

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

Jacson Rodrigues França

**MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE SUSCETIBILIDADE E RISCO DE
INUNDAÇÃO DE TRECHO DO RIO URUGUAI NO MUNICÍPIO DE
SÃO CARLOS - SC**

Santa Maria, RS
2017

Jacson Rodrigues França

**MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE SUSCETIBILIDADE E RISCO DE INUNDAÇÃO
DE TRECHO DO RIO URUGUAI NO MUNICÍPIO DE SÃO CARLOS - SC**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), Área de Concentração em Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais, como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Ambiental**.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Malva Andrea Mancuso

Santa Maria, RS, Brasil
2017

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Rodrigues França, Jacson
MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE SUSCETIBILIDADE E RISCO DE
INUNDAÇÃO DE TRECHO DO RIO URUGUAI NO MUNICÍPIO DE SÃO
CARLOS - SC / Jacson Rodrigues França.- 2017.
82 p.; 30 cm

Orientadora: Malva Andrea Mancuso
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Ambiental, RS, 2017


1. Água 2. Áreas de Risco 3. Inundações 4.
Reservatório I. Mancuso, Malva Andrea II. Título.

Jacson Rodrigues França


**MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE SUSCETIBILIDADE E RISCO DE INUNDAÇÃO
DE TRECHO DO RIO URUGUAI NO MUNICÍPIO DE SÃO CARLOS - SC**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), Área de Concentração em Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais, como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Ambiental**.

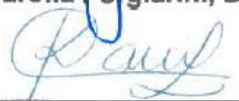
Aprovado em 02 de fevereiro de 2017:




Malva Andrea Mancuso, Dr^a. (UFSM)
(Presidente/Orientador)



Francisco Rossarolla Forgiarini, Dr. (UFSM)



Kátia Canil, Dr^a. (UFABC)



Santa Maria, RS
2017

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos os professores deste país, que apesar de todas as adversidades, são responsáveis pela formação de todos os demais profissionais. Em especial a todos aqueles que auxiliaram em minha formação.

AGRADECIMENTOS

Concluído esse trabalho, cabe muito agradecer:

- a Deus, pela vida, coragem e discernimento durante essa caminhada;
- a Universidade Federal de Santa Maria, Instituição que me acolheu na Graduação e Pós-Graduação, oferecendo seu melhor em educação pública, gratuita e de qualidade;
- a minha família, meus pais Antonio Vilson e Rosalina, irmãos Jonas e Uiliam, por toda força e confiança;
- minha orientadora Professora Dr^a Malva Andrea Mancuso, como uma verdadeira mãe que guia os passos de seu filho, dotada de muita paciência e respeito, me conduziu durante essa caminhada;
- a Prefeitura Municipal de Alpestre, pela confiança durante todo o período, permitindo a sequência na qualificação de seu funcionário;
- ao Corpo de Bombeiros do município de São Carlos-SC, pelas valorosas horas de atenção, e pela cedência do material que serviu de base para o desenvolvimento dos mapas apresentados nesse trabalho;
- ao Movimento dos Atingidos por Barragens, em especial seus dirigentes residentes em São Carlos-SC, por todo apoio nos relatos, acompanhamento das visitas a campo e todo auxílio prestado;
- a minha namorada Paola Franceschi Zanatta, por todo amor, companheirismo, apoio, e por acreditar em mim em todos os momentos;
- ao grande “Faixa”, colega e amigo Msc. Willian Fernando de Borba, pelo fundamental auxílio em várias etapas;
- ao amigo Engenheiro Ambiental e Sanitarista Fernando Pasini, por todo apoio, e por acolher em sua casa para curtos momentos de descanso;
- aos professores do PPGEAmb, pelo apoio e compreensão ao perceber meu cansaço ao desenvolver mais do que uma atividade concomitantemente;
- aos professores que foram banca no projeto de qualificação Francisco Rossarolla Forgiarini e Marcus Bruno Soares, pelas valorosas contribuições;
- aos grandes amigos que conheci e mantive ao me tornar um “agregado” do Laboratório de Hidrogeologia (LABHIDROGEO) da UFSM;
- a secretária do PPGEAmb Rosa Maria Brito, pela paciência e apoio sempre que solicitada;
- aos colegas do Grupo de Pesquisa em Hidrodinâmica Ambiental, pela troca de experiências e apoio;
- aos acadêmicos do curso de Engenharia Florestal Éricklis Edson Boito de Souza e Mateus Boldrin, pelo apoio;
- ao amigo e colega de trabalho Adoilson Antônio Riva, por toda dedicação e apoio;
- a todos que de uma forma apoiaram e incentivaram o desenvolvimento dessa pesquisa, tornando esse trabalho possível. A todos, meu Muito Obrigado!

RESUMO

MAPEAMENTO DE ÁREAS DE SUSCETIBILIDADE E RISCO DE INUNDAÇÃO DE TRECHO DO RIO URUGUAI NO MUNICÍPIO DE SÃO CARLOS-SC

AUTOR: Jacson Rodrigues França
ORIENTADORA: Malva Andrea Mancuso

A partir da problemática que representam as inundações de áreas ribeirinhas, principalmente quando o rios costeiam áreas urbanas, o presente estudo teve por objetivo analisar os dados de cheias do rio Uruguai à jusante da UHE Foz do Chapecó, com intuito de mapear as áreas de suscetibilidade e risco de inundação na margem direita do rio, no município de São Carlos-SC. Foi utilizado como ferramenta base o Modelo Digital do Terreno produzido e disponibilizado pela Secretaria de Desenvolvimento Econômico Sustentável de Santa Catarina (SDS), buscando com o mapeamento que os resultados sirvam como ferramenta no desenvolvimento de políticas públicas para gestão territorial e ações em casos de sinistro. Para o desenvolvimento do mapa de suscetibilidade foi realizado o cruzamento entre classes de declividade e cotas de nível atingidas em diferentes Tempos de Retorno de inundação. Para o mapeamento de risco, foram utilizadas adaptações de metodologias de cartografia desenvolvidas em alguns trabalhos realizados no Brasil que relacionam componentes naturais como cotas de nível atingidas por inundações com diferentes tempos de retorno, com componentes antrópicas relacionadas a uso e ocupação do solo. No mapeamento de suscetibilidade, predominaram as áreas de baixa suscetibilidade (45,8 %). Já áreas apontadas como de Muito Alta Suscetibilidade representam 4,6 % e Alta Suscetibilidade 11,3 % da área estudada, e indicam não ser propícias à ocupação. Em relação ao mapeamento de risco, foi possível concluir que devido às características morfológicas e geológicas, uma metodologia apresentou resultados mais significativos, por considerar a espacialização dos domicílios localizados em zonas de inundação atingidas por vários Tempos de Retorno. De acordo com o mapa de Risco, no Bairro Águas do Prata as habitações alocadas em zonas de inundação com tempo de retorno de 20 e de 74 anos não correm Alto e Muito Alto Risco. Em relação às casas que se encontram em zonas de inundação com tempo de retorno com 2 anos, 28,18 % apresentam Muito Alto Risco, enquanto que 72,96 % das habitações localizadas em zonas de inundação com probabilidade de 5 anos de retorno no mesmo bairro estão em área de Alto Risco. A outra metodologia pode ser indicada para áreas mais planas, onde os vales são menos profundos e as inundações de Tempos de Retorno menores que 5 anos atingem áreas maiores, com maior número de habitações.

Palavras-Chave: Água. Áreas de Risco. Inundações. Reservatório.

ABSTRACT

MAPPING OF AREAS OF SUSCEPTIBILITY AND RISK OF FLOODING OF THE URUGUAY RIVER IN THE MUNICIPALITY OF SÃO CARLOS-SC

AUTHOR: Jacson Rodrigues França

ADVISOR: Malva Andrea Mancuso

Based on the problems of riverside flooding, especially when the rivers are located in urban areas, the present study had the objective of analyzing flood data from the Uruguay River downstream of the UHE Foz do Chapecó, in order to map the areas Susceptibility and flood risk in the right bank of the river, in the municipality of São Carlos-SC. It was used as a base tool the Digital Land Model produced and made available by the Secretariat of Sustainable Economic Development of Santa Catarina (SDS), seeking with the mapping that the results serve as tools in the development of public policies for territorial management and actions in cases of loss . For the development of the susceptibility map, the crossing between slope classes and level quotas reached at different Flood Return Times was performed. For the mapping of risk, adaptations of cartographic methodologies developed in some works carried out in Brazil that relate natural components such as level quotas reached by floods with different return times, with anthropic components related to land use and occupation, were used. In the mapping of susceptibility, areas of low susceptibility predominated (45.8%). Already areas designated as Very High Susceptibility represent 4.6% and High Susceptibility 11.3% of the studied area, and indicate not to be propitious to the occupation. Regarding the mapping of risk, it was possible to conclude that due to the morphological and geological characteristics, a methodology presented more significant results, considering the spatialization of the households located in flood zones affected by several times of Return. According to the map of Risco, in the Águas do Prata neighborhood, the dwellings allocated in flood zones with a time of return of 20 and 74 years do not run High and Very High Risk. In relation to the houses that are in flood zones with a return time of 2 years, 28.18% have Very High Risk, while 72.96% of the dwellings located in flood zones with probability of 5 years of return in the same Neighborhood are in High Risk area. The other methodology may be indicated for flatter areas where valleys are shallower and floods of Return Times less than 5 years reach larger areas with larger numbers of dwellings.

Keywords: Water. Risk areas. Floods. Reservoirs.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Inundação ocorrida no ano de 2014, no município de São Carlos-SC acarretando diversos prejuízos (A), e o mesmo local em 2016 sem inundação (B).	18
Figura 2 - Imagem da barragem da UHE Foz do Chapecó	23
Figura 3 - Metodologia utilizada e atividades desenvolvidas para a elaboração dos mapas de suscetibilidade e risco de inundação do Rio Uruguai no município de São Carlos- SC	30
Figura 4 - Localização do município de São Carlos-SC	31
Figura 5 - Localização das Estações de Monitoramento da ANA e da UHE Foz de Chapecó, localizadas à montante e à jusante do município de São Carlos (SC)	35
Figura 6 - (a) Régua de medição de cotas de nível no interior do reservatório (b) Régua de medição de cotas de nível d'água de jusante	36
Figura 7 - Cotas de nível da água do Rio Uruguai observadas na estação fluviométrica de Iraí (da ANA) e na estação localizada à Jusante da UHE Foz do Chapecó (monitorada pela UHE Foz do Chapecó)	47
Figura 8 - Identificação da tipologia das construções na área de estudo no programa Google Earth	49
Figura 9 - Localização de cada habitação identificada	50
Figura 10 - Uso e Ocupação do solo para o Bairro Águas do Prata em um TR de 74 anos.	53
Figura 11 - Ruas do Bairro Águas do Prata e Bairro Olaria da Cidade de São Carlos-SC e pontos limite do nível da água do Rio Uruguai durante a Inundação de 2014	55
Figura 12 - Classes de declividade para a área em estudo	56
Figura 13 - Mapa de cotas de nível	58
Figura 14 - Mapa de Altura de Inundação para um TR de 2 anos	59
Figura 15 - Mapa de Altura de Inundação para um TR de 5 anos	60
Figura 16 - Mapa de Altura de Inundação para um TR de 10 anos	61
Figura 17 - Mapa de Altura de Inundação para um TR de 20 anos	62
Figura 18 - Mapa de Altura de Inundação para um TR de 74 anos	63
Figura 19 - Mapa de Suscetibilidade à Inundação	64
Figura 20 - Mapa de Risco à inundação, seguindo metodologia adaptada de Brasil (2007c)	68
Figura 21 - Mapa de Risco à inundação seguindo metodologia adaptada de Hora e Gomes (2009)	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação de diferentes graus de risco de inundação.....	42
Tabela 2 - Áreas inundadas pelo Rio Uruguai no município de São Carlos em cheias com Tempo de Retorno de 2, 5, 10, 20 e 74 anos.....	48
Tabela 3 - Tipologia das habitações construídas nas cotas topográficas atingidas por inundações de diferentes Tempos de Retorno.....	51
Tabela 4 - Tipologia das habitações construídas nas cotas topográficas atingidas por inundações de diferentes Tempos de Retorno.....	52
Tabela 5 - Dados de habitações, área, densidade habitacional e densidade populacional, para os diferentes tipos de uso do solo.....	54
Tabela 6 - Área e respectivo percentual apresentado para cada classe de declividade.....	57
Tabela 7 - Síntese das áreas obtidas no mapa de suscetibilidade.....	65
Tabela 8 - Classificação de risco e características de suas respectivas áreas.....	67
Tabela 9 - Classificação de valores resultantes da equação proposta e percentual correspondente.....	69
Tabela 10 - Percentual de cada classe de risco para diferentes TRs.....	71
Tabela 11 - Percentual de Risco para cada TR no Bairro Águas do Prata.....	72

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - localização das estações de monitoramento utilizadas na análise fluviométrica, do Rio Uruguai, na região de São Carlos/SC	34
Quadro 2 - Descrição das declividades e seus respectivos intervalos.....	38
Quadro 3 - Classificação de suscetibilidade à inundação do Rio Uruguai no município de São Carlos.....	41

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

%	Porcentagem
APP	Área de Preservação Permanente
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Serviço Geológico do Brasil
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler
GPS	<i>Global Position System</i>
ha	Hectares
hab	Habitantes
IDW	<i>Inverse Distance Weighting</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
km	Quilômetro
km ²	Quilômetro quadrado
LO	Licença de Operação
m	Metros
MDT	Modelo Digital do Terreno
MNT	Modelo Numérico do Terreno
NAJ	Nível da água a jusante
NAR	Nível da água no Reservatório
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PPGEAmb	Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental
SC	Santa Catarina
UFSC	Universidade Federal de Santa Maria
UHE	Usina Hidrelétrica

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo geral	16
2.2 Objetivos específicos	16
3 REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1 conceitos básicos	17
3.1.1 Inundação, enchente, alagamento e enxurrada	17
3.1.2 Vulnerabilidade, suscetibilidade e risco	20
3.2 Usinas Hidrelétricas: controle de vazões e inundações	21
3.3 PLANEJAMENTO Territorial e MAPEAMENTO	24
3.3.1 Planejamento	24
3.3.2 Mapeamento de áreas de suscetibilidade e risco a inundação	24
3.3.3 Metodologias de mapeamento de áreas de inundação	26
4 METODOLOGIA	29
4.1 POPULAÇÃO E OCUPAÇÃO TERRITORIAL DE SÃO CARLOS-SC	30
4.2 SÉRIES HISTÓRICAS DE COTA DE NÍVEL DE ÁGUA DO RIO URUGUAI	34
4.2.1 Estações Fluviométricas Barra do Chapecó Auxiliar e Iraí	36
4.3 MODELO DIGITAL DO TERRENO	37
4.4 CÁLCULO DO TEMPO DE RETORNO DE EVENTOS DE CHEIAS	38
4.5 MAPA DE SUSCETIBILIDADE	40
4.6 MAPA DE RISCO À INUNDAÇÃO	41
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
5.1 ANÁLISE DE SÉRIES HISTÓRICAS DAS INUNDAÇÕES DO RIO URUGUAI E CÁLCULO DO TEMPO DE RECORRÊNCIA	45
5.2 POPULAÇÃO E OCUPAÇÃO TERRITORIAL DE SÃO CARLOS-SC	48
5.3 DECLIVIDADE E ALTIMETRIA DE ÁREAS INUNDADAS	55
5.3.1 Declividade	55
5.3.2 Altimetria	57
5.3.3 Altura da inundação	59
5.4 SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO	64
5.5 RISCO DE INUNDAÇÃO	65
6 CONCLUSÕES	73
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
APÊNDICE 1 - ANÁLISE DE SÉRIE HISTÓRICA PARA A ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA DE IRAÍ	81

1 INTRODUÇÃO

As inundações são responsáveis por gerar no mundo todo, inúmeras perdas econômicas e sociais. Conforme Santos (2007), as inundações estão entre os principais desastres naturais que ocorrem no Brasil, acompanhadas das secas, erosões e dos deslizamentos de terra.

