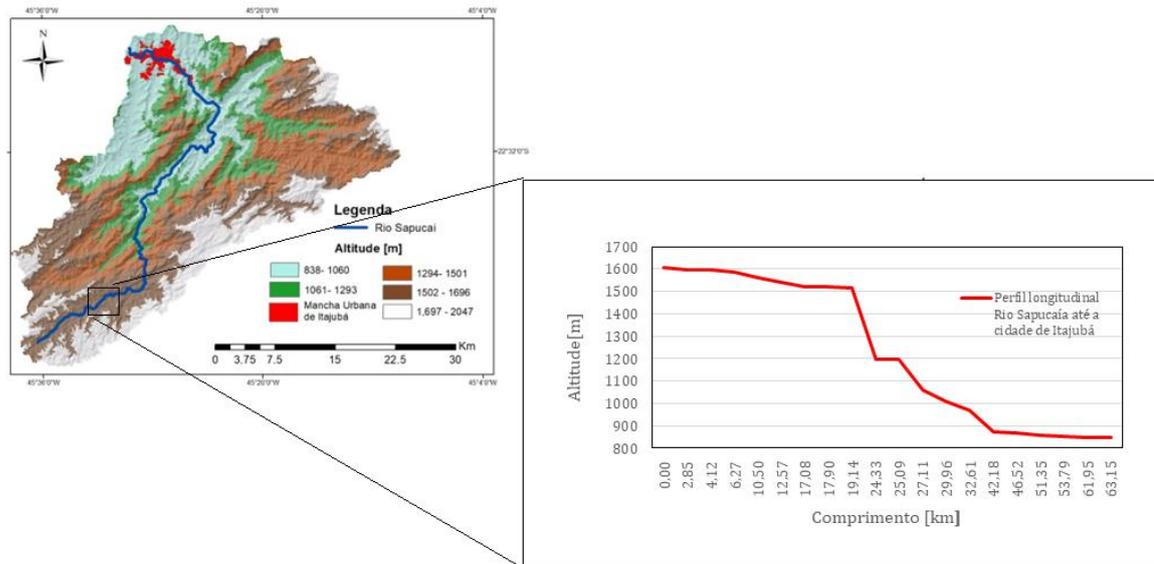


Figura 8-Perfil Longitudinal do Rio Sapucaí da nascente até a cidade de Itajubá

3.1.3 Principais afluentes do rio Sapucaí a montante da cidade de Itajubá-MG

Para obter a área de estudo foi determinada uma coordenada localizada próximo ao Frigorífico Frivasa. Com o MDE de resolução de 90m obteve-se a área de drenagem do rio Sapucaí até esta coordenada. Dentro desta área de drenagem foram localizados os afluentes do rio Sapucaí que afetam o perímetro urbano. Os principais afluentes são: Rio Bicas, Santo Antônio, Ribeirão José Pereira Anhumas e Rio Piranguçu (Figura 9). A área de drenagem dos afluentes foi calculada usando um software de geoprocessamento e utilizando um Modelo Digital de Elevação (MDE) de resolução espacial igual a 90 m, obtida do site Brasil em relevo da Embrapa (MIRANDA, 2005).

De acordo com Marciano (2019), o ribeirão José Pereira nasce na Serra da Água Limpa, no município de Itajubá, o ribeirão das Anhumas, na Serra do Pouso Frio, também em Itajubá, já o rio Piranguçu, nasce no município de Piranguçu – MG. O rio Bicas nasce na serra da Mantiqueira, no município de Wenceslau Brás (MG).

Para calcular o tempo de concentração deve-se determinar o comprimento do rio e a declividade. Tucci (2004) relata no seu livro que o método mais adequado para calcular a declividade é o método denominado declividade equivalente ou média harmônica. Este método divide o rio em trechos, é determinada a declividade de cada

trecho (l_i) que é a divisão do desnível do trecho pelo comprimento de cada trecho (equação 1). Depois de determinar a declividade em cada trecho pode-se obter a declividade equivalente do rio estudado pela Equação 2 Os resultados da área de cada bacia, comprimento do rio, declividade equivalente e os tempos de concentração encontram-se dispostos na Tabela 1.

Para conhecer a dinâmica destes corpos hídricos foi calculado o tempo de concentração que, segundo Durant (2018) é um parâmetro hidrológico de grande importância que permite visualizar o comportamento de uma bacia quanto à resposta do escoamento superficial em relação à ocorrência de eventos chuvosos. De acordo com Tucci (2004), o tempo de concentração pode ser alcançado diretamente por hidrogramas unitários monitorados ou por equações empíricas já existentes na literatura. Este trabalho calculou o tempo de concentração pela equação Engineers (Equação 3).

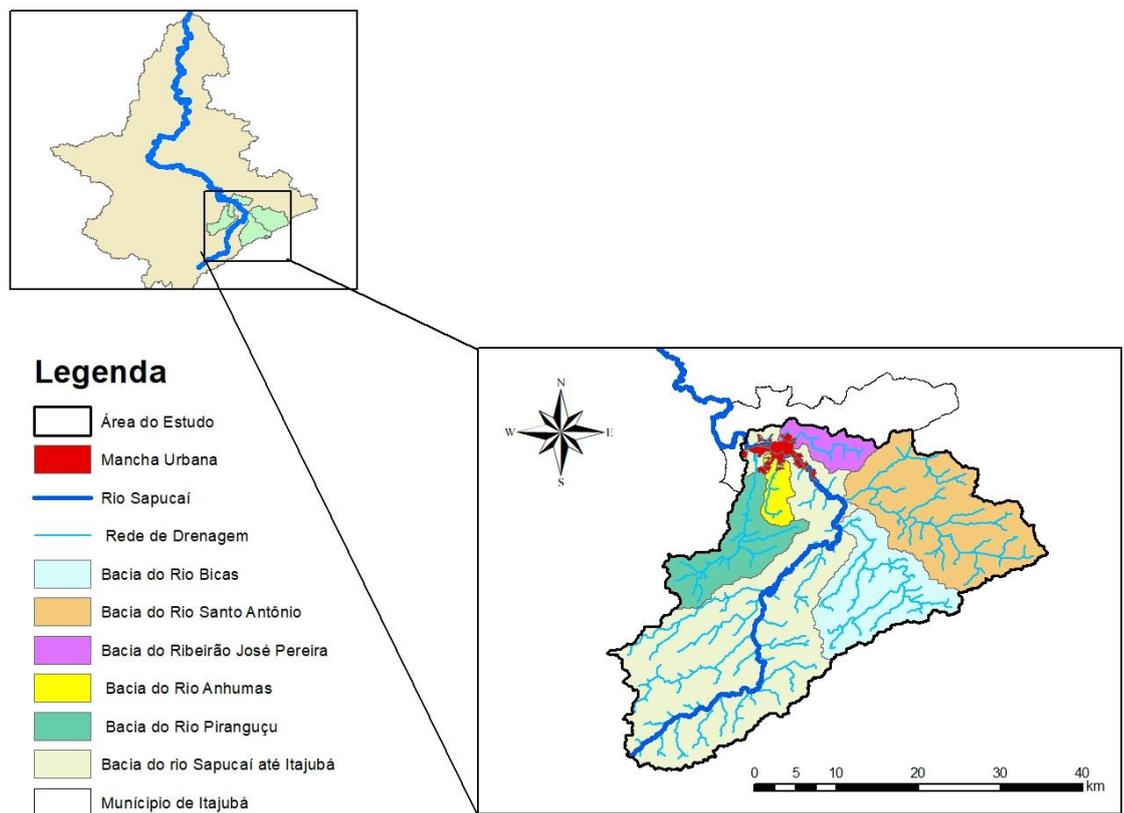


Figura 9- Bacias de rios a montante da cidade de Itajubá

$$l_i = \frac{\Delta H_i}{L_i} \quad (1)$$

$$l_{eq} = \left(\frac{\sum L}{\sum \left(\frac{Li}{\sqrt{li}} \right)} \right)^2 \quad (2)$$

Em que,

L: comprimento total do talvegue (horizontal);

li: declividade de cada trecho;

Hi: desnível entre as extremidades do trecho i;

Li: comprimento horizontal de cada trecho i;

$$T_{c-} = \frac{0,191L^{0,76}}{S^{0,19}} \quad (3)$$

Em que,

T_c= tempo de concentração (horas)

S= declividade do talvegue (m/m)

L= Comprimento do talvegue (km)

Tabela 1: Parâmetros Hidrológicos das sub-bacias do Rio Sapucaí

Rios	Área [km ²]	L(Km)	S [m/m]	Tempo de concentração [h]
Piranguçu	100,67	22,05	0,0052	6,25
Anhumas	24,54	9,8	0,016	2,32
José Pereira	39,64	14,10	0,031	2,75
Santo Antônio	236,65	28,29	0,0082	6,04
Bicas	150,97	31,92	0,026	5,32
Sapucaí	498,47	68,65	0,0026	14,76

3.2 Delimitação da Mancha de Inundação

Para quantificar o dano, foi gerada a mancha de inundação para cidade de Itajubá, utilizando o MDE de resolução de 10 metros. Este Modelo digital de elevação foi obtido pela empresa SAI - Serviços Aéreos Industriais Especializados Ltda, utilizando a tecnologia de perfilamento a Laser Aerotransportado. Este produto foi gerado para auxiliar na identificação do aproveitamento hidrelétrico da bacia do Rio Sapucaí (LAGE, 2013).

O mapeamento planialtimétrico cobriu todo curso d'água principal a partir de suas nascentes na região da sede do município de Campos do Jordão até sua foz, já na região do remanso do reservatório da UHE Furnas, no rio Grande.

O conceito para obtenção da mancha de inundação foi obtido de Marciano (2019), porém foi utilizado diferentes softwares para a obtenção destas manchas. A metodologia elaborada por esta dissertação está descrita a seguir.

Para calcular a linha d'água para o trecho estudado foi adotado um valor para a cota de montante e com a declividade determinada por Pinheiro (2005) de 0,68m/km calculou-se a cota de jusante. Foi gerada uma imagem raster no *software* Global-Mapper 13 de um plano inclinado com a mesma declividade da linha d'água.

A linha d'água foi comparada com o MDE através do *software* QGIS versão 2.8., extraíndo-se assim, a mancha de inundação. A operação realizada no *software* é: Se a cota do MDE no ponto for maior que a linha d'água utiliza, somente o ponto da linha d'água, caso contrário utiliza-se os valores do MDE.

Desta forma, o *software* elimina os pontos maiores que a linha d'água. A figura 10 ilustra o resultado final da operação. Foram geradas as manchas de inundação da cota 844 metros até a cota 848 metros.

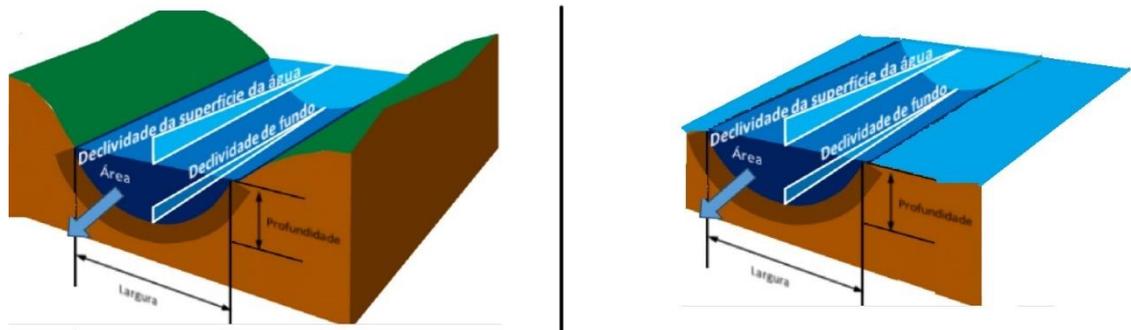


Figura 10-Metodologia para gerar a mancha de inundação

3.3 Considerações iniciais para cálculo do prejuízo

A metodologia proposta por Nagem (2008) e utilizada neste trabalho considera cada prejuízo afetado distintamente pelas alturas de inundação devido às diferenças de cota existentes nas áreas urbanas, ilustradas pela Figura 11. Normalmente as construções, residenciais ou não, situam-se a uma certa altura do terreno, a partir do meio fio, que também é superior em relação à cota das ruas.

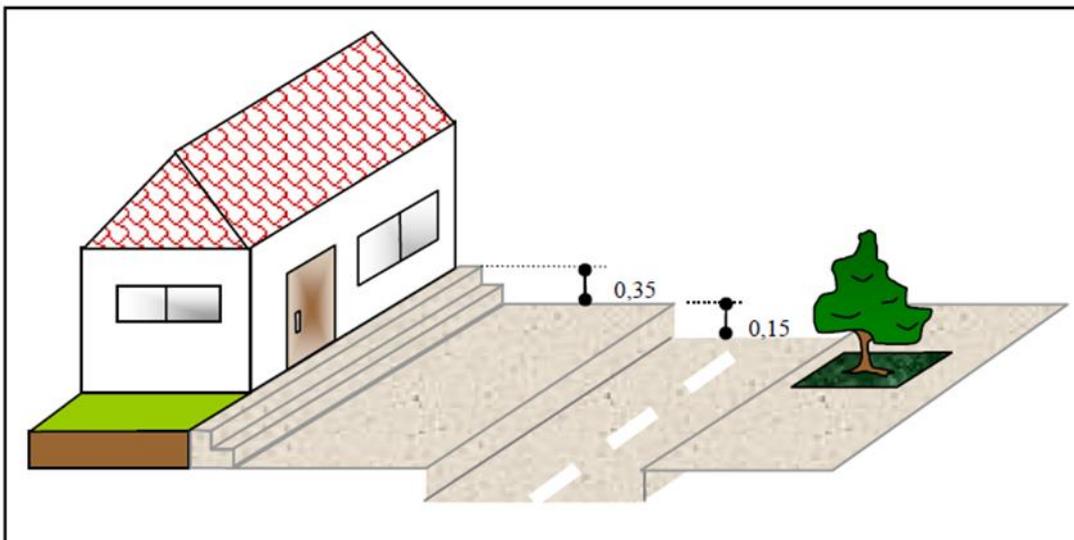


Figura 11- Esquema representativo das alturas de inundação

Fonte: Nagem (2008)

Na Figura 11 tem-se o esquema onde considera-se que para alturas de inundação (h) de 0 à 0,15m, as águas ficam concentradas nas ruas, para $0,15 \leq h \leq 0,50$ m, as calçadas ficariam submersas e as águas chegariam às soleiras das residências. Somente para $h \geq 0,50$ m é que as construções seriam atingidas, passando a contabilizar prejuízos. Uma

outra premissa de caracterização de urbanização considerada é o percentual médio da área total relativo à área construída. Em uma bacia urbanizada, a sua área total engloba ruas, calçadas, parques, jardins e construções. Baseado na padronização de urbanização proposta por Miguez, 2001, considera-se que a área com edificações corresponde a 60% da área total, que o percentual das áreas de ruas corresponde a 10% e a parcela média de calçadas, parques e jardins, 30%.