Na maioria das vezes em que ocorrem os desastres que tem ligação com processos hidrológicos, considera-se como causa, o excesso de precipitação. Por isso, deve-se entender que o desencadeamento de fenômenos como enchentes, inundações e escorregamentos, relaciona-se a uma conjunção de fatores naturais, podendo estar ligados à ação humana. Dentre os fatores naturais, considera-se a precipitação, o comportamento fluvial, a morfometria e o relevo. Dentre os fatores antrópicos, considera-se os fatores estruturais, “quando ocorre a modificação do rio” e não estruturais, “quando o homem convive com o rio” (TUCCI, 1997).

Observa-se o aumento do número de eventos registrados, que foram induzidos, acelerados ou agravados pela intervenção humana, relacionada a processos como degradação de ecossistemas, mudanças no padrão de uso do solo agrícola, crescimento urbano sem planejamento adequado do uso do solo e sem provisão de infraestrutura de drenagem (GOERL; KOBAYAMA, 2005). Nesse sentido, destaca-se que ações que viabilizem o planejamento eficaz de áreas vulneráveis a inundações são indispensáveis.

O Decreto nº 7.257 de agosto de 2010 (BRASIL, 2010), considera como ações de prevenção de desastres naturais aquelas desenvolvidas por meio da identificação, mapeamento e monitoramento de riscos, ameaças e vulnerabilidades locais. Para poder dar melhor orientação nas tomadas de decisão acerca das inundações é necessário um rigoroso estudo de zoneamento. O zoneamento e a cartografia que o acompanham constituem a base de uma política de prevenção (VEYRET, 2007). Entende-se por zoneamento o conjunto de regras para a ocupação das áreas de risco de inundação, que visem a minimização futura das perdas materiais e humanas em face das grandes cheias (TUCCI, 2007).

A ocupação antrópica das margens dos rios e o seu regime de inundações tem preocupado as populações ribeirinhas, quer seja nas áreas rurais ou urbanas. Este é o caso da Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai, que se estende na divisa entre

os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (TUCCI et al., 2003). Mesmo assim, o vínculo criado entre as pessoas e o lugar onde habitam e as condições econômicas são fatores que influenciam para que não aconteça a realocação de muitas famílias que se encontram em risco ou suscetibilidade de serem atingidas em situações de cheias do Rio Uruguai.

Ainda no leito do Rio Uruguai, a região apresenta atualmente quatro usinas hidrelétricas instaladas, sendo a UHE Foz do Chapecó, a UHE de Itá, UHE Machadinho, e UHE Barra Grande. As obras da Usina Hidrelétrica (UHE) Foz do Chapecó foram iniciadas em dezembro de 2006, entre os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, no extremo norte gaúcho (HÜFFNER e ENGEL, 2011). Atualmente a UHE tem uma contribuição de 855 MW ao sistema interligado nacional, e é responsável por abastecer vários municípios de Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Paraná, e foi oficialmente inaugurada em 30 de dezembro de 2010, com três unidades geradoras em funcionamento, a quarta e última unidade geradora, viria a funcionar na data de 12 de março de 2011.

O impacto destas obras nas vazões regulares do Rio Uruguai vem sendo estudados desde antes da primeira implantação (ELETROSUL/CNEC, 1982). Em junho de 2014, um evento hidrológico de grandes proporções foi responsável por perdas significativas para a população a jusante da Usina Hidrelétrica Foz do Chapecó (ELY, 2014). Com vista a contribuir com a prevenção de desastres naturais decorrentes da inundação à jusante desse grande empreendimento, o presente estudo busca, a partir de dados e ferramentas disponíveis, elaborar mapas de suscetibilidade e risco de inundação para eventos hidrológicos extremos que possam ocasionar danos, avaliando qual a metodologia de mapeamento mais adequada ao município de São Carlos-SC.

Assim, busca-se colaborar com o poder público e a sociedade envolvida com um instrumento para o planejamento de ações que vislumbrem o gerenciamento adequado, nas áreas não ocupadas e a prevenção de desastres nas áreas ocupadas.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente estudo teve por objetivo mapear as áreas de suscetibilidade e risco de inundação na margem direita do rio, no município de São Carlos-SC.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como objetivos específicos, este trabalho visa produzir instrumentos de apoio para a atualização do plano diretor municipal e para a implementação de políticas públicas, em casos de sinistros, sendo estes instrumentos:

- a carta de zoneamento de áreas de suscetibilidade de inundação do Rio Uruguai, no município de São Carlos (SC);

- a carta de zoneamento de áreas de risco de inundação do Rio Uruguai, no município de São Carlos (SC); e

- realizar análise comparativa entre as metodologias utilizadas para o zoneamento de risco.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico irá tratar da base conceitual utilizada para a elaboração deste estudo, envolvendo a conceituação básica dos termos utilizados, a legislação aplicável as áreas ribeirinhas, a gestão das vazões realizadas pelas Usinas Hidrelétricas instaladas na região e propostas metodológicas para elaboração de mapeamento de suscetibilidade e risco de inundação utilizando como área piloto o município de São Carlos no estado de Santa Catarina.

3.1 CONCEITOS BÁSICOS

Muitas vezes alguns termos como inundação, enchente, alagamento e cheia são utilizados como sinônimos, entretanto, referem-se a fenômenos hidrológicos distintos. Nesse sentido, torna-se necessária a conceituação adequada desses termos.

3.1.1 Inundação, enchente, alagamento e enxurrada

As inundações ocorrem quando a precipitação é intensa ao ponto de que a quantidade de água que chega ao canal é superior a sua capacidade de drenagem. (TUCCI, 2002).

De acordo com Sausen e Navares (2015) as inundações são o tipo de desastre que mais ocorre no mundo, e também o que causa mais perdas, sendo um evento natural e que é igualada ou excedida a cada 2,33 anos, de acordo com a análise estatística da média anual.

Segundo Kobiyama (2006, p.8):

A inundação é o resultado de uma grande quantidade de chuva que não foi suficientemente absorvida por rios e outras formas de escoamento, causando transbordamentos. A situação é pior nas cidades, porque os prédios, casas e o asfalto recobrem áreas antes cobertas por vegetação, que em um momento anterior seguravam a água no solo e também absorviam parte da chuva. (KOBİYAMA, 2006, p.8).

Desta forma nas cidades quando ocorrem eventos de inundação, várias instalações são atingidas, e muitas vezes a água permanece por vários dias causando danos sociais e econômicos (Figura 1).

Figura 1 - Inundação ocorrida no ano de 2014, no município de São Carlos-SC acarretando diversos prejuízos (A), e o mesmo local em 2016 sem inundação (B)



Fonte: (a) Arquivos do Movimento dos Atingidos por Barragens (b) Google (2016).

A Secretaria Nacional de Defesa Civil (SEDEC) define inundações como:

Inundações são causadas pelo afluxo de grandes quantidades de água que, ao transbordarem dos leitos dos rios, lagos, canais e áreas represadas, invadem os terrenos adjacentes, provocando danos. As inundações podem ser classificadas em função da magnitude e da evolução. (BRASIL, 2007a, p. 45)

Goerl e Kobiyama (2005) apresentam dois tipos de inundações, sendo as graduais e as bruscas. Definem ainda as inundações graduais, como sendo àquelas em que a elevação do nível das águas e o conseqüentemente transbordamento ocorrem lentamente, comumente denominadas como *flood* ou *flooding* na língua inglesa. Também detalham que geralmente essas inundações são provocadas por intensas e persistentes chuvas e a elevação das águas ocorre gradualmente. Devido a esta elevação gradual das águas, a ocorrência de mortes é menor que durante uma inundação brusca, contudo, devido a sua área de abrangência, a quantidade total de danos acaba sendo elevada.

As inundações bruscas são aquelas que ocorrem repentinamente, com pouco tempo de alarme e alerta para o local de ocorrência, e são conhecidas na língua inglesa como *flash flood* e no Brasil são conhecidas popularmente como enxurrada (GOERL E KOBIYAMA, 2005).

Segundo Kobiyama et. al. (2006), a enxurrada ocorre em um tempo próximo ao evento da chuva que a causa. A elevação das águas ocorre repentinamente, apresentando uma área de impacto bem menor do que as inundações graduais. Castro et al. (2007) se posicionam de forma semelhante, ao dizer que ao contrário das inundações graduais, as enxurradas em geral acontecem em bacias ou sub-bacias de pequeno e médio porte, sendo um fenômeno circunscrito a uma pequena área.

De acordo com Chow (1965), a enchente se refere a um fenômeno hidrológico extremo, de frequência variável, natural ou induzido pela ação humana. Esse fenômeno consiste no transbordamento de um curso de água relativamente ao seu leito ordinário, originando a inundação dos terrenos ribeirinhos (leito de cheia).

Assim, apesar de parecer sinônimo, inundação e enchente são eventos diferentes. Todas as enchentes provocam inundações, mas nem todas as inundações são devido às enchentes. As enchentes são fenômenos hidrológicos temporários, enquanto as inundações podem ser definitivas (em escala de vida humana) possuem frequência variável, são naturais ou induzidas pela ação humana e consistem na submersão de uma área usualmente emersa (ROCHA, 1995).

Para Goerl e Kobiyama (2005) a enchente é o escoamento com vazão máxima, porém sem extravasamento da calha natural do rio. Assim, o escoamento fica restrito ao leito menor ou ao leito normal do canal do rio.

Portanto, pelas definições conceituais apresentadas, a diferença entre enchente e inundação se resumiria ao confinamento ou não das águas de um curso d'água no seu canal de drenagem quando ocorre uma vazão acima do normal.

Canholi (2005) define alagamento como as águas pluviais que extravasam as galerias da rede de drenagem antes de atingir o canal principal. Então, resume-se como o acúmulo de água nas ruas e nos perímetros urbanos, por fortes precipitações, em cidades com sistemas de drenagem precários.

Ainda Brasil (2004), define alagamento como o acúmulo momentâneo de águas em uma dada área por problemas no sistema de drenagem, podendo ter ou não relação com processos de natureza fluvial.

Enxurrada é um fenômeno definido como o escoamento superficial concentrado e com alta energia de transporte, que pode ou não estar associado a áreas de domínio dos processos fluviais. É comum a ocorrência de enxurradas ao

longo de vias implantadas sobre antigos cursos d'água com alto gradiente hidráulico em terrenos com alta declividade natural (BRASIL, 2004).

Embora a definição dos conceitos muitas vezes pareça se sombrear, é necessária a compreensão adequada de cada um dos fenômenos naturais, suas causas e efeitos, para melhor desenvolvimento das ações de mapeamento e controle. Dessa forma, o fenômeno que atinge habitações no município de São Carlos-SC, deve ser classificado como inundação gradual, uma vez que o nível da água extravasa o leito natural do rio, de forma lenta, não havendo registros de mortes quando acontecem.

3.1.2 Vulnerabilidade, suscetibilidade e risco

Embora existam bastante trabalhos realizados na área de desastres naturais é encontrada uma terminologia bastante distinta, visto que muitas vezes esses termos são traduzidos de outros idiomas, e a tradução não apresenta unanimidade, o que muitas vezes dificulta a identificação correta dos objetivos de algumas publicações.

Para homogeneizar o entendimento das equipes técnicas, cursos de capacitação em mapeamento e gerenciamento de riscos a deslizamentos, enchentes e inundações como o promovido pelo Ministério das Cidades, em parceria com Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres (CEPED/UFSC) e o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), assim como o curso Realizado na prefeitura de Caieiras-SP, propõe as seguintes definições dos termos suscetibilidade e risco:

-Suscetibilidade: Indica a potencialidade de ocorrência de processos naturais e induzidos em áreas de interesse ao uso do solo, expressando-se segundo classes de probabilidade de ocorrência;

-Risco: Probabilidade de ocorrer um efeito adverso de um processo sobre um elemento. Relação entre perigo e vulnerabilidade, pressupondo sempre a perda. (FIGUEIREDO et al., 2013, p.9).

Segundo UFSC/CEPED (2012) é considerado risco de desastre a probabilidade de ocorrência de um evento adverso, que cause danos ou prejuízos.

Ainda de acordo com o IPT (1991), “áreas de risco são aquelas áreas que apresentam possibilidades de perigo, perda ou dano, do ponto de vista social e

econômico, na qual a população esteja submetida caso ocorra processos físicos naturais”.

A Defesa Civil através de Castro (2007, p.9) entende vulnerabilidade por:

Condição intrínseca ao corpo ou sistema receptor que, em interação com a magnitude do evento ou acidente, define os efeitos adversos, medidos em termos de intensidade dos danos previstos. (CASTRO, 2007, p.9)

3.2 USINAS HIDRELÉTRICAS: CONTROLE DE VAZÕES E INUNDAÇÕES

A construção de reservatórios em qualquer sessão do curso d'água, seja ele com a finalidade de geração de energia ou não, acaba interferindo no regime de escoamento, gerando vazões diferentes daquelas observadas em condições naturais.

Segundo informações da Usina Hidrelétrica Foz do Chapecó, nenhuma usina tem autonomia para determinar a abertura ou o fechamento de suas comportas. Estas decisões partem do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), órgão do Governo Federal que coordena a geração de energia elétrica no País, de modo a garantir a geração e distribuição da energia elétrica em cumprimento da demanda dos usuários.

Desta forma nem sempre se pode dizer que os reservatórios das UHEs servem como instrumento de gestão das vazões e de cotas de nível dos rios, e sim, servem os reservatórios em primeiro lugar como controle da geração de energia.

Mesmo assim, Barbosa et al. (2010) apontam instrumentos que servem para minimização de impactos a jusante de reservatórios de barragens, sejam eles isolados ou em cascata. Citam instrumentos como o Plano Anual de Prevenção de Cheias (PAPC), a Programação Diária da Operação e a própria Operação de Controle de Cheias. Ainda Barbosa et al. (2010, p.1) relatam que:

Estes instrumentos são aplicados pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), ou sob sua coordenação, em conjunto com os agentes proprietários, e exercidos por meio da alocação de volumes de espera nos reservatórios, sujeitos a riscos em função do caráter aleatório das cheias. (BARBOSA et al., 2010, p.1).

Porém, de acordo com o sítio eletrônico do ONS (ONS, 2015), as bacias hidrográficas que fazem parte do Plano Anual de Prevenção de Cheias (PAPC), são

as bacias do Paraná, Paraíba do Sul, São Francisco, Parnaíba, Jequitinhonha, Jacuí e Iguaçu, não estando no plano a Bacia do Rio Uruguai, uma vez que este apresenta a peculiaridade de ser um rio bem encaixado em seu vale, proporcionando UHEs com reservatórios de menores dimensões, operando a fio d'água, ou seja, sem grandes capacidades de armazenamento de água.

Quanto a paralizações nas unidades geradoras da UHE Foz do Chapecó em decorrência de volumes de água acima do normal no reservatório, ONS (2013, p. 104) destaca:

Em situações específicas de elevada vazão afluyente à UHE Foz do Chapecó, que conduzem a uma situação de grandes volumes de descarga total da usina, que somadas às vazões do rio Chapecó, se aproximam de 20.000 m³/s, o nível de cota de jusante da usina poderá chegar ao valor de 224,19m comprometendo a segurança operativa das unidades geradoras. Sendo assim, é necessária a parada de todas as unidades geradoras com a finalidade de atender a especificação do fabricante. (ONS, 2013, p.104)

Com a demanda energética apresentada por um país em pleno crescimento como o Brasil e com um enorme potencial de geração de energia hidrelétrica (ELETROSUL; CNEC, 1982), devido às características hidrográficas, se instalam diversas Usinas Hidrelétricas no leito do Rio Uruguai (VIGNATTI, 2013). Uma delas é a UHE Foz do Chapecó, que se encontra entre os municípios de Alpestre-RS e Águas de Chapecó-SC e é responsável pela adição de 855 MW ao Sistema Interligado Nacional, possuindo uma capacidade energética que equivale a 25 % de todo o consumo de energia do Estado de Santa Catarina ou a 18 % do consumo do Rio Grande do Sul (FOZ DO CHAPECÓ ENERGIA S.A., 2015).

Além da Foz do Chapecó (Figura 2), outras duas usinas hidrelétricas estão instaladas no leito do rio Uruguai, sendo elas a UHE de Itá, que se localiza entre os municípios de Itá- SC e Aratiba-RS, e a UHE Machadinho, localizada na divisa dos municípios de Piratuba- SC e Maximiliano de Almeida (RS). Os dois principais afluentes, cuja junção de ambos forma o Rio Uruguai, também tem UHEs em seus leitos, sendo a Usina Hidrelétrica de Barra Grande, localizada no Rio Pelotas, entre os municípios de Anita Garibaldi-SC e Pinhal da Serra-RS e a Usina Hidrelétrica de Campos Novos, que é uma usina do Rio Canoas localizada no município de Campos Novos, no estado de Santa Catarina (HÜFFNER; ENGEL, 2011).

Figura 2 - Imagem da barragem da UHE Foz do Chapecó



Fonte: O Autor.

A área de terra inundada pelo lago da UHE Foz do Chapecó, obrigou à realocação de cerca de 2500 famílias (PAIM; ORTIZ, 2006). O aumento da vazão das águas em determinados momentos, com a abertura das comportas pode ser decisivo em tempos de cheias, em função do volume de água liberado pelo vertedouro, pela capacidade de causar inundações em um curto espaço de tempo, volumes mínimos de vazão também são mantidos no trecho compreendido entre a confluência do Rio Chapecó com o Rio Uruguai, e o vertedouro da UHE Foz do Chapecó, para garantir assim a manutenção da ictiofauna (ONS, 2013).

Segundo Tucci et al. (2003), na bacia hidrográfica do Rio Uruguai, antes do ano de 1983 (ano em que ocorreu a maior enchente registrada até aquele momento), as enchentes observadas eram pequenas ou médias por um período de pouca frequência, fato que induziu a população a ocupar áreas de risco a inundação.

Somente na região oeste do estado de Santa Catarina, nos meses de junho e julho de 2014, foram mais de três mil pessoas desabrigadas e 225 escolas ficaram sem aulas devido a estragos causados pelas enchentes (G1-SC, 2014). Segundo Heinen, (2014) no município de São Carlos, em torno de 100 famílias foram atingidas, dessas 78 são do Bairro Águas do Prata, e as demais atingidas são da Linha Uruguai, Bairro Olaria e Bairro Tancredo Neves.

3.3 PLANEJAMENTO TERRITORIAL E MAPEAMENTO

3.3.1 Planejamento

No âmbito de ordenamento e planejamento territorial, busca-se evitar ou mitigar problemas e ampliar ações necessárias. A gestão vem a complementar o planejamento, e se configura como a efetivação das condições que o planejamento realizado no passado ajudou a construir. Assim, o tipo de carta temática, a ser elaborada como instrumento de apoio, depende do objetivo, que pode ser o planejamento ou gestão; bem como da escala, que pode ser de detalhe, semi detalhe ou regional; e, ainda, de suas possíveis aplicações (MACEDO et al., 2015).

Oliveira e Robaina, (2015) ao fazerem um levantamento sobre projetos e programas para gerenciamento das áreas de risco no Brasil, concluem que somente nas últimas décadas é que algumas cidades começaram a desenvolver e executar ações que venham a prevenir os desastres naturais, uma vez que por longos anos a prioridade foi agir somente após as ocorrências. Dessa forma é imprescindível que ocorram cada vez mais avanços no desenvolvimento de práticas que auxiliem uma gestão focada na prevenção e respostas rápidas a eventos de inundação.

3.3.2 Mapeamento de áreas de suscetibilidade e risco a inundação

O mapeamento das planícies de inundação de uma cidade é um instrumento essencial para a ordenação do uso e ocupação do solo e o direcionamento das

expansões urbanas, além de facilitar a elaboração do Plano de Defesa Civil que estabelece as ações individuais e corretivas para minimizar perdas durante as enchentes.

Segundo Macedo et al. (2015), os mapeamentos referentes aos eventos de inundação, aplicam-se a cartas de suscetibilidade, perigo ou risco e apresentam variações de acordo com os objetivos e escalas de trabalho envolvidas. Os autores apresentam distintas formas de mapear cada classificação, de acordo com seus respectivos fatores:

Assim, para o mapeamento da inundação fluvial gradual, tem-se que a suscetibilidade está mais associada às condições naturais do terreno que favorecem a elevação do nível d'água no canal de drenagem com transbordamento, atingindo as planícies aluviais e os terraços fluviais. O perigo se associa à probabilidade de ocorrência do evento em determinada área e tempo. Para risco, incorpora-se o uso e ocupação do solo, ponderando-se a vulnerabilidade associada aos danos nas áreas atingíveis. (MACEDO et al., 2015, p.6).

O mapeamento das planícies de inundação através de um SIG é bem definido por ANA, SGB/CPRM e IGAM (2004), onde afirmam que:

Consiste basicamente no relacionamento entre o modelo digital de terreno (MDT) da área em estudo, também chamado de modelo numérico de terreno (MNT), e os perfis da linha d'água dos eventos de cheia com diferentes probabilidades de excedência. (ANA, SGB/CPRM e IGAM, 2004, p.8).

Através de um SIG é possível gerar a superfície do terreno, a superfície da linha d'água associada a uma probabilidade de excedência (calculada a partir de dados fluviométricos) e efetuar expressões algébricas entre as duas. Essas superfícies são arquivos (imagens) *raster* cujas células armazenam as elevações. As dimensões das células devem ser compatíveis com a escala da base planialtimétrica utilizada. A geração de superfícies em um SIG pode ser feita com diversos algoritmos. Entretanto, a qualidade do resultado final é função dos dados de entrada. No caso do modelo digital do terreno esses dados são as curvas de nível, os pontos cotados e a rede de drenagem. Em áreas urbanas é recomendável que a equidistância das curvas de nível seja de pelo menos um metro. Após a geração das superfícies, a definição das áreas inundáveis é feita através da reclassificação da

imagem que representa a divisão da superfície do terreno pela superfície da linha d'água (ANA; SGB/CPRM; IGAM, 2004).

De acordo com Sampaio et al. (2013), a suscetibilidade a inundações e enxurradas também deve ser definida em função das características geológicas, geomorfológicas e hidrológicas do território de cada município, associadas aos tipos de solos encontrados nas planícies (identificados em mapas pedológicos).

Já a Directiva 2007/60/CE (CE, 2007) do Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia define para todos os estados que sejam realizados trabalhos de confecção de Cartas de Zonas Inundáveis, que devem levar em consideração probabilidades de tempos de cheia divididas em fracas, médias e elevadas probabilidades, indicando-se para cada um desses cenários a amplitude da inundação, as profundidades que cada estado desenvolva as Cartas de Risco à inundação, estas devem associar às de água ou nível de água, quando aplicável e, quando aplicável, a velocidade da corrente ou a vazão da cheia correspondente. A mesma Directiva prevê também diferentes probabilidades de ocorrência, o número indicativo de habitantes potencialmente afetados, o tipo de atividade econômica da zona potencialmente afetada, instalações que possam causar poluição acidental em caso de inundações e outras informações que os Estados-Membros julgarem úteis.

3.3.3 Metodologias de mapeamento de áreas de inundação

Uma análise bibliográfica comparativa foi realizada para definir a metodologia mais adequada para o mapeamento de áreas de inundação, com vista a classificar as áreas de suscetibilidade e risco considerando eventos extremos.

Segundo Monteiro e Kobiyama (2013), existem duas maneiras diferentes de mapeamento de inundação, através da modelagem hidrodinâmica, ou através da confecção de uma mancha de inundação a partir de dados observados da inundação. Ressaltam ainda que a qualidade do mapa depende da qualidade dos procedimentos que o antecedem, e é muito sensível ao modelo digital de terreno.

De acordo com Rennó (2003), os modelos são uma representação simplificada da realidade, que auxiliam no entendimento dos processos que a envolvem. Os modelos hidrológicos buscam simular o percurso completo da água,

que trabalha desde a precipitação até a saída da água do sistema nas suas diversas formas.

Um dos modelos mais utilizados na atualidade é o Modelo HAND- *Height Above the Nearest Drainage* ou Altura Acima da Drenagem mais Próxima. Conforme NOBRE et al., (2011), este modelo utiliza a diferença entre a altitude extraída de Modelos Digitais de Elevação - MDE e a rede de drenagem de referência para calcular alturas relativas, que possuem correlação com a profundidade do lençol freático e com a topografia do terreno.

Os modelos exigem dados bastante completos da bacia hidrográfica, além de amplos conhecimentos em Hidrologia, uma vez que possuem uma natureza simuladora do ciclo hidrológico em sua plenitude (OLIVO, 2004). Como o trecho da bacia hidrográfica em questão nesse estudo, não oferece de forma completa os dados necessários para a aplicação de um modelo hidrológico, essa possibilidade não foi implementada, podendo ser sugerida uma melhor avaliação das condições e disponibilidade de dados para ser aplicado um modelo hidrológico em trabalhos a serem desenvolvidos futuramente.

Em um estudo de caso para o município de Jaguari-RS, Prina e Trentin (2014), desenvolveram uma metodologia para mapeamento de áreas de suscetibilidade de inundação. Trata-se do cruzamento entre o MDE e o mapa de declividade da área, evidenciando as áreas mais suscetíveis às inundações.

Para a confecção de uma mancha de inundação a partir de dados observados, em Brasil (2007c) são elencados três critérios e parâmetros de análise e de classificação de riscos para ocupações urbanas sujeitas a processos de inundações que envolvem: 1) Análise dos cenários de risco e potencial destrutivo dos processos hidrológicos ocorrentes; 2) Vulnerabilidade da ocupação urbana; e 3) Distância das moradias ao eixo da drenagem. A definição de níveis relativos de risco considerando os 3 critérios e parâmetros de análise de risco pode ser desenvolvida considerando diferentes arranjos entre os mesmos. Os autores definem nessa análise 4 níveis de risco: RISCO MUITO ALTO (MA), RISCO ALTO (A), RISCO MÉDIO (M) E RISCO BAIXO (B).

Hora e Gomes (2009), desenvolveram um trabalho de mapeamento e avaliação do risco a inundação do rio Cachoeira em trecho da área urbana do município de Itabuna/BA, e para o mapeamento adaptaram a metodologia proposta por Brasil (2007c), adicionando aos critérios para determinação do grau de risco de

cada área a ocorrência de eventos significativos com tempos de recorrência determinados, uma vez que em Brasil (2007c) o critério 3 prevê que intrinsecamente deve estar embutida a frequência de ocorrência.

Ainda Brasil (2007c) em seu trabalho propõem para mapeamento de áreas de risco de enchentes e inundações que sejam seguidos os seguintes passos: a) identificação e delimitação preliminar de área de risco em fotos aéreas de levantamentos aerofotogramétricos, imagens de satélite, mapas, guias de ruas, ou outro material disponível compatível com a escala de trabalho; b) identificação de área de risco e de setores de risco (setorização preliminar) em fotos aéreas de baixa altitude (quando existir); c) levantamentos de campo para setorização (ou confirmação, quando existir a pré-setorização), preenchimento da ficha de cadastro e uso de fotos de campo.

Canil (2010), avaliando riscos de escorregamentos analisa a vulnerabilidade dos assentamentos urbanos segundo a qualidade construtiva intrínseca aos diferentes padrões construtivos, estando divididas as tipologias em três categorias: alvenaria, madeira e mista.

4 METODOLOGIA

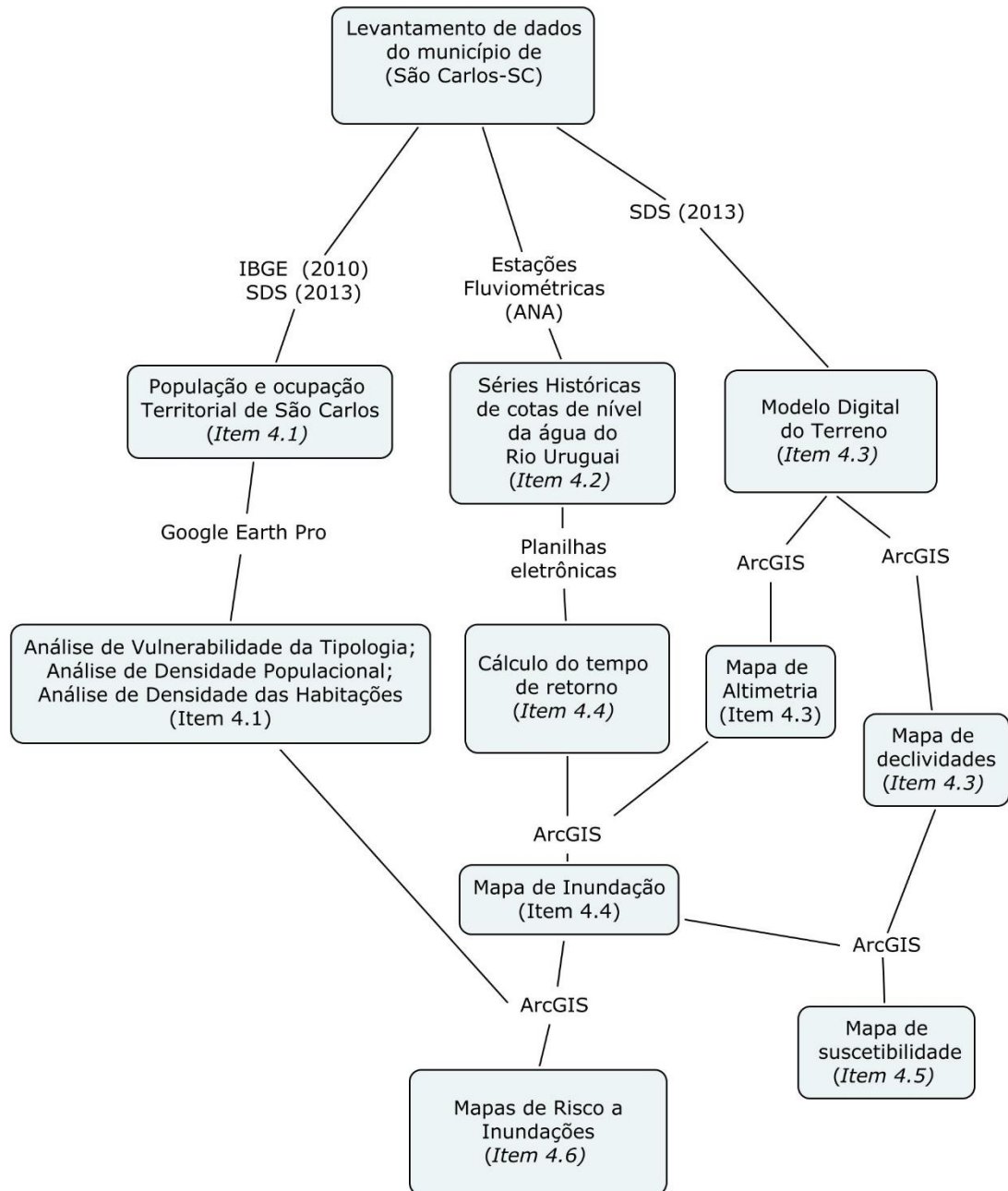
Com o objetivo de elaborar os mapas de suscetibilidade e risco de inundação do Rio Uruguai no município de São Carlos/SC foi realizado inicialmente o levantamento de dados sobre a área de estudo, envolvendo dados de: população e ocupação territorial, séries históricas de precipitações e das cotas de nível do rio Uruguai e do Rio Chapecó, além de buscar elementos cartográficos para o mapeamento como o Modelo Digital do Terreno, em escala de detalhe 1:10.000 (Figura 3).

A segunda etapa compreendeu a análise dos dados obtidos por meio da utilização de planilhas eletrônicas e da confecção de mapas iniciais de declividade e altimetria, utilizando o *Software ArcGis 10.1* (ESRI, 2016).

Por fim, a terceira etapa do trabalho envolveu a confecção dos mapas que indicam as áreas de suscetibilidade e risco de inundação do Rio Uruguai no município de São Carlos Santa Catarina, utilizando-se adaptações das metodologias propostas por Prina e Trentin (2014), Hora e Gomes (2009) e Brasil (2007c).