Os prejuízos serão associados às profundidades de submersão, conforme mostra, resumidamente, a Tabela 2. O processo de quantificação dos custos das enchentes assumirá estas suposições em seus cálculos.

Tabela 2: Danos das enchentes associados às alturas de inundação

Altura de inundação (m)	Prejuízos
$0 \leq h < 0,15$	Nesta faixa, a água fica restrita às ruas, portanto, só afeta a passagem de veículos nas vias, pois com o acúmulo das águas há uma tendência natural de redução da velocidade por questões de segurança.
$0,15 \leq h < 0,30$	A inundação ultrapassa o meio fio e afeta a rotina dos transeuntes. Será a partir da altura de submersão de 15 cm que se considerará a população sujeita a doenças de veiculação hídrica. A situação do tráfego só tende a piorar.
$0,30 \leq h < 0,50$	É nesta faixa que inicia os danos materiais aos veículos
$0,50 \leq h < 0,75$	Com 50 cm de inundação as residências são afetadas, causando danos às estruturas e conteúdo. Nesta faixa o fluxo de veículos é completamente paralisado.
$0,75 \leq h < 1,00$	Os danos têm um crescimento significativo a partir desta faixa de inundação.
$h \leq 1,00$	Os veículos estão submersos e praticamente todos os itens do interior das propriedades foram atingidos. Os transtornos beiram o caos.

Fonte: Adaptado de Nagem (2008)

3.4 Prejuízos à propriedades residenciais

Seguindo a metodologia proposta por Nagem (2008), os prejuízos causados pelas cheias urbanas às residências serão divididos em prejuízos à edificação e ao conteúdo, para que permita uma análise mais acurada dos danos. Os prejuízos à edificação correspondem aos danos a todos os componentes da construção, enquanto que os prejuízos ao conteúdo se referem aos danos aos bens de consumo localizados no interior das residências, como mobiliário, eletrodomésticos, etc.

Os valores dos custos unitários básicos (CUB) devem ser divulgados mensalmente pelos Sindicatos da Indústria da Construção Civil, em todo o país, em R\$/m² para os

diferentes projetos-padrão definidos pela Norma. Para relacionar este indicador (CUB) com outras informações da região, buscou-se relacioná-lo com a classe socioeconômica, definida pelo Critério de Classificação Econômica Brasil (ABEP, 2019). A renda média familiar da área em estudo é obtida através do Censo Demográfico, do IBGE. O último censo foi realizado em 2010 (IBGE,2010).

O Critério de Classificação Econômica Brasil divide o mercado por classes econômicas em função do poder de compra das famílias. O poder aquisitivo é definido através de um sistema de pontos, atribuídos a posse de bens de consumo duráveis, número de empregados, grau de instrução do chefe de família, entre outros fatores. Com base na pontuação são estabelecidas as classes: A, subdividida em A1 e A2, B, subdividida em B1 e B2, C, D e E, de acordo com critério Brasil de 2019. A Tabela 3 classifica a classe social de acordo com a renda.

Tabela 3: Classificação econômica

Classe Social	Renda média
A	Renda ≥ R\$ 22.7616,99
B1	R\$ 22.7616,99 > Renda ≥ 10.427,74
B2	10.427,74 > Renda ≥ R\$ 5.449,60
C1	R\$ 5.449,60 > Renda ≥ R\$ 3.042,47
C2	R\$ 3.042,47 > Renda ≥ R\$1.805,91
DE	R\$1.805,91 > Renda ≥ R\$ 813,56

Fonte: Abep (2019)

A Tabela 4 apresenta as características principais dos projetos-padrão de residências unifamiliares da NBR-12721/2005 e a classificação destes, segundo às classes propostas por ABEP (2019).

Tabela 4: Tipo de residências

Classe	Tipo da Residência	Código	Descrição
E	Residência Popular	RP1Q	Sala, 1 quarto, banheiro e cozinha Área real: 39,56 m ²
D	Residência Padrão Baixo	R1-B	Sala, 2 quartos, banheiro, cozinha e área de serviço Área real: 58,64 m ²
C	Residência Padrão Normal		
B2	Residência Padrão Normal	R1-N	Sala, 3 quartos (1 suíte), banheiro, cozinha, área de serviço com banheiro e varanda/abrigo. Área real: 106,44 m ²

B1			
A2	Residência Padrão Alto	R1-A	Sala, 4 quartos (2 suítes e 1 closet), banheiro, cozinha, dependências completas de serviço e varanda/abrigo Área real: 224,82 m ²
A1			

Fonte: Adaptado de Nagem (2008)

Ressalta-se que os cálculos devem considerar os valores do CUB fornecidos pelos Sindicatos e devem ser depreciados em 50% (SALGADO, 1995). Adaptando as funções altura de inundação x prejuízo (SALGADO, 1995), elaborou-se a Tabela 5. Nesta tabela, encontra-se a porcentagem da edificação danificada de acordo com a altura de inundação e com o imóvel padrão.

Tabela 5: Porcentagem da edificação danificada (PED).

Código	Classes	Alturas de inundação (m)					
		0,50 a 0,75	0,75 a 1,00	1,00 a 1,50	1,50 a 2,00	2,00 a 2,50	2,50 a 3,00
R1-A	A1, A2	0,095	0,164	0,170	0,196	0,210	0,216
R1-N	B1, B2	0,056	0,130	0,137	0,167	0,183	0,198
R1-B	C, D	0,042	0,133	0,137	0,164	0,173	0,185
RP1Q	E	0,040	0,142	0,147	0,174	0,183	0,197

Fonte: Adaptado de Nagem (2008)

Nota-se que os danos só começam a ser contabilizados para uma profundidade de submersão superior a 0,50 m onde a água começa a atingir as residências e considerando também que a área ocupada é 60% da área total calculada. Considerando as informações anteriores, aplica-se a equação 4:

$$CRE = [(0,5 \times CUB) \times PED] \times AIC \quad (4)$$

Onde:

CRE = Custo dos Danos a Edificação das Residências

CUB = Custo unitário básico de construção (R\$/m²)

PED = Porcentagem da edificação danificada

$$AIC = \text{Área inundada construída (m}^2\text{)} = 60\% \text{ da Área total inundada}$$

3.5 Prejuízos aos conteúdos na residência

A metodologia utilizada para a quantificação deste prejuízo baseou-se em SALGADO (1995), LIMA (2003), MACHADO et al. (2005) e Nagem (2008).

Para estimar os prejuízos foi definido um imóvel padrão de uma família de classe média (B1 ou B2), com itens de consumo, localização e distribuição mais comum na maioria das residências, conforme relaciona a

Tabela 6, baseado em SALGADO (1995). Estes itens foram orçados à vista, através de pesquisa de mercado, realizados através da internet, em grandes lojas do ramo. Baseado na literatura pesquisada, estes valores foram depreciados em 50%. Foram considerados nessa pesquisa de mercado para os preços de cada item o valor mais baixo.

Tabela 6: Itens e preço da residência padrão

Cômodo	Item	Faixa De Inundação(m)	Preço
Sala de Estar	Sofá 2 Lugares	0,5 a 0,75	R\$ 400,00
	Sofá 3 Lugares	0,5 a 0,75	R\$ 700,00
	Mesa de Centro	0,5 a 0,75	R\$ 100,00
	Estante	0,5 a 0,75	R\$ 300,00
	Armário Baixo Rack	0,5 a 0,75	R\$ 200,00
	Ar Condicionado	0,75 a 1	R\$ 2.000,00
	Ventilador	1 a 1,5	R\$ 150,00
	Televisão	1 a 1,5	R\$ 2.000,00
Sala de Jantar	Mesinha	0,5 a 0,75	R\$ 200,00
	Mesa De Jantar	0,5 a 0,75	R\$ 800,00
Quarto do Casal	Aparador De Centro	0,5 a 0,75	R\$ 300,00
	Cama De Casal	0,5 a 0,75	R\$ 230,00
	Colchão De Casal	0,75 a 1	R\$ 800,00
	Guarda Roupa	0,5 a 0,75	R\$ 900,00
	Cômoda	0,5 a 0,75	R\$ 400,00
	Mesa De Cabeceira	0,5 a 0,75	R\$ 200,00
Quarto Solteiro	Televisão	1 a 1,5	R\$ 900,00
	Cama De Solteiro	0,5 a 0,75	R\$ 300,00
	Colchão De Solteiro	0,75 a 1	R\$ 400,00
	Guarda Roupa Solteiro	0,5 a 0,75	R\$ 450,00
	Cômoda	0,5 a 0,75	R\$ 300,00
	Televisão 32	1 a 1,5	R\$ 900,00
	Mesa De Estudo	0,5 a 0,75	R\$ 200,00
Cadeira	0,5 a 0,75	R\$ 50,00	

Cozinha	Armário Cozinha Balcão	0,5 a 0,75	R\$ 500,00
	Armário Cozinha Paneleiro	0,5 a 0,75	R\$ 350,00
	Armário Cozinha Parede	2 a 3,5	R\$ 350,00
	Conjunto Mesa De 4 Cadeira	0,5 a 0,75	R\$ 200,00
	Fogão	1 a 1,5	R\$ 500,00
	Depurador	2 a 3,5	R\$ 200,00
	Forno Elétrico	1 a 1,5	R\$ 190,00
	Micro-Ondas	1 a 1,5	R\$ 300,00
	Geladeiras	0,5 a 0,75	R\$ 1.400,00
	Torradeira	1 a 1,5	R\$ 70,00
	Liquidificador	1 a 1,5	R\$ 100,00
	Batedeira	1 a 1,5	R\$ 120,00
	Lavadora de Louças	0,5 a 0,75	R\$ 1.500,00
	Cafeteira	1 a 1,5	R\$ 100,00
Área de Serviço	Lavoura de Roupas	0,5 a 0,75	R\$ 1.299,00
	Ferro de Passar Roupas	1,5 a 2	R\$ 150,00
	Aspirador de Pó	1,5 a 2	R\$ 200,00

Fonte: Adaptado de Nagem (2008)

De acordo com Nagem (2008), vale ressaltar que esta aproximação é válida em termos médios, embora se esteja desconsiderando que residências com grande histórico de inundações tendem a modificar a disposição de seus conteúdos de forma que, pelo menos os mais valiosos, não sejam atingidos por determinados eventos, assim como um dia tenham sido.

A unidade da variável danos ao conteúdo é R\$/m², assim como os danos a edificação, por isso, deve-se dividir o valor total dos itens danificados pela metragem quadrada do imóvel padrão adotado para orçamento (B1 ou B2), 106,44 m², de acordo com a Tabela 7. Como os dados orçados se referem ao conteúdo de um imóvel padrão de classe média (B1 ou B2), para adequá-lo às demais classes econômicas utiliza-se um fator multiplicador com base na pontuação adotada em ABEP (2019), apresentados na tabela 7. Cabe ao projetista decidir se os itens orçados caracterizam melhor as posses de uma família de classe média B1, que tem uma renda média maior, ou B2, então, adotar o fator multiplicador adequado. Para calcular o custo dos danos aos conteúdos a residência, utiliza-se a equação 5.

Tabela 7: Fator multiplicador dos conteúdos do imóvel padrão (Fm)

Classe social-ABEP-2019	Fator multiplicador (Imóvel padrão B1)	Fator multiplicador (Imóvel padrão B2)
A	2,27	2,70
B1	1,00	1,19
B2	0,84	1,00
C1	0,64	0,76

C2	0,50	0,59
DE	0,36	0,43

Fonte: Adaptado de Nagem (2008)

$$CRC = \left(\frac{0,5 \times CCIP}{AIP} \times Fm \right) \times AIC \quad (5)$$

Onde:

CRC = Custo dos Danos de Conteúdo das Residências

CCIP = Custo dos Conteúdos do Imóvel Padrão (R\$)

AIP = Área do Imóvel Padrão (B1 ou B2) (m²)

Fm = Fator Multiplicador

AIC = Área inundada construída (m²) = 60% da Área total inundada

3.6 Custo de Limpeza de propriedades

As residências que são invadidas pelas águas de inundação necessitam de limpeza e, por causa disso, os moradores podem perder horas de trabalho, por questões de higiene e saúde. A Tabela 8 estabelece uma relação de tempo para limpeza por pessoa, por metro quadrado, associados com a altura de inundação. Estes valores foram sugeridos por Nagem (2008).

Tabela 8: Tempo de Limpeza

Altura de inundação (m)	Horas/m ² /pessoa
0,50 a 0,75	0,25
0,75 a 1,00	0,5
1,00 a 1,5	1,0
1,5 a 2,0	3,00
2,00 a 3,5	5,00

Fonte: Nagem (2008)

O custo relacionado a perda de horas de trabalho devido à limpeza das residências pode ser regido pela equação 6:

$$CLR = \left(\frac{RMF}{MR} \times \frac{ES}{NH} \right) \times TL \times AIC \quad (6)$$

Onde: CLR = Custo de Limpeza de Residências

RMF = Renda média familiar (R\$)

MR = Quantidade de moradores por residência

ES = Encargos Sociais 95,02% = 1,9502

NH = Número de horas de trabalho por mês = 168 horas

TL = Tempo de limpeza (horas/m²/pessoa)

AIC = Área inundada construída (m²) = 60% da Área total inundada

De acordo com Nagem (2008), em cálculos que tenham a renda como parâmetro, utiliza-se o fator Encargos Sociais. O valor de 1,9502 é uma estimativa média do total de impostos e contribuições obrigatórias pagos pelo empregador que incidem sobre os salários.

3.7 Danos materiais aos veículos

Com a lâmina d'água acima de 30 cm de inundação, os carros de passeio começam a sofrer com as águas das inundações; portanto, buscando contabilizar estes danos, Nagem (2008) elaborou uma pesquisa junto a mecânicos para elaborar uma listagem dos danos materiais comumente provocados pelas enchentes. Devido à grande diversidade de veículos, optou-se por considerar um veículo popular para orçar os danos, por duas principais razões: por se desejar contabilizar valores médios e devido a grande venda destes no mercado brasileiro. O resultado da pesquisa encontra-se na Tabela 9, a seguir.