Para apoio ao zoneamento foi avaliado inclusive, o evento de inundação excepcional ocorrido em junho de 2014 no Rio Uruguai, de forma enquadrar a ocorrência na classificação de susceptibilidade e risco proposta para área de São Carlos.

Figura 3 - Metodologia utilizada e atividades desenvolvidas para a elaboração dos mapas de suscetibilidade e risco de inundação do Rio Uruguai no município de São Carlos- SC



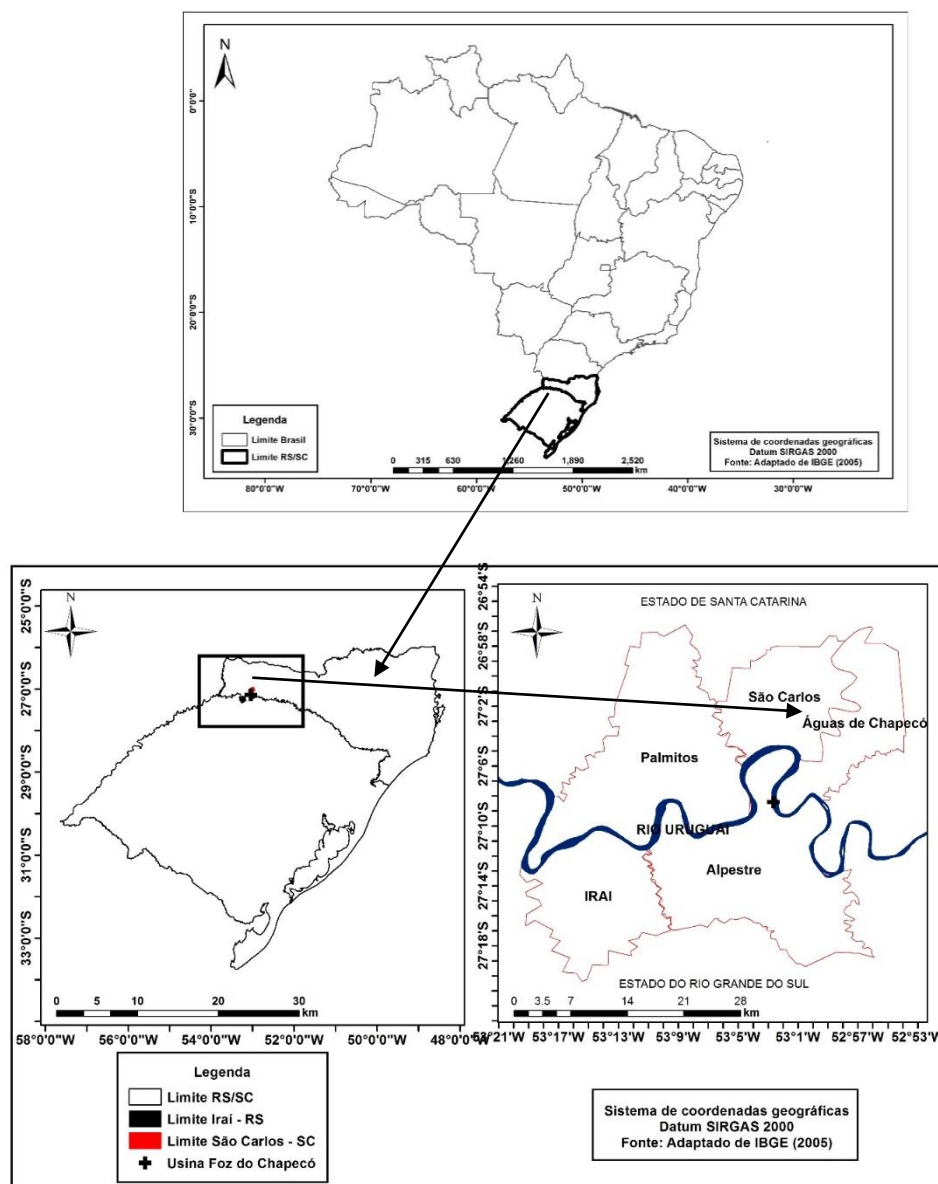
Fonte: O Autor.

4.1 POPULAÇÃO E OCUPAÇÃO TERRITORIAL DE SÃO CARLOS-SC

A área de estudo está localizada no município de São Carlos, oeste do estado de Santa Catarina (Figura 4), na margem direita do Rio Uruguai e à jusante da UHE

Foz do Chapecó, ocupando uma área territorial de 161,292 km², com uma população de 10.291 habitantes em 2010, e uma estimativa de população, para o ano de 2016, de 11038 habitantes (IBGE, 2010).

Figura 4 - Localização do município de São Carlos-SC



Fonte: Construído a partir de IBGE (2005).

A colonização do município, de maneira geral se deu por descendentes de alemães vindos do Rio Grande do Sul, ocorrendo a emancipação política do

município em 1954. A renda do município gira em torno da produção agrícola, sendo que o setor gera 73% da renda total. A maior parte dessa contribuição é produzida pela atividade de suinocultura. Além disso, o município tem grande potencial turístico devido à presença de águas termais e conta, ainda, com uma fonte de arrecadação oriunda de atividade industrial, do setor de corte e costura (IBGE, 2010).

A UHE Foz do Chapecó faz fronteira entre o extremo norte do estado do Rio Grande do Sul e o oeste de Santa Catarina, funcionando a “fio d’água”. A casa de força, onde as unidades geradoras estão abrigadas, fica totalmente localizada em Alpestre. O eixo da barragem encontra-se nas coordenadas geográficas 27° 08’ 22,75” de latitude sul e 53° 02’ 50,59” de longitude oeste. A UHE forma um reservatório de 79,2 km², dos quais 40,0 km² correspondem à própria calha do rio Uruguai e os demais 39,2 km² foram inundados para a formação do lago. A barragem tem 598 m de extensão e 48 m de altura (Figura 2) e as cotas de nível variam em, no máximo, um metro, sendo o nível máximo normal de 265 m em relação ao nível médio do mar, e o nível mínimo operacional de 264 m (FOZ DO CHAPECÓ ENERGIA S.A., 2015).

Para a elaboração do mapa de uso e ocupação do solo, foram digitalizados os dados espaciais (polígonos) representativos das manchas de vegetação e das áreas homogêneas (formas de ocupação). As técnicas utilizadas nesse procedimento foram as de fotointerpretação de imagens do Google Earth (GOOGLE, 2016), geoprocessamento e consistência de dados mediante a pesquisa de campo.

A classificação utilizada em este estudo baseia-se na definição de áreas consolidadas e áreas não consolidadas ou subnormais. Sendo consideradas como áreas consolidadas, aquelas densamente ocupadas e com infraestrutura básica que caracterize como local habitado, enquanto que as áreas não consolidadas ou subnormais se caracterizam os locais de zonas não habitadas, onde predomina a cobertura vegetal ou pequenas plantações.

Os dados sobre classes de tipologias de infraestrutura das áreas ocupadas, foram obtidas mediante fontes secundárias, constantes no Plano Diretor Municipal e publicadas pelo IBGE (IBGE, 2010). Para confirmação dos dados, as tipologias das habitações foram identificadas com auxílio da ferramenta “Street View” do programa Google Earth. Em algumas habitações em que não foi possível a identificação de tipologia através desta ferramenta, as informações foram obtidas em visita a campo.

Em seguida foram coletadas as coordenadas de localização com a criação de um ponto no Google Earth.

Uma metodologia semelhante para contagem em imagens de satélite e fotografias aéreas foi também utilizada por Reckziegel, Cristo e Robaina (2006), quando contaram as moradias em situação de risco geomorfológico associado à dinâmica fluvial na Vila Urlândia, município de Santa Maria/RS.

O mapeamento com a estimativa do número de residências e de habitantes dos distintos setores, foi gerado a partir dos valores referentes aos setores censitários (IBGE, 2010). Assim, a partir da análise de cada setor, foi obtida uma média que retrata a sua densidade habitacional e populacional.

Por meios dos valores de densidade populacional e habitacional foi possível estimar a quantidade de domicílios e pessoas que são atingidas pelas cheias do rio Uruguai para cada tipo de uso e ocupação e por tempo de recorrência das inundações.

A classificação da vulnerabilidade das tipologias foi realizada através da atribuição de valores de acordo com o padrão construtivo das moradias. Os valores variam de 0 a 1, sendo que o maior valor, ou seja, um (1) representa a situação de maior vulnerabilidade da habitação com relação aos danos causados pelo fenômeno de inundação.

Conforme sugerido por Hora e Gomes (2009), às tipologias habitacionais predominantemente de alvenaria de blocos foram atribuídos valores de vulnerabilidade igual a 0,50. Quando presentes, às tipologias mistas de alvenaria e madeira, apresentam valores de 0,75. Por fim, as áreas que apresentam tipologias habitacionais predominantemente de madeira possuem vulnerabilidade igual a 1, isto é, se constituem em alto risco.

Valores baixos de vulnerabilidade (0,05) foram associados às tipologias de vegetação ciliar, gramíneas, áreas de cultivo e pastagens, que apesar de não apresentarem habitações receberam este valor em função da utilização destas áreas para a plantação de hortaliças, que são empregadas tanto para o consumo próprio, como para a geração de renda. No caso da área urbana, já consolidada, foi atribuída uma vulnerabilidade média, de 0,5.

O mapa de ocupação urbana do município, foi obtido de forma direta, junto a equipe de engenharia da Prefeitura Municipal de São Carlos-SC, em formato digital.

A partir dessa base foi possível identificar a área Urbana, ruas, estradas, área rural e parte da hidrografia.

4.2 SÉRIES HISTÓRICAS DE COTA DE NÍVEL DE ÁGUA DO RIO URUGUAI

De acordo com Oliveira(2013), o Tempo de recorrência (TR), também chamado de frequência de probabilidade ou Tempo de Retorno, é considerado, como sendo o tempo médio em anos no qual um determinado evento de precipitação ou inundação seja igualado ou superado (OLIVEIRA, 2013).

Visando realizar análise do Tempo de Retorno (TR) das cheias do Rio Uruguai na área de estudo, foram coletados dados históricos de cotas do nível d'água do Rio Uruguai das estações de Iraí (a jusante do município de São Carlos) e Barra do Chapecó Auxiliar (Divisa entre São Carlos-SC e Águas de Chapecó-SC) (ANA, 2016).

Dados de cotas de nível do Rio Uruguai e da vazão, também disponibilizados em meio digital pela FOZ DO CHAPECÓ ENERGIA SA (2016). Em atendimento à Resolução Conjunta ANA/ANEEL nº 03/2010 (BRASIL, 2010), a rede telemétrica instalada, associada à UHE Foz do Chapecó, é composta por três estações fluviométricas, três estações pluviométricas, duas estações sedimentométricas e uma limnimétrica, todas elas telemétricas. Neste estudo, foram utilizados dados de duas estações fluviométricas (73970000 e 74100000) e da estação limnimétrica (74040080), conforme o Quadro 1. Essas estações (Figura 5) apresentam dados que são registrados de hora em hora e são arquivados na estação de controle da UHE Foz do Chapecó e também no sistema Hidroweb (ANA, 2016) (Quadro 1).

Quadro 1 - localização das estações de monitoramento utilizadas na análise fluviométrica, do Rio Uruguai, na região de São Carlos/SC

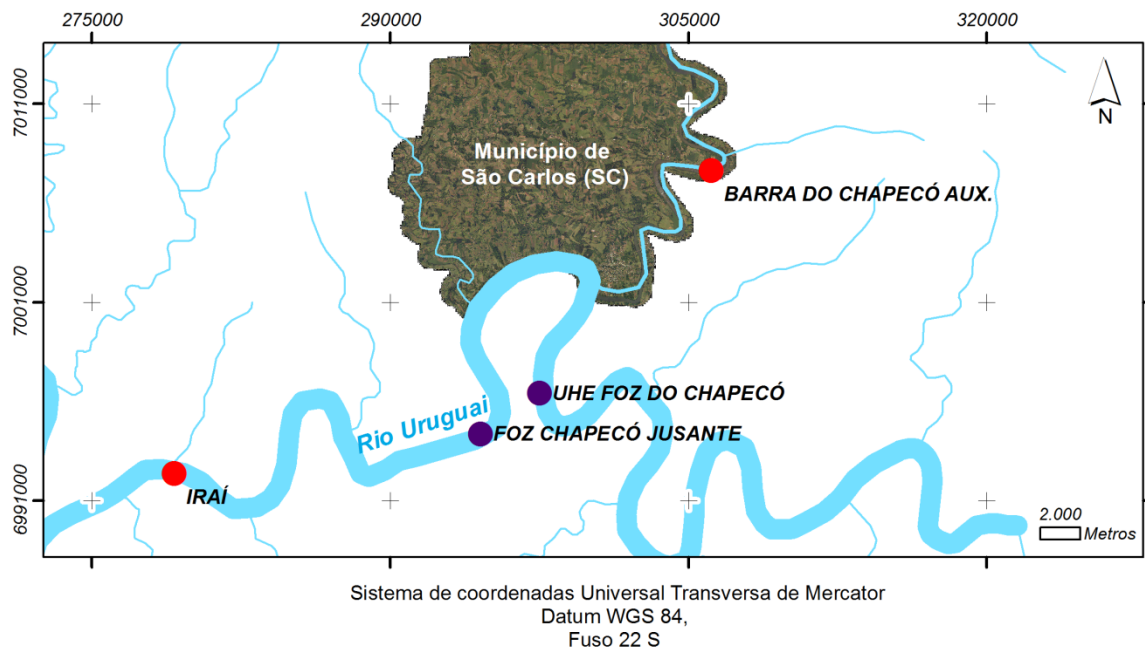
Tipo de estação	Estação	Código (ANA)	Rio	Município	Intervalos de dados
Fluviométrica	Barra do Chapecó Auxiliar	73970000	Chapecó	São Carlos-SC	1952 a 2016
Fluviométrica	Iraí	74100000	Uruguai	Iraí-RS	1941 a 2016
Limnimétrica	UHE Foz do Chapecó	74040080	Uruguai	Alpestre-RS	2010 a 2016

	Barramento				
Limnimétrica	Foz do Chapecó Jusante	-	Uruguai	Alpestre-RS	2010 a 2-16

Fonte: O Autor.

Foram baixados esses dados para a geração de tabelas e gráficos em planilhas eletrônicas, para possibilitar o processamento e análise dos dados.

Figura 5 - Localização das Estações de Monitoramento da ANA e da UHE Foz de Chapecó, localizadas à montante e à jusante do município de São Carlos (SC)

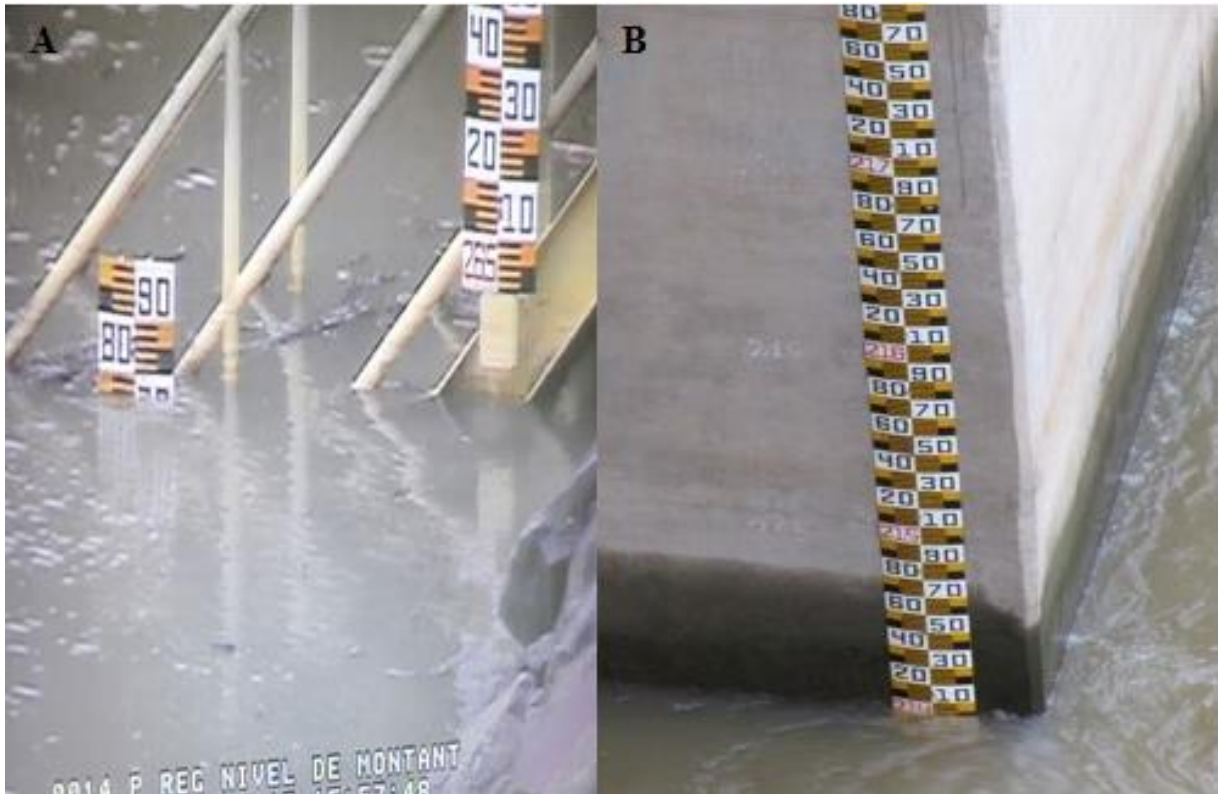


Fonte: Construído a partir de informações disponibilizadas pela Secretaria de Desenvolvimento Social do Estado de Santa Catarina

Fonte: Construído a partir de ANA (2016) e SDS (2016).

Além dessas estações de monitoramento, réguas para medição do nível da água foram instaladas e são monitoradas pela empresa Foz do Chapecó Energia SA, no reservatório da barragem e à jusante do mesmo (Figura 6), tendo dados coletados a partir de 2010.

Figura 6 - (a) Régua de medição de cotas de nível no interior do reservatório (b) Régua de medição de cotas de nível d'água de jusante



Fonte: Arquivo pessoal Mancuso M.A. (2016).

4.2.1 Estações Fluviométricas Barra do Chapecó Auxiliar e Iraí

Localizada a uma latitude de $27^{\circ}05'56''$ a Sul e longitude de $53^{\circ}00'01''$ a Oeste e cadastrada no Sistema *Hidroweb* (ANA, 2016) com o número 73970000, a estação Barra do Chapecó Auxiliar está instalada na margem do Rio Chapecó e possui dados diários de nível da água do Rio Chapecó desde 1952 até o ano de 2016. A estação apresenta dados com nível de consistência 1, somente após 2006.

A estação Fluviométrica de Iraí-RS, cadastrada no sistema eletrônico "*Hidroweb*" com o número 74100000 possui constância e atualização da base de

dados. É possível obter cotas diárias do nível da água do Rio Uruguai, para o período compreendido entre os anos de 1941 e 2016.

A estação fluviométrica está localizada a uma latitude de 27°10'24.73"S S e longitude de 53°13'44.92"O, de acordo com o sistema *hidroweb* (ANA, 2016).

4.3 MODELO DIGITAL DO TERRENO

Levantamentos aerofotogramétricos realizados entre os anos de 2010 e 2013 pelo Governo do Estado de Santa Catarina originaram as cartas topográficas na escala 1:10.000, a partir das quais foi gerado o Modelo Digital do Terreno (MDT) para o município de São Carlos-SC. As mesmas possuem curvas de nível na equidistância de 1 metro e encontram-se disponíveis em formato analógico, na defesa civil e em banco de dados da Secretaria do Estado de Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDS-SC).

O MDT foi disponibilizado em formato digital, após visita ao município de São Carlos-SC, com o profissional do Corpo de Bombeiros do município, que é responsável pela Defesa Civil. O Levantamento aerofotogramétrico teve por finalidade servir para o planejamento costeiro, urbano e rural; avaliação ambiental integrada; efeito de mudanças climáticas; estudos de potencial hidroelétrico; delimitação de zonas de risco em áreas atingidas pelas enchentes e realocação de moradias; qualificação de medidas de proteção ao meio ambiente; planejamento de ocupação e de construção de estradas, entre outras finalidades (SDS, 2013).

O MDT foi utilizado para a geração de distribuição da hipsometria e das declividades da área.

Para a elaboração do mapa de zonas de altitude de inundação (hipsometria) foi utilizada a função "*Raster to Polygon*" do software *ArcGis* ESRI, (2016). As zonas de altitude de inundação foram selecionadas de acordo com as cotas de cheias, considerando os tempos de retorno de 2, 5, 10, 20 e 74 anos.

O mapa de declividade foi gerado a partir do MDT, utilizando a ferramenta "*Slope*", do aplicativo *ArcGis* (ESRI, 2016). Para área estudada e em função da escala de trabalho, foram estabelecidas 4 classes de declividade. As classes foram definidas de acordo com os intervalos indicados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do estado de São Paulo (IPT, 1981), (Quadro 2) o qual define 4 classes de declividade: <2%, de 2 a 5%, de 5 a 15% e >15%, conforme descrito por

Trentin e Robaina (2005). As declividades menores que 2% correspondem, em grande parte, as áreas planas em zonas de baixadas e referentes aos topos de morros e colinas. Enquanto que as declividades superiores a 15% estão associadas às áreas de encostas do relevo e ao corte do barranco do rio Uruguai.

Quadro 2 - Descrição das declividades e seus respectivos intervalos.

Classes	Descrição
< 2%	Áreas muito planas, e quando estão localizadas próximas as redes de drenagem ficam sujeitas a inundação (TRENTIN e ROBAINA, 2005).
2 – 5%	Áreas planas, características de processos de deposição de sedimentos (TRENTIN e ROBAINA, 2005).
5 – 15%	Áreas onduladas com processos de dinâmica superficiais erosivos moderados a acentuado (TRENTIN e ROBAINA, 2005).
> 15%	Declividade com áreas propícias à ocorrência de escorregamentos e movimentos de massa (TRENTIN e ROBAINA, 2005).

Fonte: Prina e Trentin (2014).

O cruzamento entre as cartas de declividade e de altitude foi realizado utilizando o *Software ArcGis 10.1* (ESRI, 2016).

4.4 CÁLCULO DO TEMPO DE RETORNO DE EVENTOS DE CHEIAS

Para o cálculo dos tempos de retorno das cheias do Rio Uruguai na área de estudo, foram analisadas séries de cotas diárias de nível da água do Rio Uruguai observadas na estação de Iraí no período de 1941 a 2016 (ANA, 2016).

Entende-se como Tempo de Retorno (T) o inverso da probabilidade (p) e representa o tempo, em média que um evento tem chance de se repetir. As cotas máximas anuais do período de 1941 a 2015 foram identificadas e, calculada a probabilidade de ocorrência dos níveis em 74 anos, conforme a Equação 1 a seguir (TUCCI, 2003).

$$TR = \frac{1}{p}$$

(1)

Onde:

TR = Tempo de Retorno

P = Probabilidade de ocorrência.

Os tempos de retorno selecionados para avaliar o risco de inundação foram de 2, 5, 10, 20 e 74 anos, por apresentarem níveis de elevação significativos, adaptando-se a metodologia utilizada por Hora e Gomes (2009).

O município de São Carlos não possui estação fluviométrica que permita a consistência dos dados, ou que possibilite a análise de tempo de retorno das cheias do Rio Uruguai na área de estudo. Após a interpolação de valores, foram utilizados os dados da estação Barra do Chapecó auxiliar, que está localizada à montante da área de estudos, a partir do ano de 2010, para analisar a correlação estatística entre o nível da água do rio observado nessa estação e os dados de cota de nível do Rio Uruguai observados na estação Fluviométrica de Iraí, localizada à jusante da área de São Carlos.

A correlação foi avaliada utilizando o programa *Action* (Estatcamp, 2016) a partir da ferramenta “*correlation*”. A análise de correlação estatística aplicada foi o coeficiente de Pearson ao nível de 5 % de probabilidade. A interpretação dos dados de correlação foi realizada de acordo com os valores propostos por Dancey e Reidy (2013). Assim, os valores de p foram classificados como correlação fraca para valores de “ p ” entre 0,10 e 0,30, moderada para r entre 0,40 e 0,60 e forte para valores de r entre 0,70 e 1,00. Considerando, pontos locados em campo com auxílio de *GPS* indicando os locais em que o nível d’água do Rio Uruguai atingiu São Carlos durante a cheia de 2014, a cota topográfica desses pontos obtida no MDT e a elevação observada na Estação fluviométrica de Iraí na mesma data, foi definida a altura do Rio Uruguai na área de estudo e o nível de base para estimativa das cotas de cheia do rio no município de São Carlos. A partir do nível de cheia de 2014, e com base nas diferentes alturas de água calculadas para os tempos de retorno de 2, 5, 10, 20 e 74 anos na estação de Iraí, foram estimadas as cotas de inundação dos respectivos tempos de retorno, em São Carlos.

Com a ferramenta “*raster calculator*” do programa *ArcGis*, foi possível gerar o mapa de Altura da Inundação, calculada pela diferença entre a cota da TR resultante da análise hidrológica do Rio Uruguai e a respectiva Topografia, obtida a partir do MDT.

4.5 MAPA DE SUSCETIBILIDADE

Para a elaboração do mapa de suscetibilidade à inundação foram utilizados os mapas de declividade e o de zoneamento hipsométrico, considerando intervalos de altitudes com base nos cálculos do tempo de recorrência das inundações.

O mapa hipsométrico (com curvas de nível de metro a metro) foi utilizado para o zoneamento de altitudes das áreas afetadas pelas cheias, de acordo com intervalos altimétricos definidos em: Classe I para TR \leq 2 anos; Classe II para TR de 2 a 10 anos; Classe III para TR de 10 a 20 anos; Classe IV para TR de 20 a 74 anos; e Classe V para as áreas do município com cotas superior à cota indicada pela TR de 74 anos.

A partir do zoneamento de declividades em quatro classes (item 4.3) e do zoneamento de intervalos altimétricos foi gerado o mapa de Suscetibilidade à inundação do Rio Uruguai na área de estudo do município de São Carlos (Quadro 2).

O mapa de suscetibilidade apresenta zoneamento com 5 classes, sendo estas: Muito Alta Suscetibilidade, Alta Suscetibilidade, Média Suscetibilidade, Baixa Suscetibilidade e Suscetibilidade Desconsiderada, adaptando a metodologia utilizada por Prina e Trentin (2014), uma vez que esses autores utilizam o método estatístico do quartil para subdividir as áreas do mapa de hipsometria, e neste trabalho as áreas foram subdivididas de acordo com as cotas de nível topográficas atingidas em diferente Tempos de Recorrência de eventos de inundação.

Mediante o uso ferramenta “*Union*” do aplicativo *ArcGis* (ESRI, 2016) foi realizado o cruzamento entre os mapas de altitude e de declividade. Assim, foram considerados suscetíveis à inundação as 4 primeiras classes da altimetria e 3 classes de declividade (Classes I, II e III). Para elaboração do zoneamento de suscetibilidade à inundação do Rio Uruguai no município de São Carlos foram consideradas quatro classes, conforme o Quadro 3, com adição de uma quinta classe denominada “Suscetibilidade desconsiderada”, a qual abrange a área não incluída nas classes anteriores.

Quadro 3 - Classificação de suscetibilidade à inundação do Rio Uruguai no município de São Carlos

	Altitude (TR ≤ 2) Classe I	Altitude (TR 10) Classe II	Altitude (TR 20) Classe III	Altitude (TR 74) Classe IV	Área Restante (TR >74)
Declividade (<2%) Classe I	Muito Alta Suscetibilidade	Alta Suscetibilidade	Média Suscetibilidade	Baixa Suscetibilidade	<i>Suscetibilidade desconsiderada</i>
Declividade (2%-5%) Classe II	Alta Suscetibilidade	Média Suscetibilidade	Baixa Suscetibilidade	Baixa Suscetibilidade	
Declividade (5%-15%) Classe III	Média Suscetibilidade	Baixa Suscetibilidade	Baixa Suscetibilidade	Baixa Suscetibilidade	
Declividade (>15%) Classe IV	<i>Suscetibilidade desconsiderada</i>				

Fonte: Adaptado de Prina e Trentin (2014).

Empregou-se a ferramenta “Merge”, do ArcGis, para o zoneamento das cinco classes de suscetibilidade e cálculo final das respectivas áreas.

4.6 MAPA DE RISCO À INUNDAÇÃO

Segundo Hora e Gomes (2009), a identificação e diagnóstico de áreas de risco através da cartografia, tem surgido através do desenvolvimento de diversas metodologias que em geral três diferentes aspectos sobre as áreas: os geológicos (litologia), os geomorfológicos (declividade, hipsometria, etc.) e os de uso e ocupação do solo (tipologias de ocupação, tipos de vegetação etc.).

Após a análise de cheias com diferentes tempos de recorrência (TR2, TR5, TR10, TR20, TR74), especializadas a partir do mapa de hipsometria, e do

cruzamento dessas áreas com as características de uso e ocupação do solo através de equação com atribuição de pesos para cada variável, foi possível gerar elementos de análise para a definição do risco de inundação do trecho em estudo. A avaliação de risco resulta da combinação da componente natural e da componente antrópica (HORA E GOMES, 2009). A componente natural está associada aos efeitos de fatores naturais, demarcado pelos diferentes tempos de recorrência do fenômeno. A segunda componente reflete riscos decorrentes da ocupação antrópica, isto é, envolve variáveis da atividade humana que agravam os fatores naturais em virtude da interação que ocorre entre ambos.

No que se refere à classificação de áreas de risco em função do grau de probabilidade de ocorrência dos eventos e das características de uso e ocupação do solo, foi adotada a seguinte classificação: grau de risco Muito Alto - Extremo, Muito Alto, Alto, Médio ou Baixo (Tabela 1). A metodologia sugerida pelo Ministério das Cidades (BRASIL, 2007c) foi adaptada à região de estudo, para a elaboração do mapeamento de risco à inundação, inserindo-se na classificação de graus de risco a frequência de ocorrência de eventos de inundação, considerando a situação atual e possibilidades futuras de uso e ocupação do solo das áreas ribeirinhas.

Tabela 1 - Classificação de diferentes graus de risco de inundação

Grau de probabilidade	Características da área
Risco Muito Alto - Extremo	Drenagem ou compartimentos de drenagem sujeitos a processos com alto poder de causar danos, principalmente sociais, alta frequência de ocorrência (TR < 2) e envolvendo moradias.
Risco Muito Alto	Drenagem ou compartimentos de drenagem sujeitos a processos com alto poder de causar danos e alta frequência de ocorrência (TR < 2).
Risco Alto	Drenagem ou compartimentos de drenagem sujeitos a processos com alto potencial de causar danos, média frequência de ocorrência (TR 2 a TR 5) e envolvendo moradias.
Risco Médio	Drenagem ou compartimentos de drenagem sujeitos a processos com médio potencial de causar danos e média frequência de ocorrência (TR 2 a TR 5).
Risco Baixo	Drenagem ou compartimentos de drenagem sujeitos a processos com baixo potencial de causar danos e baixa frequência de ocorrência (TR > 5)

Fonte: Adaptado de Brasil (2007c) e Hora e Gomes (2009).

Na classificação proposta, foi acrescido o grau de probabilidade de Risco Muito Alto – Extremo, de forma a identificar às áreas com elevada frequência de ocorrência de inundação ($TR > 2$) com moradias, diferenciando-as das áreas com igual grau de probabilidade de ocorrência de eventos, mas sem moradias (Risco Muito Alto).