Tabela 9: Dano aos veículos

Altura de inundação	Danos materiais a veículos	Custos dos danos
30 a 50 cm	limpeza do motor de arranque	R\$ 3.360,00
	limpeza embaixo do carro e no cofre do motor	
	forro trocado e carpete lavado e aspirado.	
	caixa de marcha (trocar rolamento)	
50 a 75 cm	revisar alternador	R\$ 6.225,00
	limpeza de parte interna (lavagem de bancos, painéis de Portas, carpetes e troca de forrações)	

	óleo de freio +óleo motor +óleo caixa de marcha (drenar, limpar e colocar novos)	
	danos a parte elétrica de um modo geral (motor dos vidros elétricos faróis,)	
75 a 100 cm	filtro de ar	R\$ 14.745,00
	calço hidráulico	
	óleo e direção hidráulica	
	tanque de combustível (limpeza)	
> 100 cm	perda total	R\$ 30.000,00

Para lâminas d'água inferiores a 100 cm, os custos dos prejuízos representam os custos com reparos dos itens listados. Quando a altura de inundação chega a 100 cm em um veículo, considerou-se perda total. Para manter coerência com os demais cálculos, o valor deste dano refere-se ao valor de um veículo novo depreciado em 50%. Para mensurar a quantidade de veículos afetados pelas cheias, utiliza-se o mesmo princípio utilizado por Nagem (2008), ou seja, a posse de veículos por domicílio. A equação 7, a seguir demonstra como deve ser o procedimento de cálculo para os danos a veículos:

$$CDV = QVD \times QD \times CD \quad (7)$$

Onde:

CVD=Custo dano ao veículo

QVD= Quantidade de Veículos por Domicílio

QD= Quantidade de domicilio

CD= Custo dos danos de acordo com a altura de inundação (Tabela 9)

Este cálculo pode ser superestimado, uma vez que foi considerado que todos os veículos daquele bairro estão localizados ao nível da rua. Não foi considerado também neste cálculo que os veículos que trafegam pela bacia, nem os possíveis veículos estacionados na bacia, que não pertencem aos moradores. Sem deixar de mencionar que os danos foram orçados tomando como padrão veículos populares de pequeno porte. Portanto, há uma compensação, que tende a minimizar os eventuais exageros.

4 RESULTADOS

4.1 Mancha de inundação para a cidade de Itajubá

Para elaborar a mancha de inundação, deve-se obter dois pontos com cotas altimétricas conhecidas, para assim gerar a rampa de declividade. Na cidade de Itajubá a cota de montante está localizada na captação de água da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA), localizada no bairro Santa Rosa. Neste local existe um ponto de coleta de dados com informações que, em determinada cota atingida, pode haver extravasamento da calha.

A cota de jusante está localizada na saída do bairro do Açude, próximo ao frigorífico FRIVASA, no bairro do Açude (Figura 12). Determinando as cotas de inundação do local a montante, estipula-se um valor de cota a montante que uma inundação observada aconteceu.



Figura 12-Definição das cotas altimétricas

Foi gerada a mancha de inundação para a cidade de Itajubá, variando da cota 844 a 848 metros. A Figura 13 mostra somente as manchas e a Figura 14 contém as manchas com a superfície do terreno abaixo.

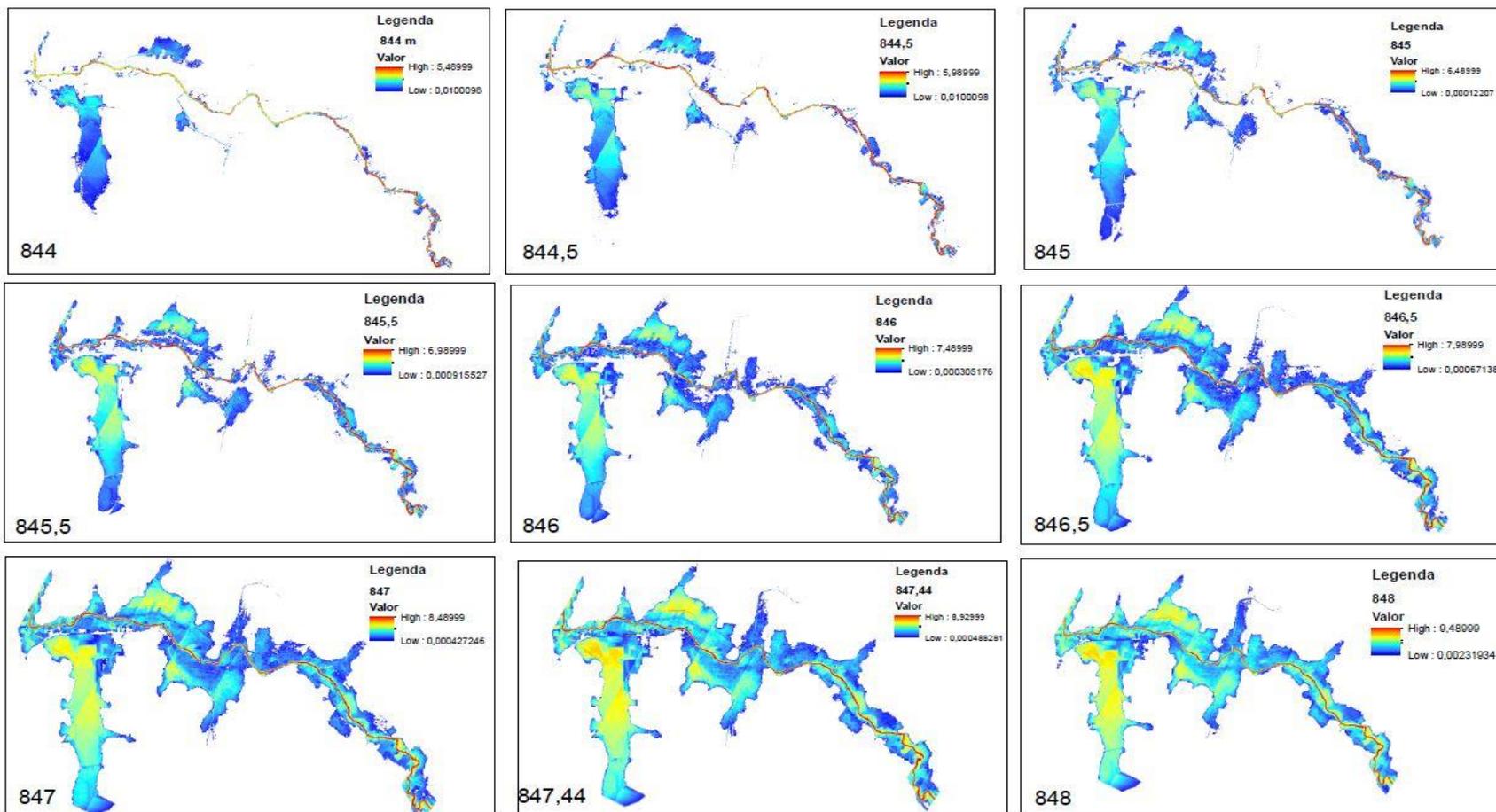


Figura 13-Mancha de Inundação para cidade de Itajubá

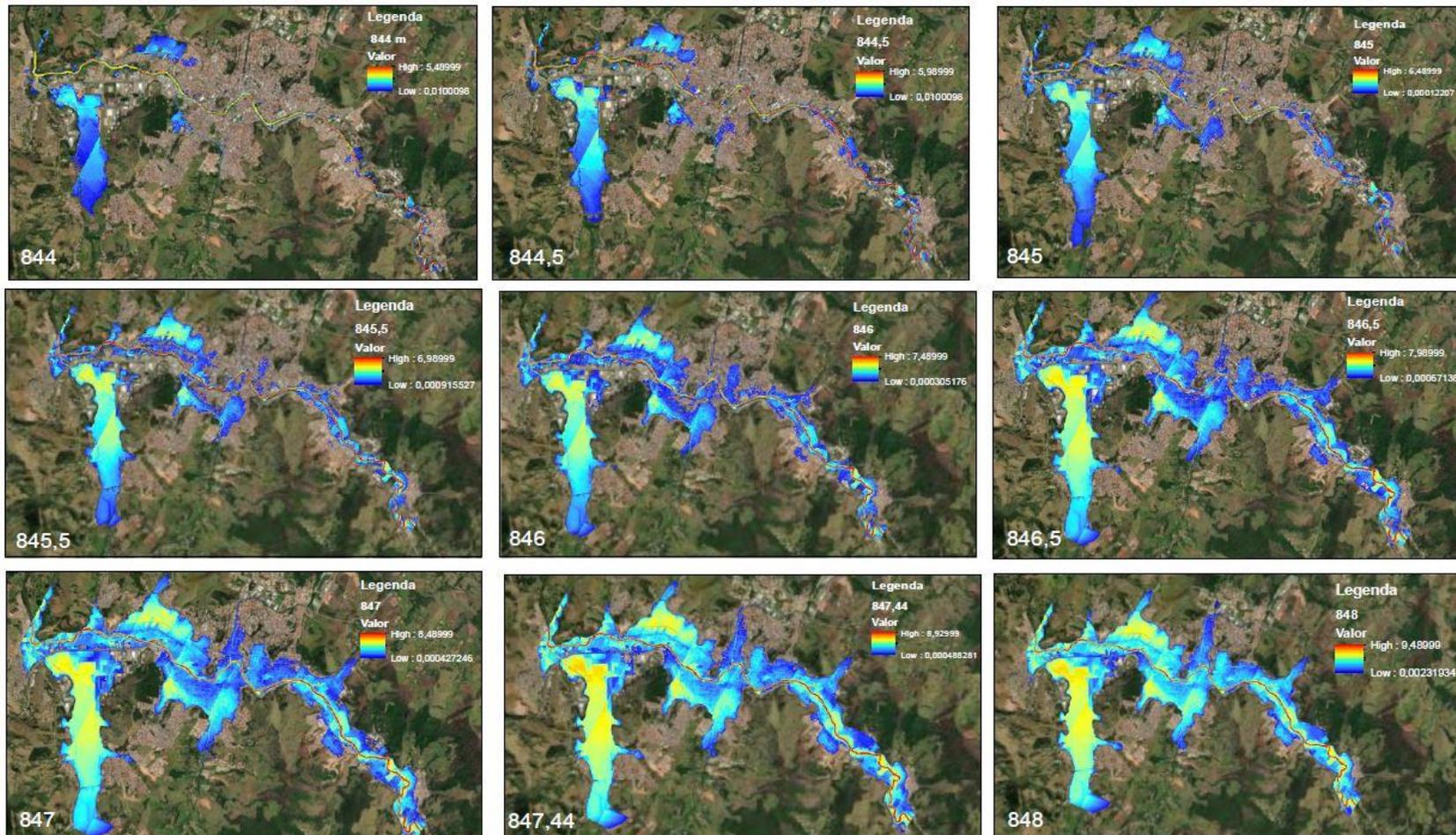


Figura 14-Mancha de Inundação para cidade de Itajubá com a imagem da mancha urbana ao fundo

Após geradas as manchas foram calculadas as respectivas áreas em km², (Tabela 10).

Tabela 10: Área da mancha de inundação

Cota [m]	Área da Mancha[km ²]
844	2,32
844,5	3,24
845	4,44
845,5	5,83
846	7,47
846,5	8,85
847	9,94
847,44	10,71
848	11,39

4.2 Cálculos de Prejuízo

A seguir são apresentados os resultados com os cálculos detalhados para um dos bairros urbanos da cidade, a fim de demonstrar todo o processo de cálculo, e no item seguinte os resultados globais para toda a cidade.

4.2.1 Cálculos detalhados para o bairro Boa Vista

O bairro Boa Vista é um dos bairros mais antigos de Itajubá. Teve origem ainda no século XIX e alcançou grande crescimento no começo do século XX, em decorrência da instalação da fábrica de tecidos. É um bairro que está exposto a inundações do Rio Sapucaí. De acordo com IBGE (2010), o bairro possui 3594 residências e 11.125 habitantes.

O bairro é basicamente residencial e bem urbanizado, com relevo plano e está localizado as margens do Rio Sapucaí, sendo assim um bairro vulnerável a inundações (Figura 15).

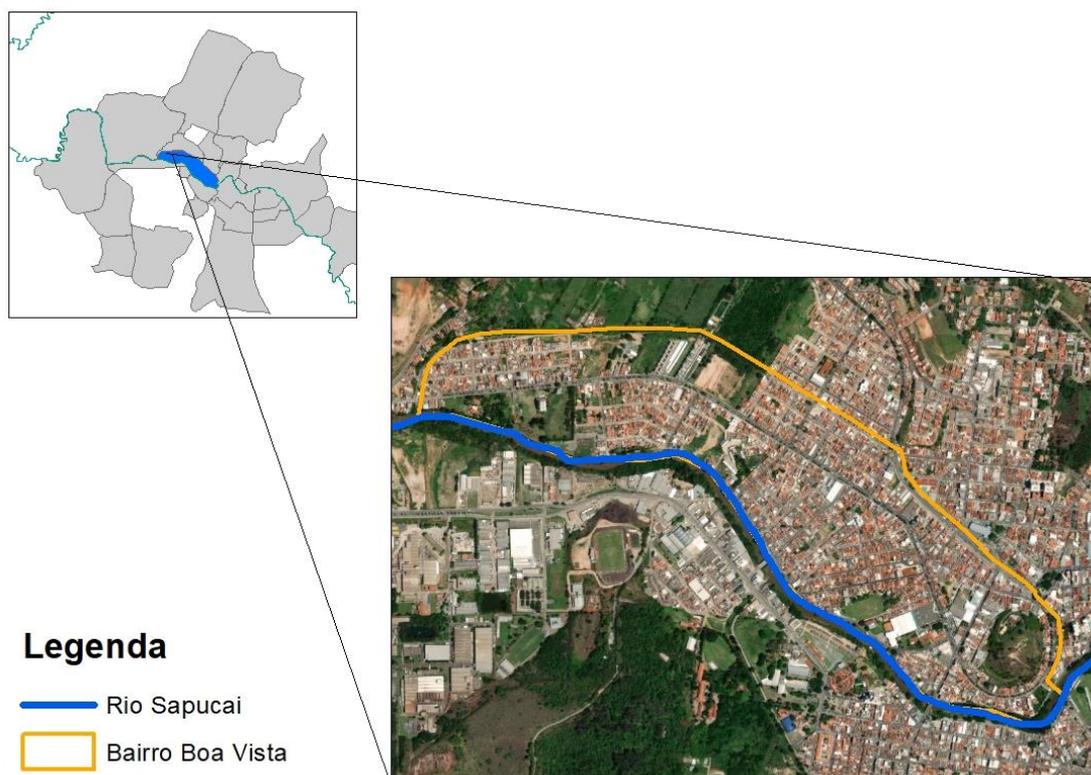


Figura 15-Localização do Bairro Boa Vista

Para iniciar os cálculos dos prejuízos foi feito um recorte da mancha urbana da cidade de Itajubá para o Bairro Boa Vista, devido ao seu relevo plano, o qual é exposto a inundações. Na cota 844 metros, a mancha abrange 9% do bairro, já na cota máxima simulada, representa 92% da área do bairro. A cheia de 2000, evento que causou grandes prejuízos no município, atingiu 89% do bairro, com profundidade máxima de 7,4 metros (Figura 16).