Uma outra metodologia utilizada, que permite a quantificação do Risco à Inundação, foi adaptada do método de classificação de diferentes graus de Risco de Inundação proposto por Hora e Gomes (2009) (Equação 2):

$$\text{Risco à Inundação} = \Sigma(TR) * \{(Vulnerabilidade da Tipologia) * \{((\text{Altura da Inundação} * P1) + (\text{Densidade Populacional} * P2) + (\text{Densidade de Habitações} * P3)) / \Sigma P\}\}$$

Onde:

- TR = Tempo de Retorno (anos) probabilidade de recorrência da inundação, sendo representado por: TR2 = 0,5 (dois anos), TR5 = 0,2 (cinco anos), TR10 = 0,1 (dez anos), TR20 = 0,05 (vinte anos) TR74 = 0,013 (setenta e quatro anos);
- Vulnerabilidade da Tipologia = valor de vulnerabilidade das tipologias habitacionais;
- Altura da Inundação = Danos associados à altura da lâmina d'água;
- Densidade Populacional = Valores de densidade populacional;
- Densidade Habitacional = Valores de densidade habitacional;

Os valores P1, P2 e P3 são pesos atribuídos aos valores de Altura de Inundação, Densidade Populacional e Densidade Habitacionais sendo, respectivamente 2, 5 e 3 seguindo os mesmos valores aplicados por Hora e Gomes (2009).

O mapa de risco à inundação foi produzido mediante o uso do software ArcView (ESRI, 2016) onde foram elaborados os arquivos em *Shapefile* da vulnerabilidade da tipologia (item 4.1); altura da inundação para TR2, 5, 10, 20 e 74 (definida pela diferença entre a cota de inundação para a respectiva TR e a topografia) (itens 4.4 e 4.3 respectivamente); densidade habitacional (item 4.1) e densidade populacional (item 4.1).

O número de habitações foi definido a partir da contagem manual das moradias registradas em imagens aéreas digitais, no programa *Google Earth* (Google, 2016) e das imagens fornecidas pela defesa civil do município, obtidas no levantamento aerofotogramétrico realizado entre os anos de 2010 e 2013 pelo Governo do Estado de Santa Catarina (SDS, 2013). Para o mapeamento das habitações, foi considerada como área ocupada pela habitação, a área de um círculo (polígono, em *ArcGis*) de raio de 15 metros a partir do centro da casa.

O número de habitantes foi estimado em 3,17 indivíduos por moradia, a partir da aproximação do cálculo da média de habitantes por moradia, obtida com o censo do IBGE (IBGE, 2010).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após definida a zona de abrangência dos eventos de inundação ocorridos nas margens do Rio Uruguai, de forma a limitar o estudo e a análise cartográfica à área efetivamente afetada pelas cheias do rio no âmbito do município, resultaram da análise hidrológica, as cotas utilizadas no zoneamento dos tempos de retorno das cheias para: 2, 5, 10, 20 e 74 anos.

Após definida a área total afetada pelas cheias com probabilidade de tempo de retorno de até 74 anos, foram produzidos como resultados as seguintes análises e elementos cartográficos: mapa de uso e ocupação territorial (incluindo a estimativa do número de habitantes e de moradias, com a respectiva tipologia); mapa de declividade e de classes altimétricas (a partir da análise hidrológica e do MDT); e mapa de altura da inundação (a partir da análise hidrológica e do MDT).

Os elementos, uma vez cartografados, possibilitaram o cruzamento de dados para a elaboração dos mapas de suscetibilidade e de risco à inundação do Rio Uruguai, no município de São Carlos.

A seguir, descrevem-se os resultados obtidos em cada uma dessas etapas.

5.1 ANÁLISE DE SÉRIES HISTÓRICAS DAS INUNDAÇÕES DO RIO URUGUAI E CÁLCULO DO TEMPO DE RECORRÊNCIA

A análise hidrológica de frequência de cheias foi realizada mediante o uso de planilhas eletrônicas. Foram utilizados para a análise hidrológica dados da Estação de Iraí, por estar localizada no Rio Uruguai (à jusante de São Carlos) e apresentar monitoramento com extenso registro de nível d'água do rio (74 anos de registro) e melhor nível de consistência dos dados de 1941 a 2006, com nível de consistência 2, de 2007 a 2015 com nível de consistência 1).

A estação de Barra do Chapecó Auxiliar apresentou dados de 1972 a 2015 (de 1972 a 2006 com nível de consistência 2 e de 2006 a 2015 com nível de consistência 1). A estação, entretanto, se encontra localizada no rio Chapecó, a uma altitude de 216,7 m, estando 16,2 m acima da Estação Fluviométrica de Iraí. Considerando a diferença de altitude e a influência direta do regime hidrológico da bacia do rio Chapecó nos níveis d'água registrados, os dados da estação foram

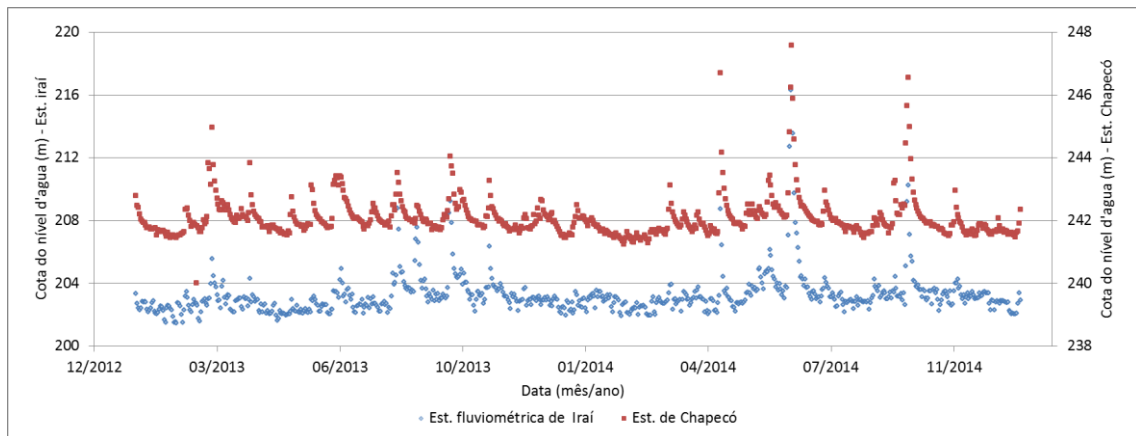
utilizados para avaliar a correlação entre as elevações de níveis máximos anuais observados nas estações de Barra do Chapecó Auxiliar e de Iraí.

A análise estatística realizada entre os dados fluviométricos de nível d'água das estações Barra do Chapecó Auxiliar e Iraí, indicou forte correlação estatística, de acordo com Dancey e Reidy (2013), visto que apresentou um valor de " p " de 0,79.

Considerando esses resultados, foi realizada a análise de Tempo de Recorrência das cheias do Rio Uruguai observadas na estação de Iraí para uma probabilidade de ocorrência a cada 2 (TR2), 5 (TR5), 10 (TR10), 20 (TR20) e 74 anos (TR74) (Apêndice 1).

A análise de correlação, para aferição da consistência dos dados observados na estação de Iraí, também foi realizada entre os dados de nível d'água do rio Uruguai observados na estação fluviométrica de Iraí e os medidos na régua localizada à jusante da UHE Foz do Chapecó (localizada 1 Km aproximadamente, à montante da cidade de São Carlos). A correlação compreendeu dados coletados no período de outubro de 2013 a outubro de 2014 (Figura 7), o resultado também indicou forte correlação entre os níveis d'água ($p = 0,8$), de acordo com a metodologia aplicada.

Figura 7 - Cotas de nível da água do Rio Uruguai observadas na estação fluviométrica de Iraí (da ANA) e na estação localizada à Jusante da UHE Foz do Chapecó (monitorada pela UHE Foz do Chapecó)



Fonte: O Autor.

Os resultados da análise hidrológica dos tempos de retorno das cheias, realizada para os dados coletados na estação fluviométrica de Iraí indicaram as seguintes alturas de inundação: 8 m para TR2, 10,90 m para TR5; 12 m para TR10; 15,6 m para TR20; 17,70 m para TR74 (Apêndice 1).

Considerando o levantamento das cotas da inundação de 2014, com localização de pontos no limite da área inundada a partir do uso de GPS, a estimativa da cota topográfica atingida por essa cheia (229,7 m obtida no MDT), foram calculadas as cotas das inundações na área de estudo, sendo estas de: 224,7 m para TR2, 227,6 m para TR5; 228,8 m para TR10; 232,3 m para TR20; e 234,4 m para TR74 (Tabela .2).

No que se refere à área afetada pelas inundações, do total de 4,194 km² da área, as inundações com probabilidade de ocorrência de até 2 anos representam a maior parcela da área afetada (31,5 %), as inundações com probabilidade de ocorrência a cada 20 anos representam (25,4 %), seguida pelas áreas com TR de 5 e 74 anos (16,5 % e 17,7 %).

As áreas afetadas por inundações com TR de 10 anos abrangem uma área consideravelmente menor, de 9 % do total, atingindo 0,376 km².

Tabela 2 - Áreas inundadas pelo Rio Uruguai no município de São Carlos em cheias com Tempo de Retorno de 2, 5, 10, 20 e 74 anos

Tempo de Retorno	Rio Uruguai		Área (km ²)	Área (%)
	Nível d'Água (m)	Cota do Nível d'Água (m)		
TR2	8,0	224,7	1,320	31,5%
TR5	10,9	227,6	0,690	16,5%
TR10	12,0	228,8	0,376	9,0%
TR20	15,6	232,3	1,067	25,4%
TR74	17,7	234,4	0,741	17,7%

Fonte: O Autor.

5.2 POPULAÇÃO E OCUPAÇÃO TERRITORIAL DE SÃO CARLOS-SC

Dois bairros do município de São Carlos (SC) são os que apresentaram áreas atingidas pela inundação no ano de 2014, o Bairro Olaria e o Bairro Águas do Prata, além da faixa ribeirinha ao Rio Uruguai localizada em área rural, mas que possui habitações localizadas em zonas com possibilidades de cheias do rio de até TR74 anos. Dessa forma, foram identificadas as habitações e a ocupação do solo em toda a zona afetada pelas cheias do Rio Uruguai com o maior Tempo de Retorno já observado (TR 74 anos). Nessa área foram identificadas 301 imóveis, sendo 72 construções de madeira, 26 construções mistas e 203 de alvenaria (Figuras 8 e 9).

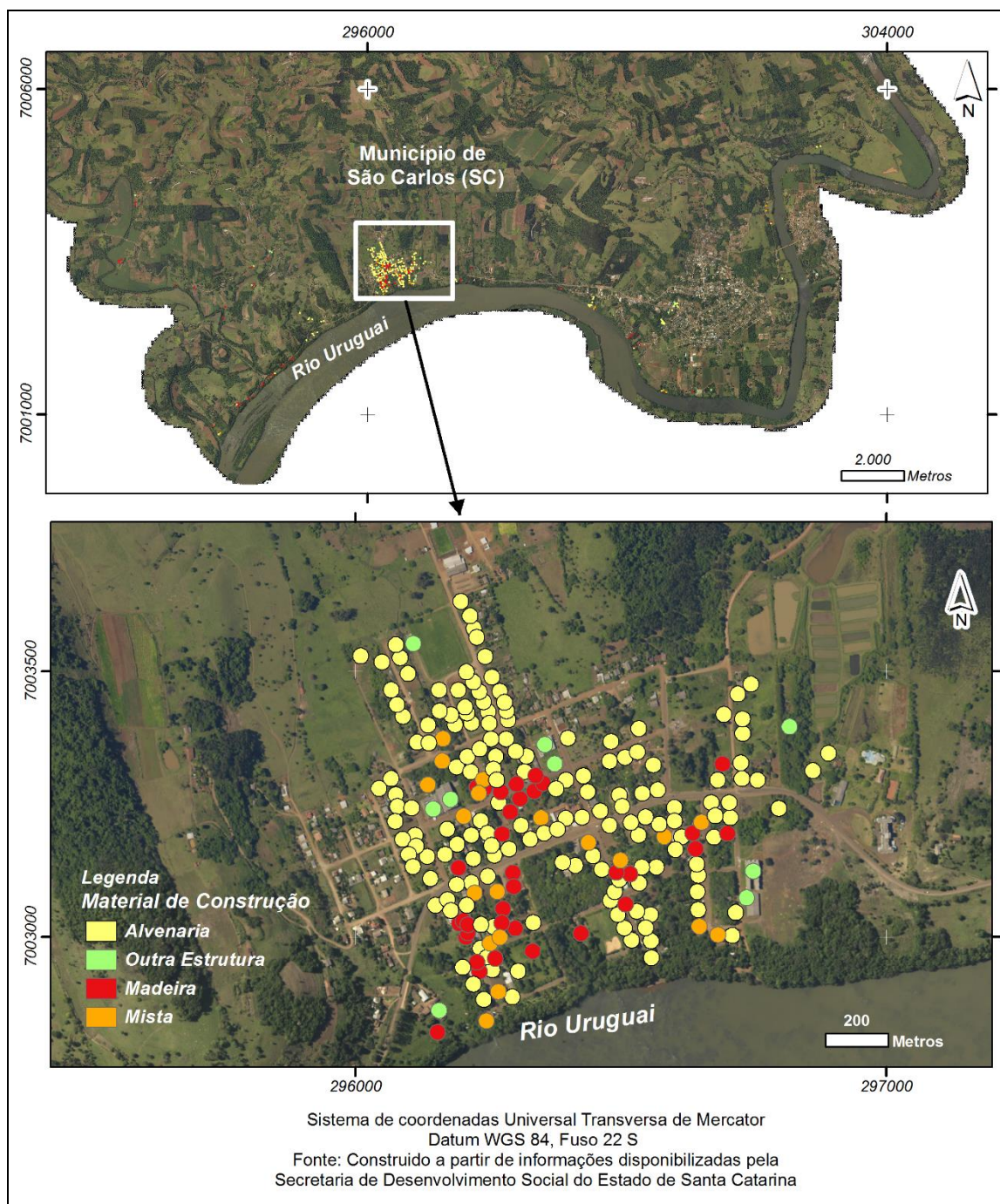
No último censo realizado IBGE (2010), não foram consideradas construções mistas, sendo que de 3243 domicílios ocupados avaliados no município de São Carlos, foram considerados 1944 como sendo de alvenaria e 1298 como sendo de madeira, predominando as construções de alvenaria. A densidade demográfica calculada pelo IBGE (2010) é de 63,80 Hab/Km².

Figura 8 - Identificação da tipologia das construções na área de estudo no programa Google Earth



Fonte: Google (2016).

Figura 9 - Localização de cada habitação identificada



Fonte: Construído a partir de SDS (2013).

A Tabela 3 destaca que uma grande quantidade das unidades habitacionais (106) estão localizadas no perímetro atingido por inundações de um Tempo de Retorno de até 10 a 20 anos e que a zona que concentra o menor número de unidades é aquela com probabilidade de ocorrência de inundação entre 5 e 10 anos, abrangendo 33 habitações.

Tabela 3 - Tipologia das habitações construídas nas cotas topográficas atingidas por inundações de diferentes Tempos de Retorno

Tempo de Retorno	Tipologia das Habitações						TOTAL N° Unidades
	Madeira		Mista		Alvenaria		
	N° Unidades	(%)	N° Unidades	(%)	N° Unidades	(%)	
TR2	19	42,2%	6	13,3%	20	44,4%	45
TR5	11	26,2%	3	7,1%	28	66,7%	42
TR10	11	33,3%	5	15,2%	17	51,5%	33
TR20	24	22,6%	12	11,3%	70	66,0%	106
TR 74	7	9,3%	0	0,0%	68	90,7%	75
TOTAL	72	23,9%	26	8,6%	203	67,4%	301

Fonte: O Autor.

Considerando-se os 3243 domicílios ocupados e a população contabilizada em 10291 habitantes no último recenseamento (IBGE, 2010), obtém-se uma média de 3,17 habitantes por domicílio ocupado. Aplicando-se esta média para os 301 domicílios identificados na área de estudo (sendo esta definida pelo limite máximo atingido por inundação com probabilidade de tempo de retorno de 74 anos), obtém-se uma estimativa de 954 pessoas que podem vir a ser afetadas devido às inundações na área (Tabela 4). Mais de 40 % da população afetada por cheias na área com probabilidade de inundação em até 2 anos, está instalada em habitações de alvenaria, o que diminui a vulnerabilidade das famílias. A maior parte das moradias de madeira está localizada na área propensas a inundação com tempo de recorrência entre 10 e 20 anos).

Tabela 4 - Tipologia das habitações construídas nas cotas topográficas atingidas por inundações de diferentes Tempos de Retorno

Tempo de Retorno	Nº de Habitantes por Tipologia das Habitações			
	Madeira	Mista	Alvenaria	TOTAL
TR2	60	19	63	143
TR5	35	10	89	133
TR10	35	16	54	105
TR20	76	38	222	336
TR 74	22	0	216	238
TOTAL	228	82	644	954

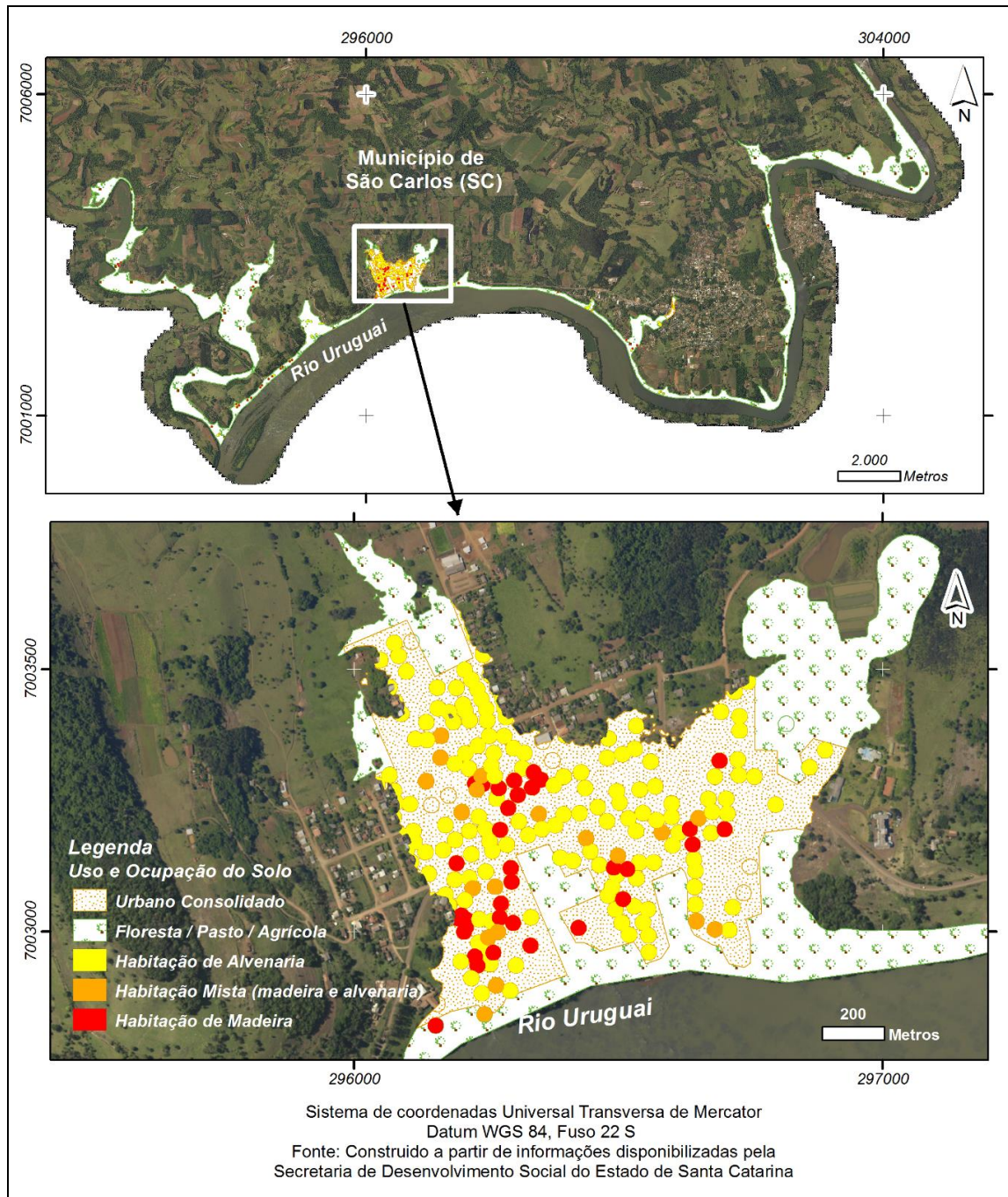
Fonte: O autor.

A Figura 10 apresenta a localização das habitações de alvenaria, mistas e de madeira, dentro do polígono formado pelas curvas de nível que representam a área inundada em um Tempo de Retorno de 74 anos.

Outra setorização necessária, foi aquela que apresenta o uso e ocupação preferencial do solo nas áreas atingidas pelas inundações de acordo com o tempo de retorno. Após a geração do mapa de altimetria (item 4.3 da metodologia), foi gerado também o mapa que setorizou o uso e ocupação do solo na área em estudo, através de setorização manual, após a identificação das diferentes ocupações observadas em imagens do levantamento aerofotogramétrico (SDS, 2013) e imagens de satélite (GOOGLE, 2016), aproximando-se a imagem para o bairro que mais é atingido com eventos de inundação (Bairro Águas do Prata), conforme, Figura 11.

Sendo o município constante de áreas bastante heterogêneas, uma vez que existem habitações espalhadas no meio rural, e também elevado índice de vegetação no interior dos quarteirões nas áreas urbanas (Figura 10), o programa *ArcGis* encontrou bastante dificuldades em distinguir essas áreas, não apresentando um resultado que retrate fielmente a realidade, justamente por confundir a coloração dos diferentes usos do solo na hora de fazer o reconhecimento das amostras que são identificadas manualmente, uma vez que estas estão bastante misturadas.

Figura 10 - Uso e Ocupação do solo para o Bairro Águas do Prata em um TR de 74 anos



Fonte: Construído a partir de SDS (2013).

A Tabela 5 apresenta os dados de habitações, área, densidade habitacional e densidade populacional, para os diferentes tipos de uso do solo, mapeados que se localizam no interior do polígono formado pela lâmina d'água em inundações de TR74 anos.

Tabela 5 - Dados de habitações, área, densidade habitacional e densidade populacional, para os diferentes tipos de uso do solo

Uso do solo	Habitações	Área (km ²)	Densidade de Habitações (casas/km ²)	População*	Densidade Populacional (Pessoas/km ²)
Floresta/Área agrícola esparsamente ocupada	75	3,847	19	238	62
Urbano	226	0,351	643	716	2039
Total	301	4,198	71,70	954	227

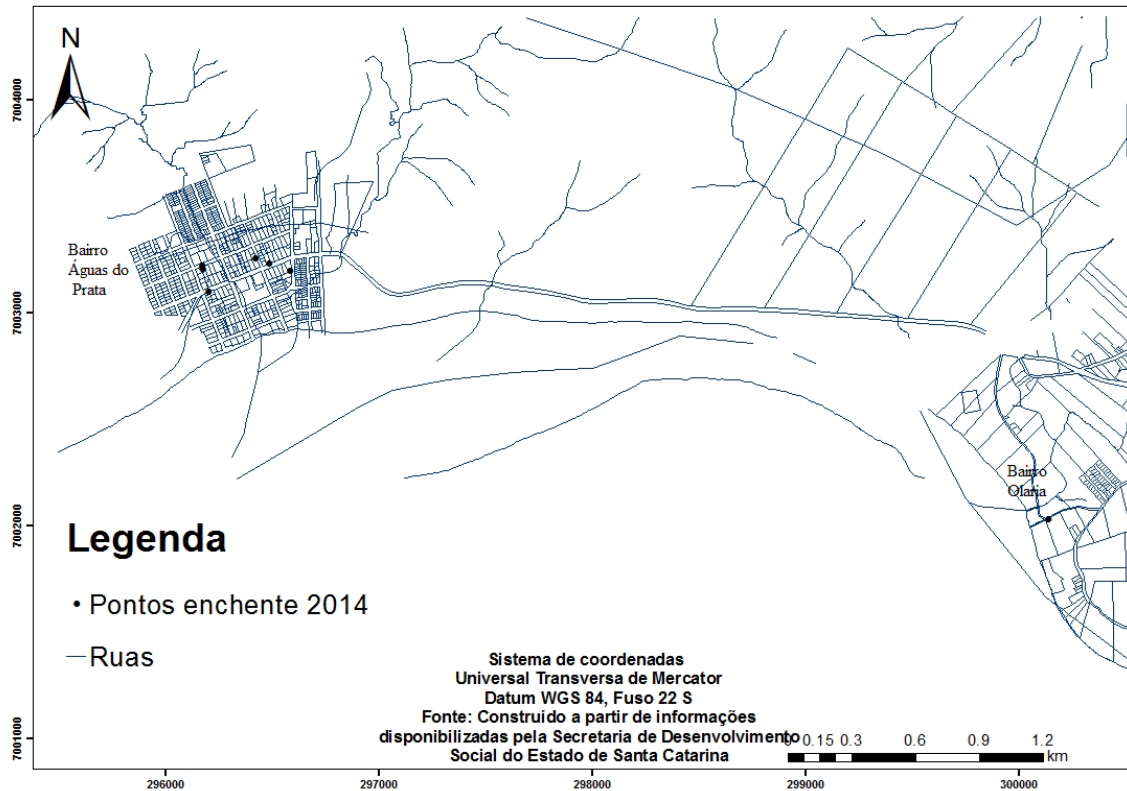
*(média estimada de 3,17 hab. Por domicílio)

Fonte: O Autor.

Em áreas não urbanizadas, as habitações encontram-se mais distanciadas umas das outras, refletindo no resultado de aproximadamente 62 habitantes para cada km², bem abaixo do estimada para as áreas urbanas, onde em média 2039 pessoas habitam um km². A maior parte da margem do rio, afetada pelas cheias com probabilidade de ocorrência a cada 74 anos, apresenta uso do solo de floresta, ou área agrícola com ocupação esparsa (3,847 km² e 238 habitantes em 75 habitações aproximadamente). A área urbana, por outro lado, concentra mais do dobro das habitações (226 moradias) numa área 10 vezes menor (0,351 km²).

O mapa indicando as ruas da cidade e uma parte da hidrografia auxilia na observação das áreas e identificação das habitações e da sua localização. Tendo como base os pontos coletados em campo com auxílio de aparelho de GPS, que permitiram a demarcação do limite máximo atingido pela lâmina d'água do Rio Uruguai no evento ocorrido em junho de 2014 (de acordo com o relato dos moradores), para o Bairro Águas do Prata e Bairro Olaria (Figura 11), foi possível observar quantas e quais quadras foram alcançadas pelas águas do rio, assemelhando-se ao trabalho realizado por Hora e Gomes (2009), que também se valeram de mapa da malha viária urbana para melhor compreensão das áreas de risco à inundação no município de Itabuna-BA.

Figura 11 - Ruas do Bairro Águas do Prata e Bairro Olaria da Cidade de São Carlos-SC e pontos limite do nível da água do Rio Uruguai durante a Inundação de 2014



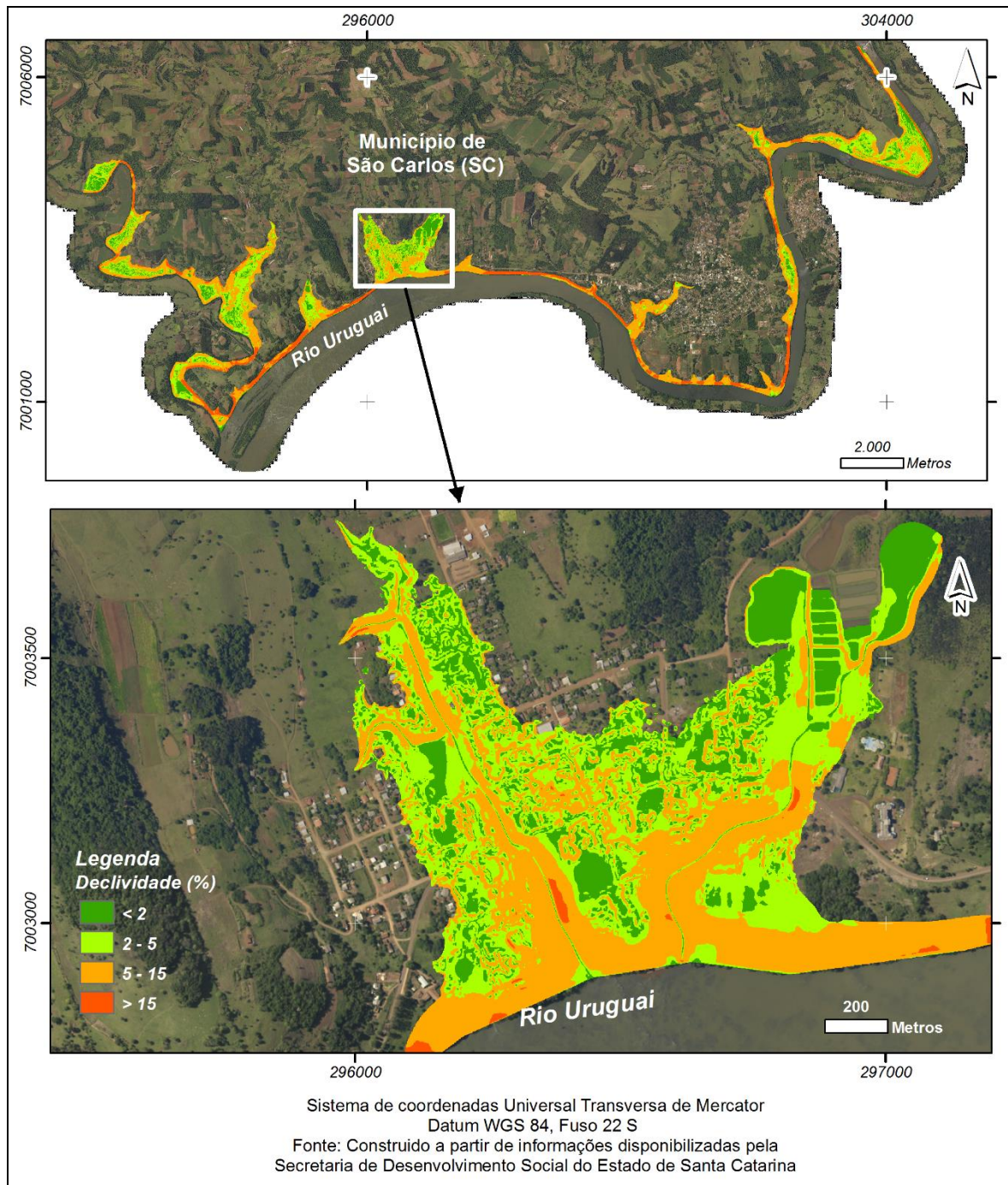
Fonte: Adaptado de arquivo do Setor de Engenharia do Município de São Carlos-SC.

5.3 DECLIVIDADE E ALTIMETRIA DE ÁREAS INUNDADAS

5.3.1 Declividade

A partir do MDT, foi possível a confecção do mapa de declividades para a área em estudo, foram elaboradas 4 classes de declividade: <2 %, de 2 a 5 %, de 5 a 15 % e >15 % (Figura 12).

Figura 12 - Classes de declividade para a área em estudo



Fonte: Construído a partir de SDS (2013).

As áreas com maior declividade (acima de 15 %), são as que possuem menor proporção, apresentando 13,13 % de um total de 4,198 km². Estas áreas estão localizadas na sua maioria no talude que margeia o leito do rio Uruguai. Percebe-se que áreas com menor declividade encontram-se na área urbana em ruas e no interior dos terrenos, provavelmente resultado do corte na topografia, realizado para

implantação das estruturas. As áreas com declividades entre 5 % e 15 %, somam um total de 1,8619 km² (Tabela 6), e representam aproximadamente 45 % do total da área afetada pelas cheias do Rio Uruguai.