O Rio Sapucaí está localizado na parte sul do bairro, conforme a Figura 15, já a mancha de 844 metros possui pontos de inundações na parte mais afastada do Rio Sapucaí, ao norte do bairro. Tal fato ocorre que nesta região é uma área com a cota mais baixa do bairro, caso o Rio Sapucaí transborde toda a água será direcionada para esta parte de menor altitude. As maiores profundidades estão na parte norte do bairro, portanto, pode-se dividir o bairro em zonas de risco de forma a otimizar medidas de prevenção e mitigação, caso um evento extremo ocorra. Pode-se estabelecer locais nos pontos mais altos do bairro e direcionar os desabrigados para estas áreas, onde poderão receber atendimento sem necessidade de serem retirados do bairro. A mancha de inundação é um elemento primordial para ajudar na tomada de decisão, da defesa civil, caso o evento ocorra. Se bem implementada uma política de evacuação e retirada dos

bens mais valiosos da residência, o prejuízo econômico de uma inundação pode ser reduzido.

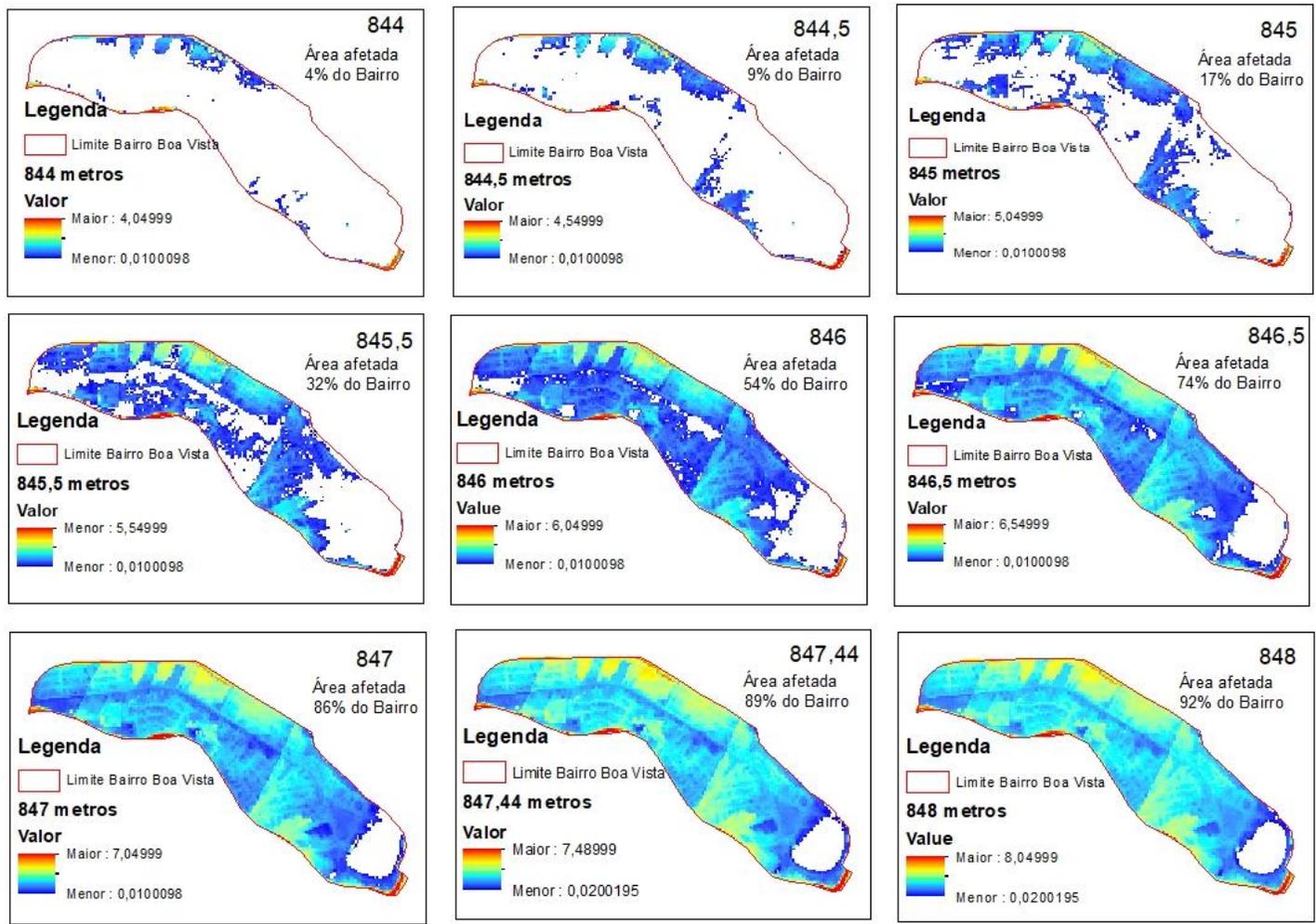


Figura 16-Mancha de inundação para o Bairro Boa Vista

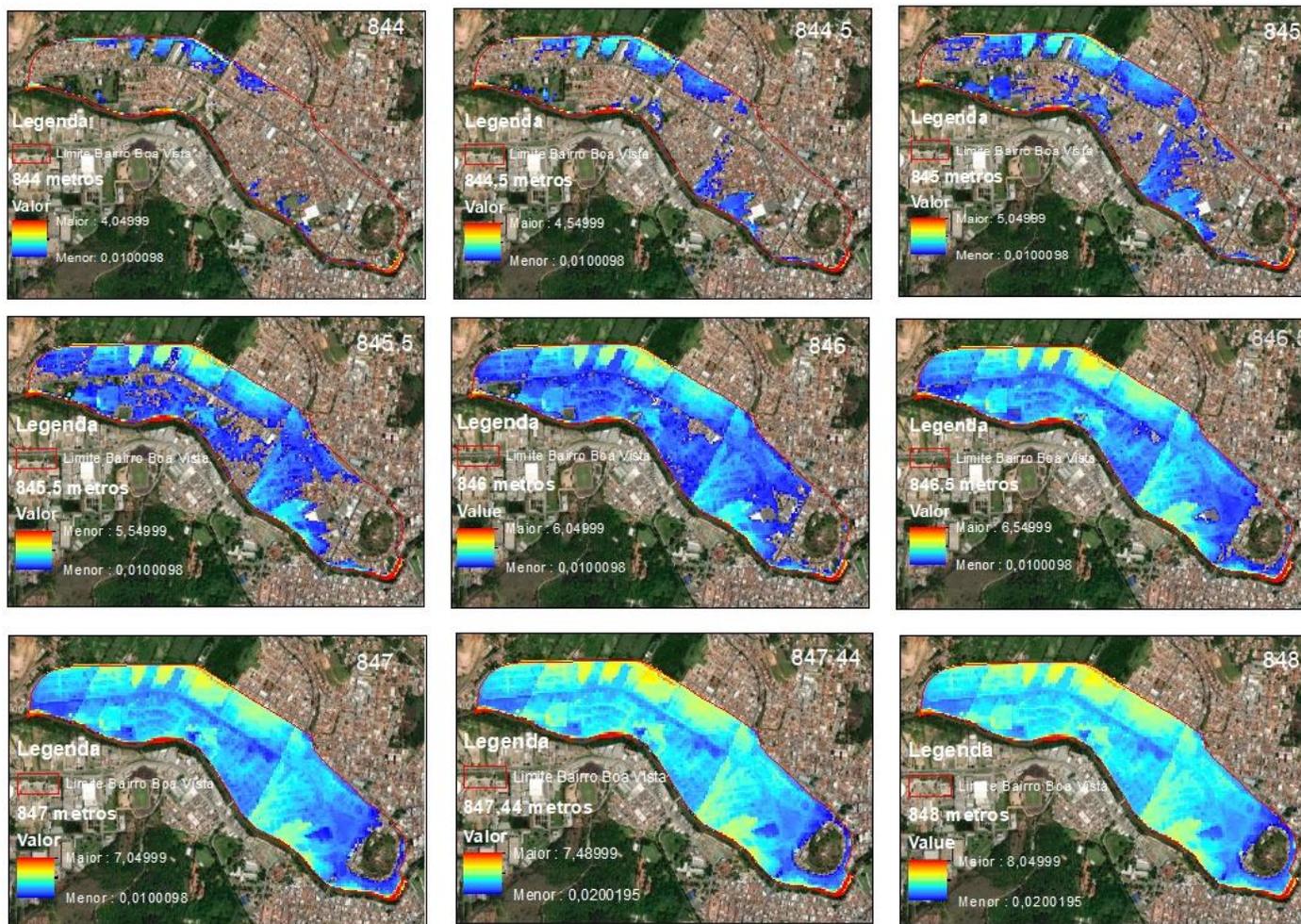


Figura 17-Mancha de inundação e urbana para o Bairro Boa Vista

4.2.1.1 Renda média familiar

Para calcular o prejuízo deve-se estipular a renda do Bairro Boa Vista. O IBGE (2010) dividiu a cidade de Itajubá em setores censitários. Este setor censitário pode abranger mais de um bairro. Com auxílio do *software* QGIS versão 2.8, foram recortados estes setores censitários para o bairro e recalculada a sua área (Figura 18).

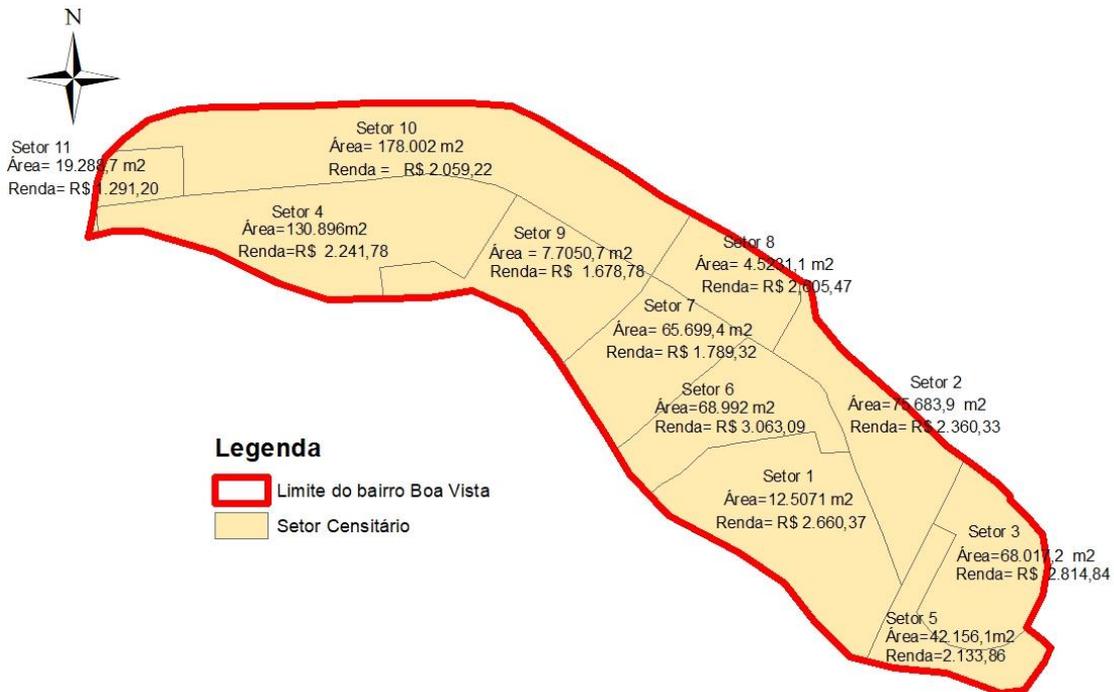


Figura 18-Setores censitários do bairro Boa Vista

Com a área e a renda de cada setor fez-se o cálculo da renda para o bairro utilizando-se a média ponderada representada na equação 8:

$$Renda[R\$] = \frac{\sum(R_s) \times (A_s)}{A_b} \quad (8)$$

Onde:

Renda = Renda no bairro

A_s = Área do setor censitário para cada bairro.

A_b = Área do bairro

A renda do bairro obtida de acordo com o IBGE (2010) e atualizada pelo IPCA é de R\$ 2.581,53.

4.2.1.2 Prejuízo à edificação

Para determinar o prejuízo da inundação à edificação das residências, utilizou-se o Custo Unitário Básico (CUB) de 2019, estabelecido pelo Siduscom do Estado de Minas Gerais. O valor do CUB para uma residência normal foi de R\$1.458,35. O custo foi depreciado em 50% e admitiu-se que as residências neste bairro são do padrão normal. Então foi escolhida a porcentagem de edificação danificada R1-N (Tabela 11).

Tabela 11: Porcentagem da edificação danificada (PED) para o bairro Boa Vista

Código	Classes	Alturas de inundação (m)					
		0,50 a 0,75	0,75 a 1,00	1,00 a 1,50	1,50 a 2,00	2,00 a 2,50	2,50 a 3,00
R1-N	B1, B2	0,056	0,130	0,137	0,167	0,183	0,198

Em cada cota de inundação é associada uma área inundada construída e, de acordo com a metodologia, a mancha do bairro foi dividida em limiares de inundação. O resultado é apresentado na tabela 12. A equação 9 calcula o custo dos danos na edificação:

Tabela 12: Área de inundação para cada cota no bairro Boa Vista

Cota[m]	844	844,5	845	845,5	846	846,5	847	847,44	848
Faixa de inundação [m]	Área [m ²]								
0,5 a 0,75	10.365,07	24.731,69	37.775,23	73.792,62	93.696,70	73.457,26	25.961,60	12.333,61	3.513,07
0,75 a 1	6.445,40	12.692,63	34.702,16	56.259,41	95.174,09	91.354,63	48.279,59	19.529,42	5.486,17
1 a 1,5	8.467,98	17.616,84	39.899,60	76.966,78	142.941,43	210.040,71	180.735,94	89.387,06	30.823,73
1,5 a 2	1.764,55	8.263,05	17.421,13	39.364,41	76.670,18	142.382,02	209.844,45	187.962,82	80.504,24
2 a 2,5	3.581,16	1.732,54	8.345,62	17.343,89	39.343,65	76.500,02	142.448,59	207.984,61	180.517,50
maior que 2,5	8.492,41	12.288,66	14.476,43	23.011,97	41.824,63	76.500,02	163.757,76	289.618,99	531.719,07

$$CRE = [(0,5 \times CUB) \times PED] \times AIC \quad (9)$$

Onde:

CRE = Custo dos Danos a Edificação das Residências

CUB = Custo unitário básico de construção (R\$/m²)

PED = Porcentagem da edificação danificada

AIC = Área inundada construída (m²) = 60% da Área total inundada

Para cota 848 tem-se a seguinte equação:

$$CRE_{0,5 a 0,75} = [(0,5 \times 1.458,35) \times 0,056] \times (3.513,07 \times 0,6) = R\$ 64.553,47'$$

$$CRE_{0,75 a 1} = [(0,5 \times 1.458,35) \times 0,130] \times (5.486,17 \times 0,6) = R\$ 319.230,21$$

$$CRE_{1 a 1,5} = [(0,5 \times 1.458,35) \times 0,137] \times (30.823,73 \times 0,6) = R\$ 319.230,21$$

$$CRE_{1,5 a 2} = [(0,5 \times 1.458,35) \times 0,167] \times (80.504,24 \times 0,6) = R\$ 1.847.518,42$$

$$CRE_{2 a 2,5} = [(0,5 \times 1.458,35) \times 0,183] \times (180.517,50 \times 0,6) = R\$ 13.663.074,36$$

$$CRE_{maior 2,5} = [(0,5 \times 1.458,35) \times 0,198] \times (531.719,07 \times 0,6) = R\$ 43.036.504,13$$

$$CRE_{cota 848} = R\$ 64.707.126,15$$

Os prejuízos para todas as cotas estão dispostos na tabela 13:

Tabela 13: Prejuízos para as áreas de inundação, para cada cota

Cota [m]	Prejuízo na edificação
844	R\$ 2.158.084,53
844,5	R\$ 3.967.570,96
845	R\$ 8.158.239,01
845,5	R\$ 15.242.547,63
846	R\$ 27.691.576,37
846,5	R\$ 41.452.990,08
847	R\$ 53.211.842,55
847,44	R\$ 59.390.518,54
848	R\$ 64.707.126,15

4.2.1.3 Prejuízo ao conteúdo

A equação para o cálculo do prejuízo é apresentada na equação 10:

$$CRC = \left(\frac{0,5 \times CCIP}{AIP} \times Fm \right) \times AIC \quad (10)$$

Onde:

CRC = Custo dos Danos de Conteúdo das Residências

CCIP = Custo dos Conteúdos do Imóvel Padrão (R\$)

AIP = Área do Imóvel Padrão (B1 ou B2) (m²)

Fm= fator multiplicador

AIC = Área inundada construída (m²) = 60% da Área total inundada

O custo dos conteúdos do imóvel padrão foi estipulado com base nos itens que uma classe média padrão possui em sua residência, foi feita uma listagem desse conteúdo e pesquisado na internet o custo, sendo utilizado o item do conteúdo com menor preço. Após feita a pesquisa, esta foi dividida em limiar de cota que cada conteúdo desta residência é atingido pela inundação. A área do imóvel padrão escolhido foi de 106,44 m². O bairro, de acordo com critério Brasil, foi classificado como C2 que, de acordo com a tabela 7, é classificado como 0,5.

O prejuízo calculado em uma residência de imóvel padrão está disposto na tabela 14.

Tabela 14: Custo dos Conteúdos do Imóvel Padrão

Faixa de inundação [m]	Custo dos Conteúdos do Imóvel Padrão
0,5 a 0,75	R\$ 11.279,00
0,75 a 1	R\$ 14.479,00
1 a 1,5	R\$ 19.809,00
1,5 a 2	R\$ 20.159,00
2 a 2,5	R\$ 20.709,00
Maior que 2,5	R\$ 20.709,00

Para cota 848 a equação o prejuízo ao conteúdo será:

$$CRC_{0,5 \text{ a } 0,75} = \left(\frac{0,5 \times R\$ 11.279,00}{106,44} \times 0,5 \right) \times 3.513,07 \times 0,6 = R\$ 55.839,85$$

$$CRC_{0,75 \text{ a } 1} = \left(\frac{0,5 \times R\$ 14.479,00}{106,44} \times 0,5 \right) \times 5.486,17 \times 0,6 = R\$ 111.942,32$$

$$CRC_{1 \text{ a } 1,5} = \left(\frac{0,5 \times R\$ 19.809,00}{106,44} \times 0,5 \right) \times 30.823,73 \times 0,6 = R\$ 860.466,83$$

$$CRC_{1,5 \text{ a } 2} = \left(\frac{0,5 \times R\$ 20.159,00}{106,44} \times 0,5 \right) \times 80.504,24 \times 0,6 = R\$ 2.287.042,09$$

$$CRC_{2 \text{ a } 2,5} = \left(\frac{0,5 \times R\$ 20.709,00}{106,44} \times 0,5 \right) \times 180.517,503 \times 0,6 = R\$ 5.268.231,24$$

$$CRC_{2 a 2,5} = \left(\frac{0,5 \times R\$ 20.709,00}{106,44} \times 0,5 \right) \times 531.719,07 \times 0,6 = R\$ 15.517.714,54$$

$$CRC_{848} = R\$ 24.101.236,87$$

Os prejuízos para demais cotas estão dispostos na tabela 15:

Tabela 15: Prejuízo dos conteúdos do imóvel padrão

Cota [m]	Prejuízo ao conteúdo
844	R\$ 935.140,99
844,5	R\$ 1.787.820,21
845	R\$ 3.583.293,55
845,5	R\$ 6.765.499,58
846	R\$ 11.968.525,24
846,5	R\$ 17.405.160,35
847	R\$ 21.340.954,01
847,44	R\$ 22.951.748,94
848	R\$ 24.101.236,87

4.2.1.4 Prejuízo com a Limpeza

A fórmula para calcular o prejuízo da limpeza é apresentada na equação 11:

$$CLR = \left(\frac{RMF}{MR} \times \frac{ES}{NH} \right) \times TL \times AIC \quad (11)$$

Foi calculada a renda média para o bairro, de acordo com o IBGE (2010), item 5.3.1, no valor de R\$ 2,581,53. Os encargos sociais (ES) foram retirados da literatura e multiplicados pelo quociente 1,9502. O tempo de limpeza (TL) está disposto na tabela 8. Foi estipulado o número de horas trabalhadas no valor de 168 horas. Para estipular o número de habitantes por residência, dividiu-se o número de casas pelo número de habitantes do bairro. Para a cota 848, o prejuízo ao conteúdo será:

$$CLR_{0,5 a 075} = \left(\frac{R\$ 2,581,53 \cdot 1,95}{3} \times \frac{1,95}{168} \right) \times 0,25 \times 3.513,07 \times 0,6 = R\$ 5.263,87$$

$$CLR_{0,75 a 1} = \left(\frac{R\$ 2,581,53 \cdot 1,95}{3} \times \frac{1,95}{168} \right) \times 0,5 \times 5.486,17 \times 0,6 = R\$ 16.440,57$$

$$CLR_{1a1,5} = \left(\frac{R\$ 2,581,53. 1,95}{3} \right) \times 1 \times 30.823,73 \times 0,6 = R\$ 184.740,81$$

$$CLR_{1,5a2} = \left(\frac{R\$ 2,581,53. 1,95}{3} \right) \times 3 \times 80.504,24 \times 0,6 = R\$ 1.447.497,09$$

$$CLR_{2a2,5} = \left(\frac{R\$ 2,581,53. 1,95}{3} \right) \times 5 \times 180.517,503 \times 0,6 = R\$ 21.343.809,54$$

$$CLR_{848} = R\$ 22.997.751,88$$

Os prejuízos para as demais cotas estão dispostos na tabela 16:

Tabela 16: Custo com a limpeza

Cota [m]	Prejuízo ao conteúdo
844	R\$ 479.137,97
844,5	R\$ 749.429,72
845	R\$ 1.396.884,79
845,5	R\$ 2.657.603,41
846	R\$ 5.093.270,39
846,5	R\$ 8.787.783,86
847	R\$ 14.216.076,76
847,44	R\$ 18.904.223,91
848	R\$ 22.997.751,88

4.2.1.5 Prejuízo relacionado aos veículos

Para calcular o prejuízo ao veículo utilizou faixas de inundações diferentes dos cálculos anteriores, pois foi considerado que os carros são populares e, com um nível superior a 30cm, pode ocorrer algum dano ao veículo. Foi considerado que nos bairros existem um carro para cada residência.

Ao consultar o arquivo de setor censitário foi obtido o número de casas, sabe-se a área do setor censitário, e que o mesmo pode cobrir vários bairros, calcula-se através do

software Qgis versão 2.8 a área do bairro que este setor cobre e utiliza a equação 12 para calcular o número de casas do bairro estudado.

$$Casas_{afetada} = \frac{Casas_{bairro} \times A_{ofetada}}{A_{bairro}} \quad (12)$$

Onde:

Casas_{setor}=Disponibilizado pelo IBGE.

Área_{setor}= Área do setor censitário disponibilizado pelo IBGE

Área_{bairro}= Área do bairro calculado pelo Quis (figura 19)

As casas afetadas pela mancha são:

Como o número de casas calculada e a proporção adotada para esta metodologia é um carro para cada casa, calculou-se os danos aos veículos. A equação 13 calcula-se o custo do dano ao veículo.

Tabela 17: Faixas de inundação para veículos

Cota[m]	844	844,5	845	845,5	846	846,5	847	847,44	848
Faixa de Inundação	Área [m2]								
30 a 50 cm	10.369,55	29.286,41	29.286,41	76.310,71	72.348,68	37.528,37	13.739,40	5.208,51	2.185,50
50 a 75 cm	10.365,07	24.731,69	24.731,69	73.792,62	93.696,70	73.457,26	25.961,60	12.333,61	5.486,17
75 a 100 cm	6.445,40	12.692,63	12.692,63	56.259,41	95.174,09	91.354,63	48.279,59	19.529,42	5.486,17
> 100 cm	22.624,18	41.452,36	41.452,36	163.742,21	312.486,52	531.943,12	722.266,30	798.685,84	837.235,88

$$CDV = QVD \times QD \times CD \quad (13)$$

Onde:

CVD=Custo dano ao veiculo

QVD= Quantidade de Veículos por Domicílio

QD= Quantidade de domicilio

CD= Custo dos danos de acordo com a altura de inundação (Tabela 9)

$$CDV_{30 a 50} = 1 \times 2 \times R\$ 3.360,00 \times 0,5 = R\$ 3.360,00$$

$$CDV_{50 \text{ a } 75} = 1 \times 6 \times R\$ 6.225,00 \times 0,5 = R\$ 54.244,66$$

$$CDV_{75 \text{ a } 100} = 1 \times 6 \times R\$ 14.745,00 \times 0,5 = R\$ 72.990,00$$

$$CDV_{\text{maior que } 100} = 1 \times 914 \times R\$ 30.000,00 \times 0,5 = R\$ 13.710.000,00$$

Os prejuízos para demais cotas estão dispostos na tabela 16:

Tabela 18: Prejuízo relacionado aos veículos

Cota [m]	Prejuízo ao conteúdo
844	R\$ 444.008,09
844,5	R\$ 1.030.759,59
845	R\$ 2.110.617,60
845,5	R\$ 3.955.641,01
846	R\$ 7.005.920,17
846,5	R\$ 10.380.079,67
847	R\$ 12.633.150,29
847,44	R\$ 13.416.008,54
848	R\$ 13.819.523,87

Seguindo a tendência da cidade de Itajubá, no bairro Boa Vista o prejuízo com a edificação foi a variável com maior valor., independente da cota simulada, o prejuízo foi superior a 51% de dano total estimado, seguido por dano ao conteúdo (19%), veículos (15%) e limpeza (15%) (Figura 19).

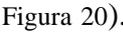


■ Edificação ■ Limpeza ■ Conteúdo ■ Veículo

Figura 19- Prejuízos do bairro Boa Vista

4.2.3 Prejuízos globais para a cidade de Itajubá

Utilizando o mesmo procedimento feito para o bairro Boa Vista, foram calculados os prejuízos dos 26 bairros da cidade de Itajubá. O critério adotado foi sobrepor as manchas sobre a cidade de Itajubá, caso alguma mancha da cota 844 a 848 metros atinja o bairro ele será estudado.

Ao identificar os bairros, foram calculados os prejuízos de uma inundação nas residências. Este prejuízo foi dividido em quatro subitens: dano à edificação, conteúdo, veículos, limpeza. Para toda a cidade de Itajubá, independente da cota simulada, o principal prejuízo foi o dano à edificação, seguido de dano ao conteúdo, veículos e limpeza ( Figura 20). O prejuízo total para a cidade de Itajubá na cota 848 foi de R\$ 1.231.506.703,77.

Na tabela 10 foi calculada a área da mancha para cada cota, dividindo o prejuízo na cota 848 pela área da mancha, obtém-se o prejuízo por metro quadrado [R\$/m²] para a referida cota. Para a cota 848 metros, o prejuízo foi de 108,12 [R\$/m²].

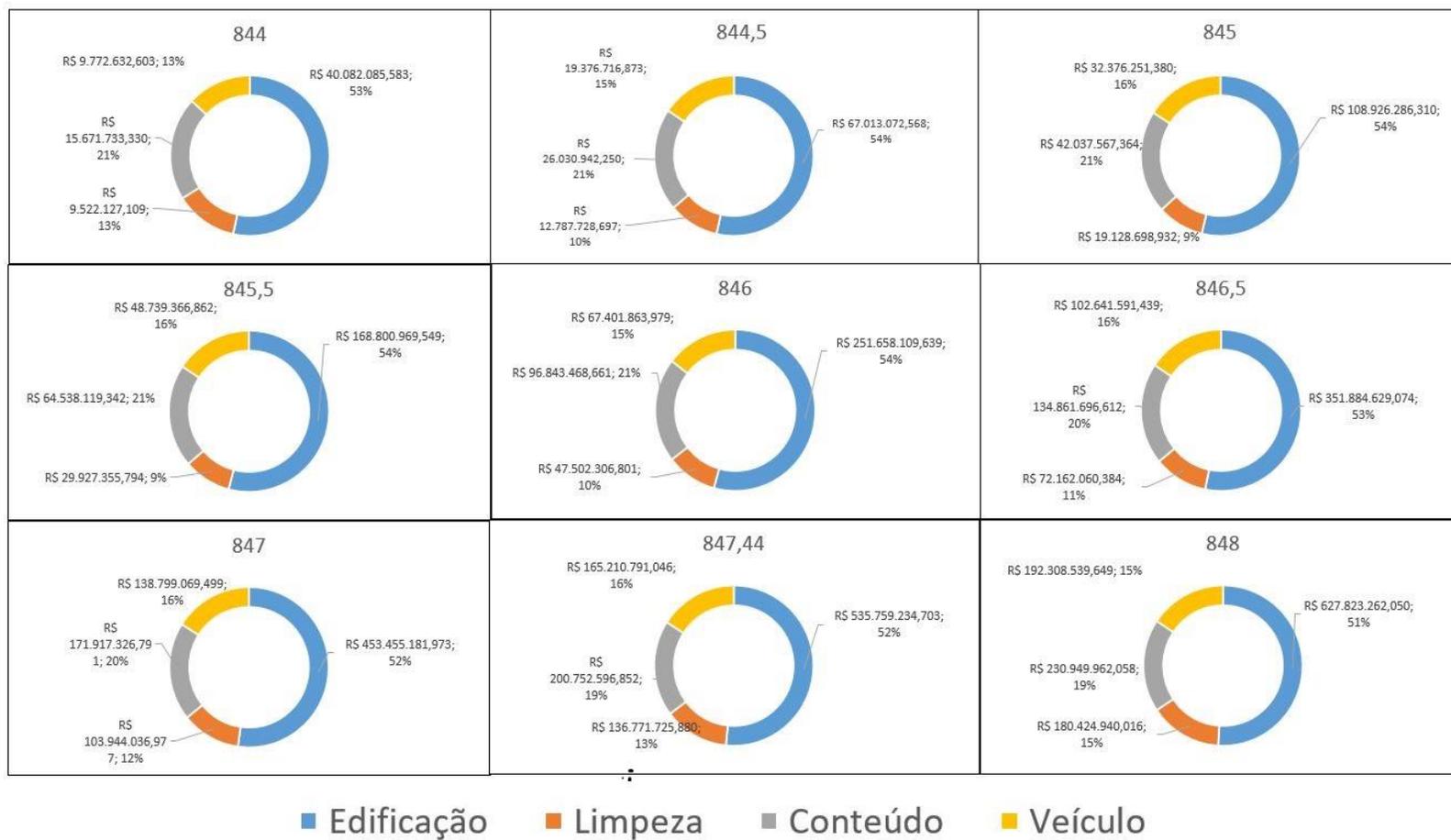


Figura 20- Distribuição dos prejuízos para cidade de Itajubá-MG.

De acordo com o critério Abep (2019), os bairros foram classificados em classes sociais. Dos 26 bairros analisados, apenas o centro foi classificado como (B2). Já os bairros Agonia, Pinheirinho, Morro Chique, Porto Velho, São Vicente, Varginha foram classificadas como C1. Todos os bairros citados anteriormente são bairros próximos ao centro. À medida que se afasta do centro, a classe social decai. São os casos dos bairros: Capetinga, Imbel, Santa Rosa, Nossa Senhora de Fátima, São Sebastião, Medicina, Avenida, Santo Antônio, Boa Vista, Vila Rubens. Os bairros Novo Horizonte, Santos Dumont, Santa Rita de Cassia, Reborgeon e Piedade foram classificadas como DE. A Figura 21 demonstra a distribuição dos bairros de acordo com as classes sociais.

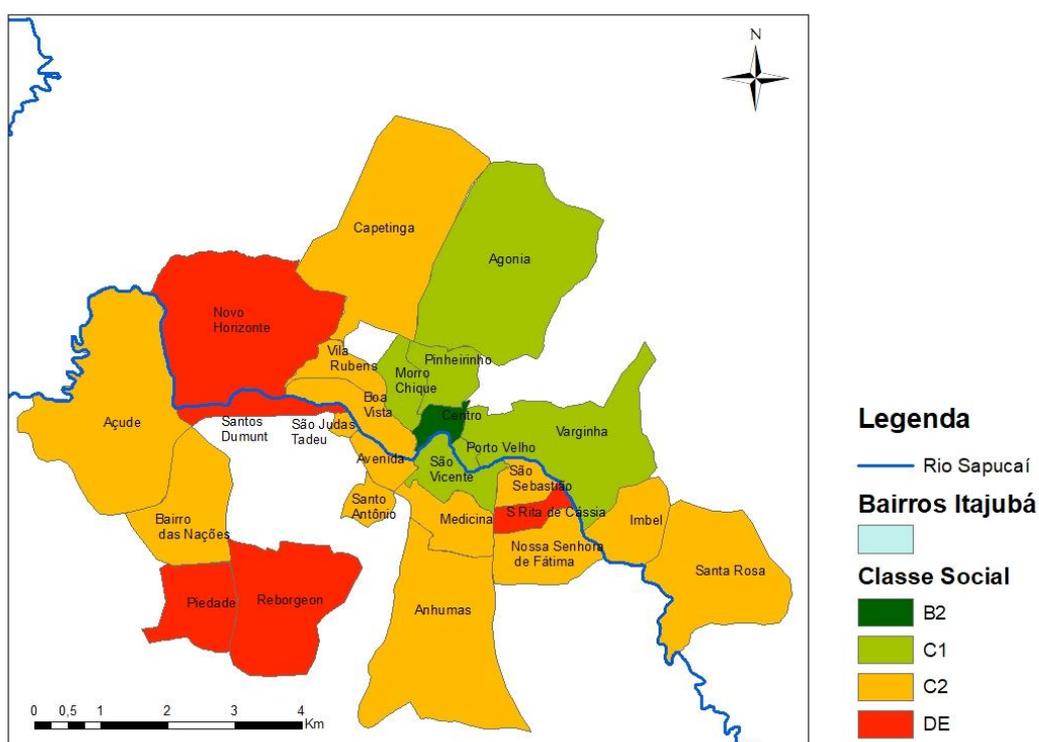


Figura 21-Distribuição dos bairros de Itajubá de acordo com o critério Brasil.

Na Figura 22 é demonstrado o prejuízo total das residências para a cota 848 nos 26 bairros da cidade de Itajubá. Nesta figura pode-se observar que os maiores prejuízos, destacados de vermelho, encontram-se a margem do Rio Sapucaí. Estes bairros mais afetados possuem uma topografia plana, sendo assim uma área de inundação natural do rio. Com a urbanização e a impermeabilização do solo, estas inundações são potencializadas, causando grandes prejuízos econômicos nesta região. Os bairros mais distantes do Rio Sapucaí possuem os prejuízos menores.

O bairro Centro, que obteve a maior classificação de renda, sofreu um prejuízo estimado menor em relação aos vizinhos Varginha, Porto velho, Boa vista. Tal fato pode ser explicado novamente pela topografia dos bairros. Enquanto os vizinhos possuem uma topografia basicamente plana, o centro é heterogêneo. A região comercial do centro está localizada em uma área suscetível a inundação, e este prejuízo não foi contabilizado nesta dissertação. Foi considerado que toda área comercial foi ocupada por residências, desprezando assim, perdas de mercadoria e estoque destes comércios.

Os bairros Morro Chique e Pinheirinho são bairros com cotas mais elevadas e com melhor classificação econômica, tendo obtido os menores prejuízos se comparados com bairros vizinhos Boa Vista e Varginha, respectivamente. Pode-se fazer uma ilação entre a renda e a exposição a inundação destes bairros.

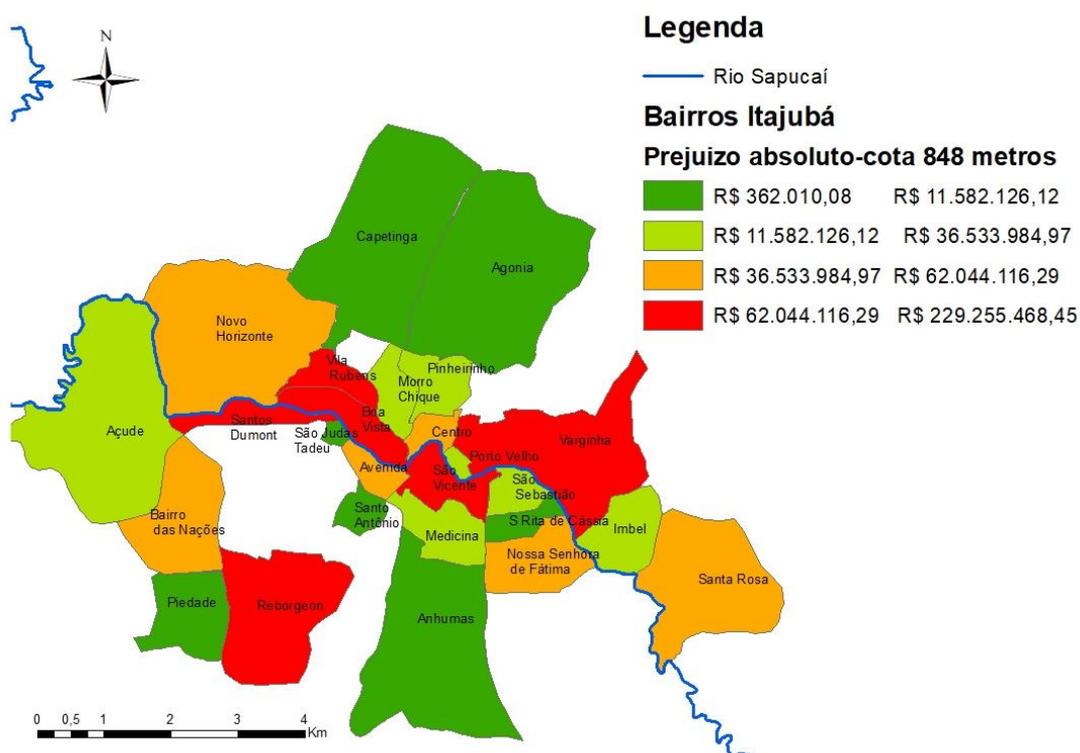


Figura 22-Distribuição do prejuízo absoluto para cada bairro.

A Figura 23 demonstra o prejuízo por metro quadrado para cada bairro estudado. Os bairros com maiores prejuízos por metro quadrado estão destacados em vermelho, sendo: Varginha, Porto Velho, São Vicente, Bairros das Nações. Os bairros mais afastados do Rio Sapucaí possuem um prejuízo por metro quadrado menor. O bairro Porto Velho, apesar de possuir um prejuízo absoluto menor, quando calcula-se o prejuízo por

metro quadrado, fica classificado como um dos bairros mais afetados. Os bairros Imbel, Nossa Senhora de Fatima, Anhumas e São Sebastião estão localizados próximos as margens do Rio Sapucaí e obtiveram prejuízos menores. Tal fato pode ser explicado pela topografia desses bairros, onde suas construções estão localizadas em região com a cota mais alta.

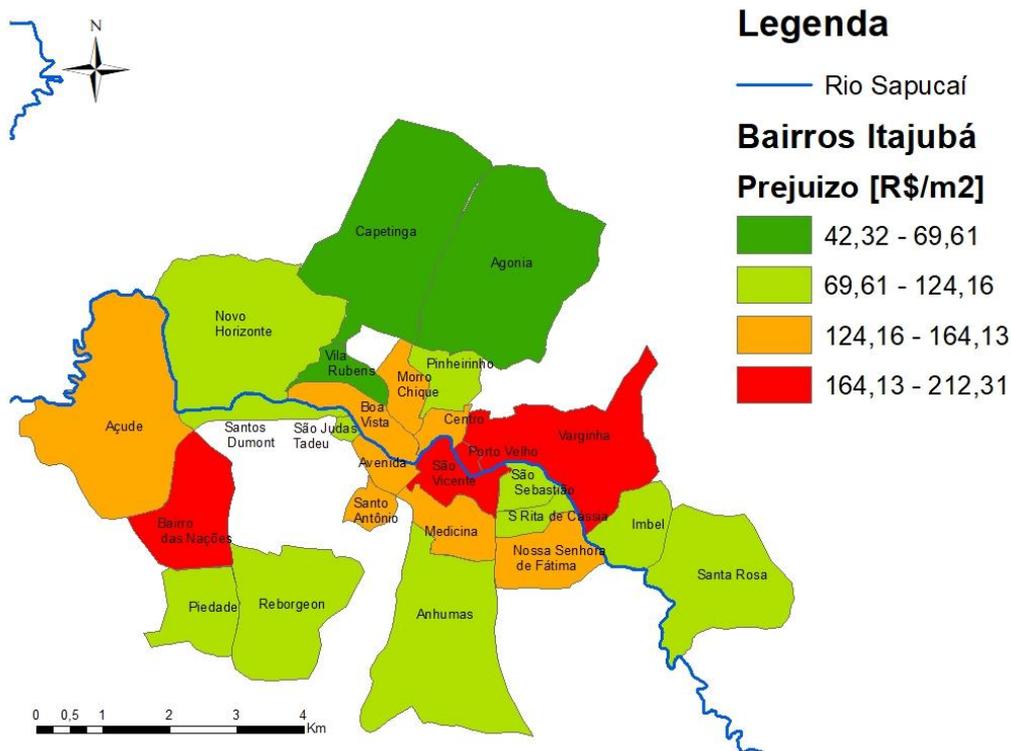


Figura 23-Distribuição do prejuízo R\$[m²] para cada bairro.

Com os prejuízos estimados, foram elaboradas curvas-prejuízos para cada dano estimado: edificação, conteúdo, limpeza e veículos. Nota-se que a maior parcela do prejuízo está vinculada ao dano com a edificação, seguido de conteúdo, veículos e limpeza (Figura 24). Para o prejuízo em veículos a partir da cota 846 metros, há um aumento no prejuízo. A curva do prejuízo à limpeza possui um comportamento exponencial, independente da cota simulada. Já o prejuízo edificação a partir da cota 845 ficam estimados com os maiores prejuízos.

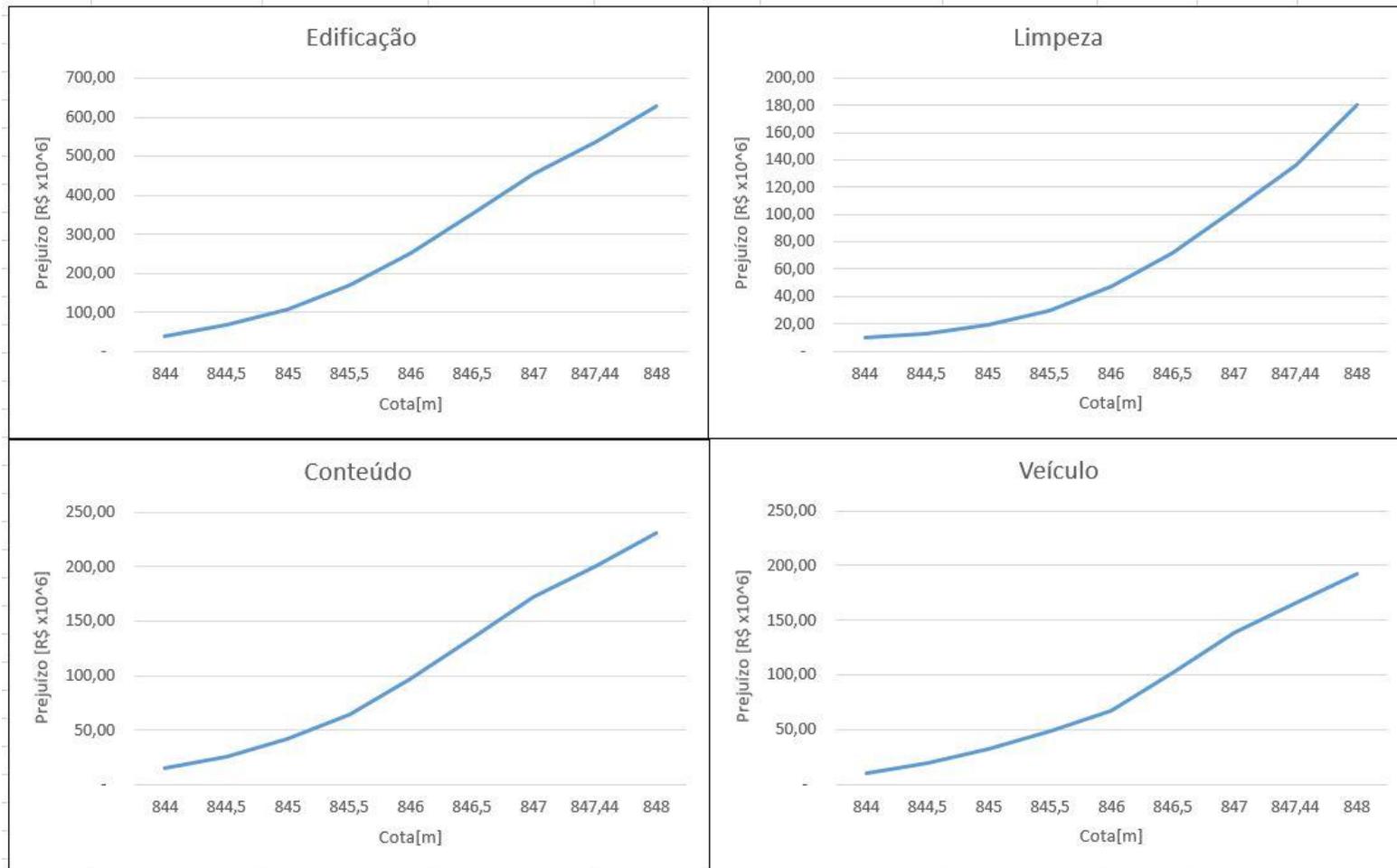


Figura 24-Distribuição do prejuízo R\$[10⁶] para a cidade de Itajubá

4.3 Discussão dos resultados

Foram simulados os prejuízos, por metro quadrado, para toda a cidade de Itajubá e comparada com um imóvel padrão de área 106,44m². Para a cota 844 metros, o prejuízo médio para toda a cidade de Itajubá foi de R\$ 3.443,18. Já o prejuízo para a cota 848 metros, o prejuízo estimado foi de R\$ 11.508,48.

Como é um valor médio, para um imóvel padrão, pode-se superestimar em bairros com maiores vulnerabilidades e subestimar em outros bairros. Este valor pode ser utilizado para a primeira avaliação de prejuízo.

Os bairros com maiores prejuízos estão localizados próximos ao Rio Sapucaí, os nomes dos bairros são sugestíveis a esta proximidade, os exemplos são Varginha e Porto Velho.

O prejuízo com a edificação foi a variável com maior valor. Independente da cota simulada, o prejuízo foi superior a 51% de dano total estimado, seguido por dano ao conteúdo (19%), veículos (15%) e limpeza (15%).

Uma das variáveis para o cálculo do prejuízo à edificação é o custo unitário básico que para toda cidade de Itajubá, para uma residência normal, de acordo com a Abep (2019), foi de R\$ 1.458,35. O custo unitário varia de acordo com o padrão das construções, sendo que nesta dissertação assumiu-se que as construções possuem o mesmo padrão de área e o mesmo custo de construção. Outro fator de incerteza no resultado é a área ocupada por residências que corresponde a 60% da área total. Um estudo com consulta ao plano diretor municipal pode refinar este fator, reduzindo as incertezas.

As porcentagens de edificações danificadas foram criadas por Salgado (1995) para uma bacia no Rio de Janeiro e adaptada por Nagen (2008). Elaborar funções de cotas, prejuízo para os bairros estudados e aferir a porcentagem de construções danificadas, diminuiria a incerteza sobre esta variável.

Para o dano ao conteúdo foi adotado um imóvel padrão com uma área fixa de 103,44 m². A adaptação para as classes sociais é estabelecida como o indicador denominado fator multiplicador. Como o imóvel padrão das classes B1 e B2 foi utilizado este fator para adaptar o dano ao conteúdo, para cada classe a qual o bairro pertence. Para

trabalhos futuros pode-se adotar um imóvel padrão de acordo com a região, bairros com rendas superiores possuíram imóveis padrão superiores. O levantamento destas plantas baixas destes imóveis e a área construída pode determinar um padrão na região, caracterizando melhor a região estudada.

Os prejuízos calculados com a limpeza podem estar superestimados, pois uma população já afetada economicamente com a perda no conteúdo, edificação e veículos e ainda precisa disponibilizar recursos para limpeza, torna-se praticamente inviável. Muitas vezes estas limpezas são feitas por mutirão de vizinhos e amigos, a custos bem abaixo do mercado, de maneira informal e, com isso, o fator encargos sociais podem superestimar o resultado.

O gasto com a limpeza é um prejuízo contábil que o dano causa, mas que não necessariamente será um custo que os atingidos devem arcar na totalidade. Muitas vezes o poder público ajuda na limpeza e este custo não é aferido na equação.

Os danos aos veículos são fator difícil de se mensurar por ser um bem valioso para uma família, e ser móvel, com isso, as famílias dão prioridade para seu resgate. Em contrapartida, dependendo da velocidade e magnitude do evento, estes veículos ficarão expostos à inundação. Uma alternativa é, ao invés de ser um veículo por residência, pode-se estimar o número de veículos de acordo com a renda do bairro e a classe social. Recomenda-se que esta informação seja disponibilizada pelo IBGE.

Como relatado anteriormente, a metodologia está definida e pode ser aprimorada para trabalhos futuros. A mancha de inundação foi recordada para vários bairros, e ela, por si só, pode ser uma ferramenta para tomada de decisão.

De posse destas manchas pode-se localizar áreas de vulnerabilidade, coordenar evacuação de cada bairro, pode-se sobrepor a mancha com a via e estabelecer indicadores de vulnerabilidade para cada rua e bairro.

Para os próximos trabalhos é recomendável desenvolver uma metodologia capaz de quantificar os prejuízos em outros segmentos, tais como: indústria, comércio.

De maneira geral esta dissertação utilizou dados públicos de fácil acesso, sem necessidade de trabalho de campo, o que torna a metodologia prática e adaptável para demais regiões do país. Pode-se também gerar mais cenários de inundações, com mais

cotas para caracterizar melhor a região estudada e definir a que cota o bairro é exposto ao prejuízo.

5 CONCLUSÃO

A quantificação dos prejuízos nas inundações permite ao gestor público analisar alternativas para mitigar um evento extremo. A presente dissertação abordou este tema, não muito discutido no Brasil, e mostrou através do estudo de caso, a aplicabilidade de uma metodologia proposta para utilização em áreas urbanas.

Pode-se avaliar o prejuízo de uma inundação específica, onde o evento é estudado e mapeado e o prejuízo é levantado em detalhes, produzindo um resultado fiel, como uma fotografia, dentro das incertezas que se relacionam com o assunto. Embora este processo seja preciso por se referir mais detalhadamente a casos ocorridos, traz limitações para outras cheias, pois o uso e ocupação do solo em um bairro ou uma bacia é muito dinâmico.

Desta forma, o objetivo desta dissertação foi modelar um evento extremo associando as curvas de prejuízo às características do evento, de uma forma geral e, mais precisamente, destacando a cota de inundação e sua relação com as características típicas de vulnerabilidade do sistema, através da escolha de itens assumidos como representativos da perda média, que substituem o detalhe, mas possibilitam extrapolar resultados entre diferentes áreas, para diferentes cenários. Esta situação, apesar das incertezas, configura uma ferramenta de planejamento.

Neste sentido, este trabalho reuniu informações da literatura nacional e internacional e buscou adaptar, para a cidade de Itajubá, funções prejuízo capazes de calcular as perdas econômicas para um dado evento de referência, para o qual se produziu uma mancha de alagamentos, utilizando dados de fácil acesso e de domínio público.

Para simular os eventos extremos para a cidade de Itajubá, foram consideradas várias hipóteses que simplificaram a modelagem matemática. Foi adotado que somente 60% da área urbana é composta de casas, os 40% restantes podem ser consideradas, ruas, jardins, praças, entre outros. Estas simplificações tendem a adicionar incerteza ao resultado.

Para próximos trabalhos recomenda-se refinar estas simplificações, com dados coletados em campo ou imagem de satélite ou drone, permitindo caracterizar bairro a bairro, a fim de calibrar mais estes indicadores para reduzir a incerteza no cálculo do prejuízo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Atlas de Vulnerabilidade a Inundações. 2014. Available at: <https://www.snirh.gov.br/portal/snirh-1/aceso-tematico/eventos-hidrologicos-criticos>. Accessed on: 14 Jun. 2021.

ANDRADE, Ricardo Guimarães; LEIVAS, Janice Freitas; GOMES, Daniel; TEIXEIRA, Antônio Heriberto de Castro. Estudo de manchas de inundação utilizando imagem SRTM nas proximidades da área urbanizada da sede do município de Alegre-ES. **Anais XVI Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE**, vol. 3, no. 1986, p. 6917–6922, 2017. .

ANTAIS, Raysa. ANÁLISE CRÍTICA DA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DALA (DAMAGE & LOSS ASSESSMENT) A CASOS DE DESASTRES NO BRASIL. 2014. .

BANDINI, Filippo; SUNDING, Tanya Pheiffer; LINDE, Johannes; SMITH, Ole; JENSEN, Inger Klint; KÖPPL, Christian Josef; BUTTS, Michael; BAUER-GOTTWEIN, Peter. Unmanned Aerial System (UAS) observations of water surface elevation in a small stream: Comparison of radar altimetry, LIDAR and photogrammetry techniques. **Remote Sensing of Environment**, vol. 237, no. April 2019, p. 111487, 2020. DOI 10.1016/j.rse.2019.111487. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111487>.

BARREDO, José I. Major flood disasters in Europe: 1950–2005. **Natural Hazards**, vol. 42, no. 1, p. 125–148, 2007. DOI 10.1007/s11069-006-9065-2. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11069-006-9065-2>.

BORGOMEIO, Edoardo; HALL, Jim W; SALEHIN, Mashfiqu. Avoiding the water-poverty trap: insights from a conceptual human-water dynamical model for coastal Bangladesh. **International Journal of Water Resources Development**, vol. 34, no. 6, p. 900–922, 2 Nov. 2018. DOI 10.1080/07900627.2017.1331842. Available at: <https://doi.org/10.1080/07900627.2017.1331842>.

BRASIL. **Lei Federal 12.608 de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil, dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC, autoriza a criação de sistema de informação.** Brasília -DF: [s. n.], 2012.

BRUBACHER, João Paulo; GUASSELLI, Laurindo Antonio; OLIVEIRA, Guilherme Garcia de. Delimitação de áreas inundáveis a partir de Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI) no Município de Esteio (RS, Brasil). **Pesquisas em Geociências**, vol. 44, no. 2, p. 367, 2017. <https://doi.org/10.22456/1807-9806.78279>.

BUCKLAND, Jerry; RAHMAN, Matiur. Community-based disaster management during the 1997 Red River Flood in Canada. **Disasters**, vol. 23, no. 2, p. 174–191, 1999. <https://doi.org/10.1111/1467-7717.00112>.

COELHO. USE OF PRODUCTS OF REMOTE SENSOR FOR ZONING OF FLOODING AREA: STUDY OF CASE OF THE LOW COURSE OF RIVER BENEVENTE ANCHIETA - BRAZIL. **Rev. Geogr.**, vol. 2, p. 53–63, 2018. .

CORSI, Alessandra Cristina; AZEVEDO, Paulo Brito Moreira de; GRAMANI,

Marcelo Fischer. Damage Valuation Arising From Flood in São Luiz Do Paraitinga (Sp). **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, vol. 1, no. 2, p. 124–142, 2012. <https://doi.org/10.5585/geas.v1i2.26>.

DA SILVA, Paulo Vitor Ribeiro Marques; JUNIOR, Ricardo Abranches Félix Cardoso; DE NORONHA, Gustavo Carneiro. Mapeamento e análise de risco de inundação da Bacia do Rio Paraíba/AL: estudo de caso. **Sistemas & Gestão**, vol. 11, no. 4, p. 431–443, 2017. <https://doi.org/10.20985/1980-5160.2016.v11n4.1143>.

DAEE. Plano Diretor de Macrodrenagem da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê - Bacia Superior do Ribeirão dos Meninos - Diagnóstico Geral e Ações Recomendadas, São Paulo. 1999. .

DE MELO, Clênio Bezerra; REIS, Renato Barbosa; KO, Albert Icsang; BARRETO, Carmélia Maria Nóia; LIMA, Andréa Prudente; DA SILVA, Ângela Maria. Geographical distribution of leptospirosis in Aracaju, State of Sergipe from 2001 to 2007. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, vol. 44, no. 4, p. 475–480, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0037-86822011000400015>.

DOLMAN, Dorien Irene; BROWN, Irving Foster; ANDERSON, Liana Oighenstein; WARNER, Jeroen Frank; MARCHEZINI, Victor; SANTOS, George Luiz Perreira. Re-thinking socio-economic impact assessments of disasters: The 2015 flood in Rio Branco, Brazilian Amazon. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, vol. 31, no. April, p. 212–219, 2018. DOI 10.1016/j.ijdr.2018.04.024. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2018.04.024>.

DUARTE, Juliana Lúcia; DIAZ-QUIJANO, Fredi Alexander; BATISTA, Antônio Carlos; DUARTE, Alejandro Fonseca; MELCHIOR, Leonardo Augusto Kohara; GIATTI, Leandro Luiz. Climate variability and hospitalizations due to infectious diarrheal diseases in a municipality of the western brazilian amazon region. **Ciencia e Saude Coletiva**, vol. 24, no. 8, p. 2959–2970, 2019. <https://doi.org/10.1590/1413-81232018248.21232017>.

DURANT, PEDRO CORSINO. TEMPO DE CONCENTRAÇÃO EM PEQUENAS BACIAS HIDROGRÁFICAS NA REGIÃO DE UBERLÂNDIA, MINAS GERAIS. **Journal of Chemical Information and Modeling**, vol. 53, no. 9, p. 1689–1699, 2018. .

FADEL, Amanda Wajnberg. NCORPORAÇÃO DO RISCO DE PREJUÍZO NO GERENCIAMENTO DE MEDIDAS DE CONTROLE DE INUNDAÇÃO. 2015. .

IBGE, Coordenação de População e Indicadores Sociais. **Síntese de indicadores sociais: Uma análise das condições de vida da população brasileira 2018 [Synthesis of social index: An analysis of the living standars of the Brazilian population 2018]**. [S. l.: s. n.], 2018.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA . Censo Brasileiro de 2010. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Regiões de Influência das Cidades**. [S. l.: s. n.], 2019.

JONGMAN, Brenden; WINSEMIUS, Hessel C; AERTS, Jeroen C J H; COUGHLAN DE PEREZ, Erin; VAN AALST, Maarten K; KRON, Wolfgang; WARD, Philip J. Declining vulnerability to river floods and the global benefits of adaptation.

Proceedings of the National Academy of Sciences, vol. 112, no. 18, p. E2271 LP-E2280, 5 May 2015. DOI 10.1073/pnas.1414439112. Available at: <http://www.pnas.org/content/112/18/E2271.abstract>.

JONOV, Cristiane Machado Parisi. Avaliação Dos Danos Às Edificações Causados Por Águas De Inundações E Estudo De Alternativas De Proteção Para Tornar As Edificações Mais Resilientes. 2012. .

KEIFER, G.; EFFENBERGER, F. PROPOSTA METODOLÓGICA PARA ESTIMATIVA DE DANOS E MAPEAMENTO DE RISCO ASSOCIADOS A INUNDAÇÕES EM ÁREAS URBANAS. **Angewandte Chemie International Edition**, vol. 6, no. 11, p. 951–952, 2018. .

KLUG, Hermann; KMOCH, Alexander. Operationalizing environmental indicators for real time multi-purpose decision making and action support. **Ecological Modelling**, vol. 295, p. 66–74, 2015. DOI 10.1016/j.ecolmodel.2014.04.009. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2014.04.009>.

KOURGIALAS, Nektarios N.; KARATZAS, George P. A flood risk decision making approach for Mediterranean tree crops using GIS; climate change effects and flood-tolerant species. **Environmental Science and Policy**, vol. 63, p. 132–142, 2016. DOI 10.1016/j.envsci.2016.05.020. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2016.05.020>.

LAGE, Guerra. REVISÃO DOS ESTUDOS DE INVENTÁRIO HIDRELÉTRICO. Itajubá, 2013. .

LEITÃO, João; DE VITRY, Matthew; SCHEIDEGGER, Andreas; RIECKERMANN, Jörg. Assessing the quality of Digital Elevation Models obtained from mini-Unmanned Aerial Vehicles for overland flow modelling in urban areas. **Hydrology and Earth System Sciences Discussions**, vol. 12, p. 5629–5670, 2015. <https://doi.org/10.5194/hessd-12-5629-2015>.

LIMA, Joelma Costa de. Avaliação dos Riscos e Danos de Inundação e do Impacto da Adoção de Medidas Não-Estruturais em Itajubá/MG. Dissertação de M.Sc., Escola de Engenharia/UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil. 2003. .

LONDE, Luciana de Resende; DA CONCEIÇÃO, Rodrigo Silva; BERNARDES, Tiago; DIAS, Mariane Carvalho de Assis. Flood-related leptospirosis outbreaks in Brazil: perspectives for a joint monitoring by health services and disaster monitoring centers. **Natural Hazards**, vol. 84, no. 2, p. 1419–1435, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2493-8>.

MACHADO, ML; NASCIMENTO, N; BAPTISTA, M. Curvas de danos de inundação versus profundidade de submersão: desenvolvimento de metodologia. **Revista de gestión del**, , p. 1–11, 2005. Available at: <http://www.cepal.org/samtac/noticias/documentosdetrabajo/9/23439/InBr02002.pdf>.

MARCIANO, Alexandre Germano. **Modelagem Hidrodinâmica com a integração do mapeamento das inundações do rio Sapucaí do município de Itajubá/MG Itajubá**. 2019. 1689–1699 f. 2019.

MARTINS, Cinthia Mara Santos; DA SILVA, Benedito Cláudio; PONS, Nívea Adriana Dias. Estimativa de cheias em bacias hidrográficas com base em previsões de precipitação por conjunto. **Revista Brasileira de Geografia Física**, vol. 12, no. 5, p.

1713, 2 Jul. 2019. DOI 10.26848/rbgf.v12.5.p1713-1729. Available at: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/237544>.

MIGUEZ, Marcelo Gomes. **Gestão de Riscos e Desastres Hidrológicos**. 1st ed. Rio de Janeiro: [s. n.], 2018.

MIGUEZ, Marcelo Gomes. O modelo de células aplicado a. vol. 4, p. 119–140, 2001. .

MINERVINO, Aline Costa; DUARTE, Elisabeth Carmen. Danos materiais causados à Saúde Pública e à sociedade decorrentes de inundações e enxurradas no Brasil, 2010-2014: dados originados dos sistemas de informação global e nacional Loss. **Ciencia e Saude Coletiva**, vol. 21, no. 3, p. 685–694, 2016. <https://doi.org/10.1590/1413-81232015213.19922015>.

MIRANDA, E. E. de. Brasil em Relevô. **Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite**, 2005. .

NAGEM, Fernanda Raquel Maximiano. Avaliação Econômica Dos Prejuízos Causados Pelas Cheias Urbanas. , p. 114, 2008. Available at: <http://plutao.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/plutao/2012/06.21.18.22.16/doc/Leonardo%2520OB.%2520L.%25> <http://www.coc.ufrj.br/pt/documents2/mestrado/2008-2/1496-fernanda-raquel-maximiano-nagem-mestrado/file>.

PATNAIK, Unmesh; NARAYANAN, K. M P RA Vulnerability and Coping to Disasters: A Study of Household Behaviour in Flood Prone Region of India Vulnerability and Coping to Disasters: A Study of Household Behaviour in Flood Prone Region of India. no. 21992, 2010. .

PÉRES, Wolmir Ercides; RUSSO, Ana; NUNES, Baltazar. The association between hydro-meteorological events and leptospirosis hospitalizations in Santa Catarina, Brazil. **Water (Switzerland)**, vol. 11, no. 5, 2019. <https://doi.org/10.3390/w11051052>.

PETROSELLI, A; OLIVIERI, G; TAURO, Flavia; PORFIRI, M; GRIMALDI, Salvatore. Flow monitoring with a camera: A case study on a flood event in the Tiber River. **Environmental Monitoring and Assessment**, vol. 188, 2016. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-5082-5>.

PINHEIRO, Mario Vitor. **Avaliação Técnica e Histórica das Enchentes em Itajubá-MG**. 2005. 1–119 f. 2005.

REBOITA , MICHELLE SIMÕES , MARCELO DE PAULA CORRÊA, MARCELO RODRIGUES, João Pedro Rodrigues da Silva et al. Um balanço do curso de ciências atmosféricas no sul de Minas Gerais: ensino, pesquisa, extensão e benefícios à sociedade. **Revista Brasileira de Geografia Física**, vol. 02, p. 133–139, 2016. .

REBOITA, Michelle Simões; RODRIGUES, Marcelo; SILVA, Luiz Felipe; ALVES, Maria Amélia. Aspectos climáticos do estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, vol. 17, p. 206–226, 2015. .

REIS, João Bosco; ADRIANA, Nívea; PONS, Dias; SILVA, Eymar; LOPES, Sampaio. MONITORAMENTO E ALERTA DE INUNDAÇÃO NO MUNICÍPIO DE ITAJUBÁ (MG) POR REGRESSÃO POLINOMIAL. vol. 3, no. 1, p. 134–148, 2016. .

RITTER, Josias; BERENQUER, Marc; CORRAL, Carles; PARK, Shinju;

SEMPERE-TORRES, Daniel. ReAFFIRM: Real-time Assessment of Flash Flood Impacts – a Regional high-resolution Method. **Environment International**, vol. 136, no. January, p. 105375, 2020. DOI 10.1016/j.envint.2019.105375. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105375>.

ROZELLE, Jesse Ryan. Adaptação Internacional Do Modelo Hazus-Mh Para Estimativa De Perdas Por Inundações Em Curitiba-Pr International Adaptation of Hazus-Mh Model To Flood Loss Estimation in Curitiba-Pr. no. 2015, p. 241–250, 2019. .

RUFINO, Renata; GRACIE, Renata; SENA, Aderita; DE FREITAS, Carlos Machado; BARCELLOS, Christovam. Diarrhea outbreaks in northeastern Brazil in 2013, according to media and health information systems – Surveillance of climate risk and health emergencies. **Ciencia e Saude Coletiva**, vol. 21, no. 3, p. 777–778, 2016. <https://doi.org/10.1590/1413-81232015213.17002015>.

SÁ JÚNIOR, Arionaldo de. Aplicação da classificação de Köppen para o zoneamento climático do Estado de Minas Gerais. **Universidade Federal de Lavras-UFLA**, , p. 101, 2009. .

SALGADO., João Carlos Mattoso. Avaliação Econômica de Projetos de Drenagem e de Controle de Inundações em Bacias Urbanas, Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 1995. .

SCHNEIDER, Maria Cristina; LEONEL, Deise Galan; HAMRICK, Patricia Najera; CALDAS, Eduardo Pacheco de; VELÁSQUEZ, Reina Teresa; MENDIGAÑA PAEZ, Fernando Antonio; GONZÁLEZ ARREBATO, Jusayma Caridad; GERGER, Andrea; MARIA PEREIRA, Martha; ALDIGHERI, Sylvain. Leptospirosis in Latin America: exploring the first set of regional data. **Revista Panamericana de Salud Pública**, vol. 41, p. 1, 2017. <https://doi.org/10.26633/rpsp.2017.81>.

SILVEIRA, Pétersson Oliveira; GUASSELLI, Laurindo Antonio; DE OLIVEIRA, Guilherme Garcia; NASCIMENTO, Victor Fernandez. Relationship between cases of hepatitis a and flood areas, municipality of Encantado, Rio Grande do Sul, Brazil. **Ciencia e Saude Coletiva**, vol. 26, no. 2, p. 721–728, 2021. <https://doi.org/10.1590/1413-81232020261.30592018>.

SILVESTRO, Francesco; REBORA, Nicola; FERRARIS, Luca. Quantitative flood forecasting on small- and medium-sized basins: A probabilistic approach for operational purposes. **Journal of Hydrometeorology**, vol. 12, no. 6, p. 1432–1446, 2011. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-10-05022.1>.

SOUSA, Daniela Prá Silva de; Roberto Fabris Goerl. Methodological proposal for estimating damage related to flood in urban áreas. 2018. .

TACHINI, Mário; KOBAYAMA, Masato; LOESCH, Cláudio; SEVERO, Dirceu Luis; SANTOS, Hélio. Avaliação de Danos de Inundações Ocorridas em Blumenau. , p. 1–18, 2001. .

TAHIRA, Yukiko; KAWASAKI, Akiyuki. The impact of the Thai flood of 2011 on the rural poor population living on the flood plain. **Journal of Disaster Research**, vol. 12, no. 1, p. 147–157, 2017. <https://doi.org/10.20965/jdr.2017.p0147>.

THIELEN, J.; BARTHOLMES, J.; RAMOS, M. H.; DE ROO, A. The European flood alert system "€" part 1: Concept and development. **Hydrology and Earth System Sciences**, vol. 13, no. 2, p. 125–140, 2019. <https://doi.org/10.5194/hess-13-125-2009>.

TUCCI, Carlos E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. [S. l.: s. n.], 2004a.

TUCCI, Carlos E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. [S. l.: s. n.], 2004b.

UE. **Mapping the impacts of natural hazards and technological accidents in Europe An overview of the last decade**. [S. l.: s. n.], 2010. DOI 10.2800/62638. Available at: [http://www.cenia.cz/__C12571B20041E945.nsf/\\$pid/CENMJG3KFGK3](http://www.cenia.cz/__C12571B20041E945.nsf/$pid/CENMJG3KFGK3).

WINSEMIUS, H. C.; VAN BEEK, L. P.H.; JONGMAN, B.; WARD, P. J.; BOUWMAN, A. A framework for global river flood risk assessments. **Hydrology and Earth System Sciences**, vol. 17, no. 5, p. 1871–1892, 2017. <https://doi.org/10.5194/hess-17-1871-2013>.

WOLFARTH-COUTO, Bruna; FILIZOLA, Naziano; DURIEUX, Laurent. Seasonal pattern of malaria cases and the relationship with hydrologic variability in the Amazonas State, Brazil. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, vol. 23, p. 1–13, 2020. <https://doi.org/10.1590/1980-549720200018>.

WORLD BANK. Avaliação de Perdas e Danos: Inundações e Deslizamentos na Região Serrana do Rio de Janeiro - Janeiro de 2011. 2011. Available at: file:///C:/manchas/mancha_urbana/artigo/referencia/banco_mundial_avalaliacao_de_risco/NonAsciiFileName0.pdf. Accessed on: 14 Jun. 2021.