Tabela 6 - Área e respectivo percentual apresentado para cada classe de declividade

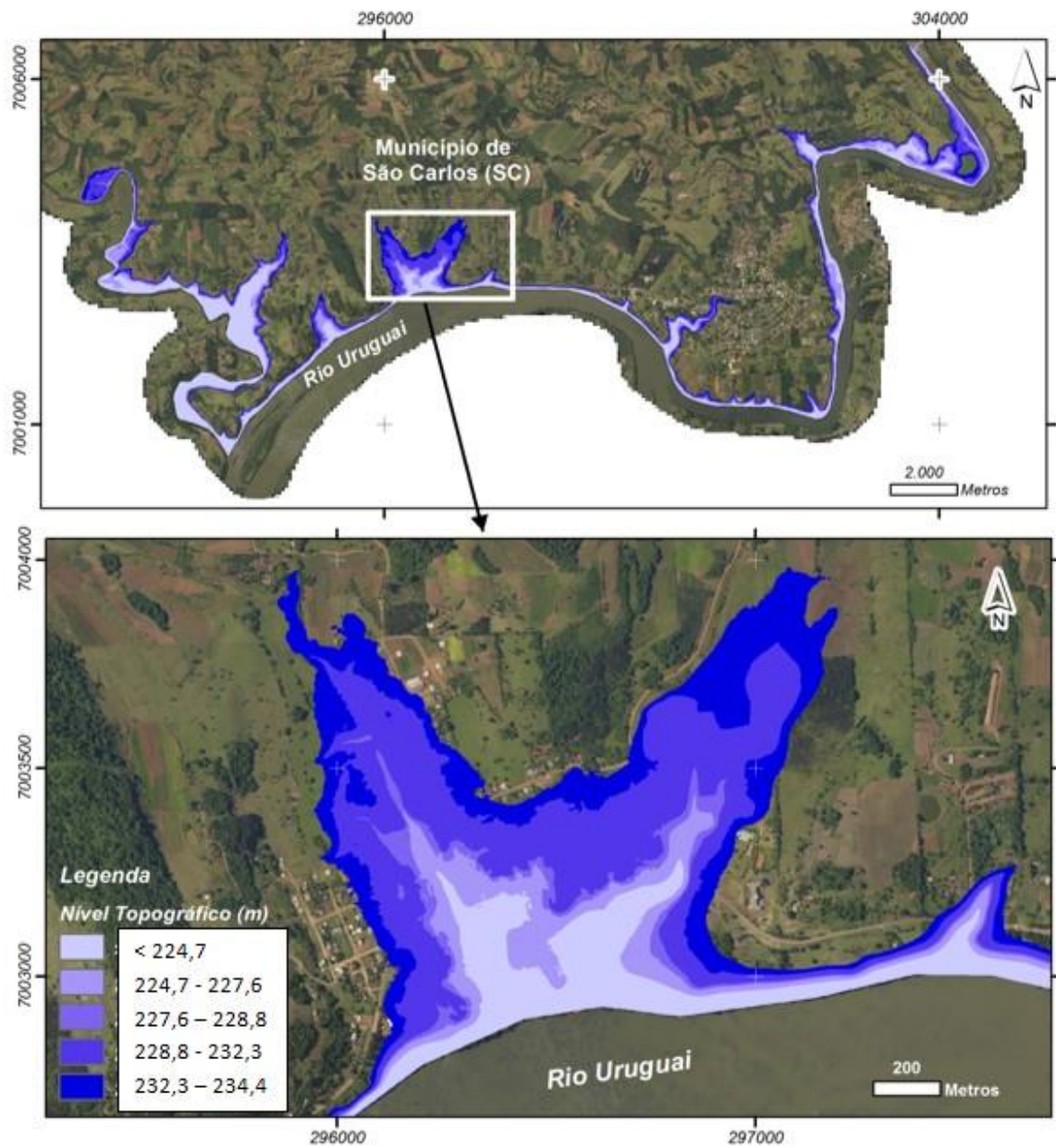
Declividade (%)	Área (km ²)	Área (%)
> 2	0,5591	13,46%
2 - 5	1,1865	28,57%
5 - 15	1,8619	44,84%
> 15	0,5451	13,13%

Fonte: O Autor.

5.3.2 Altimetria

O mapa de cotas de nível de água, foi desenvolvido a partir do MDT, retratando as cotas de nível atingidas por inundações com probabilidade em 2, 5, 10, 20 e 74 anos de retorno (Figura 13). São seis diferentes classes, conforme valores já apresentados na Tabela 2.

Figura 13 - Mapa de cotas de nível



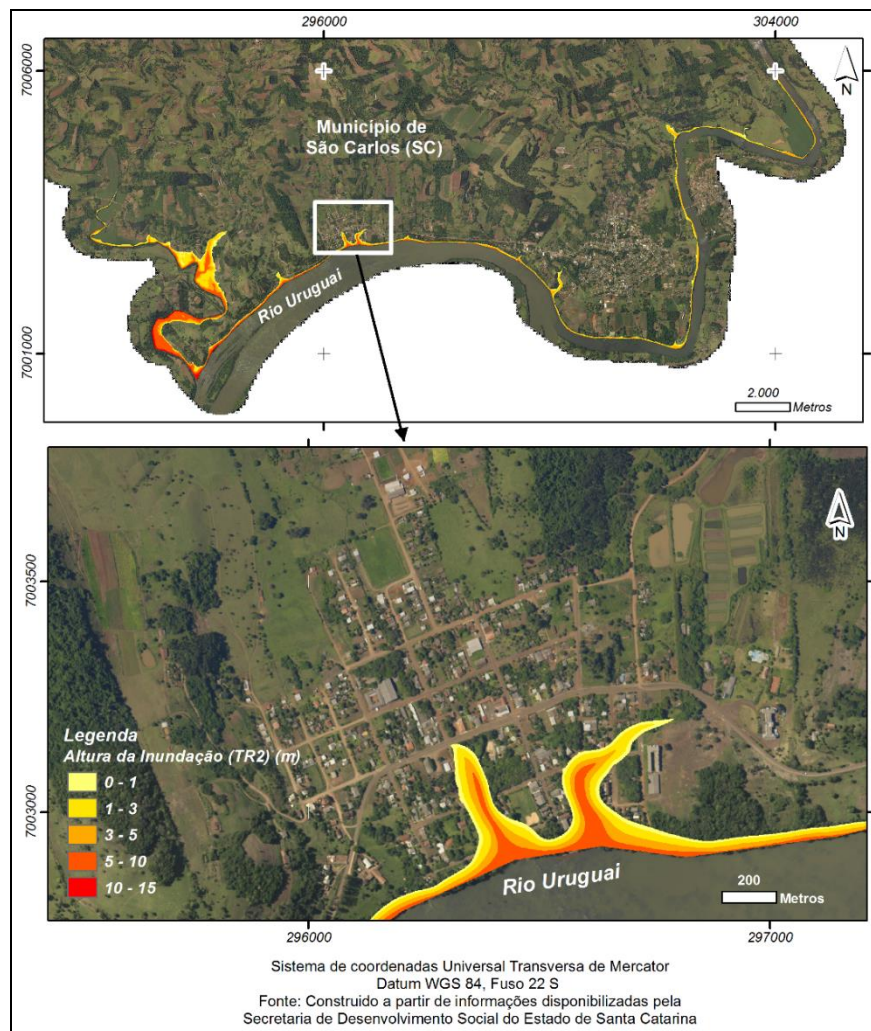
Sistema de coordenadas Universal Transversa de Mercator
 Datum WGS 84, Fuso 22 S
 Fonte: Construído a partir de informações disponibilizadas pela
 Secretaria de Desenvolvimento Social do Estado de Santa Catarina

Fonte: Construído a partir de SDS (2013).

5.3.3 ALTURA DA INUNDAÇÃO

O mapa de Altura da Inundação foi gerado a partir das cotas de inundação obtidas em função dos Tempos de Recorrência de eventos de inundação, subtraindo-se os valores da topografia do terreno da altura da lâmina d'água formada pelos eventos de inundação. Os mapas gerados, são fundamentais para o cruzamento que irá gerar os mapas de Risco apresentados no item 5.5 deste capítulo. As Figuras 14, 15, 16, 17 e 18 apresentam respectivamente os mapas de altura de inundação para os TR, 2, 5, 10, 20 e 74 anos.

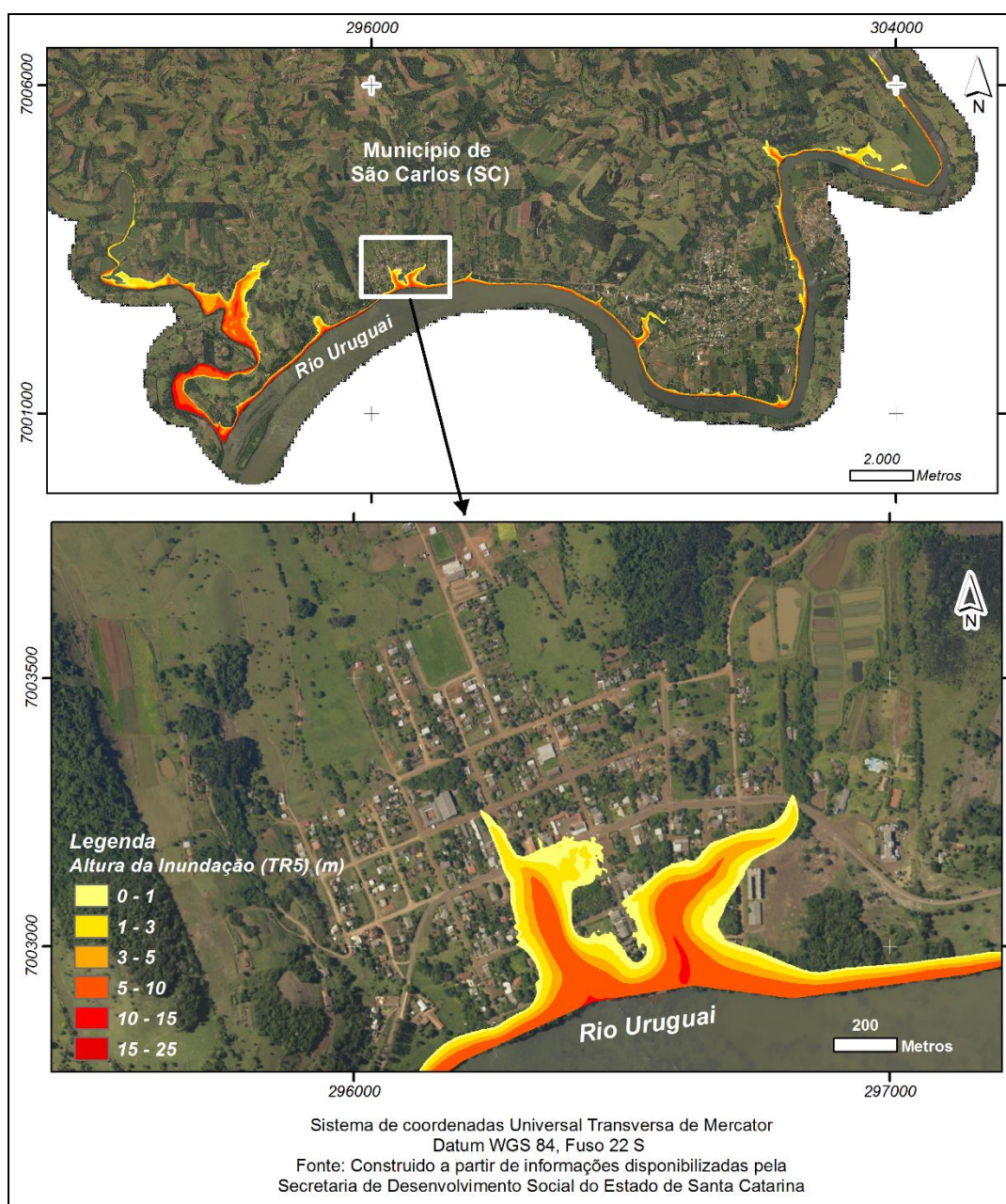
Figura 14 - Mapa de Altura de Inundação para um TR de 2 anos



Fonte: Construído a partir de SDS (2013).

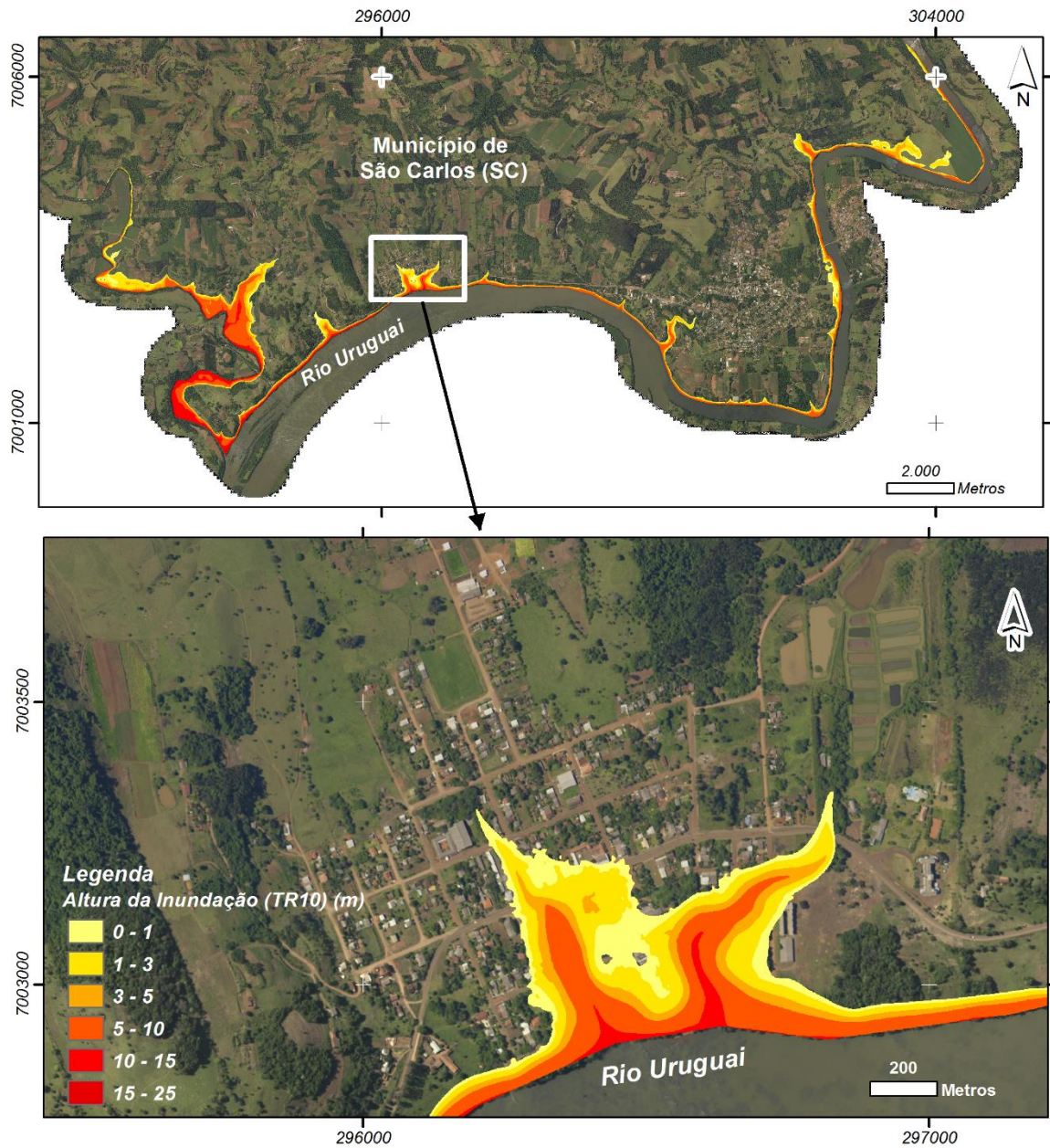
É possível perceber na Figura 15, que para inundações de um Tempo de Retorno de até 2 anos, as áreas mais baixas, próximas ao Rio Uruguai a altura de inundação chega até 15 metros. Para todos os demais eventos de inundação que chegam até os 74 anos de Tempo de Retorno, essa altura pode chegar aos 25 metros, como demonstram as Figuras 15, 16, 17 e 18.

Figura 15 - Mapa de Altura de Inundação para um TR de 5 anos



Fonte: Construído a partir de SDS (2013).

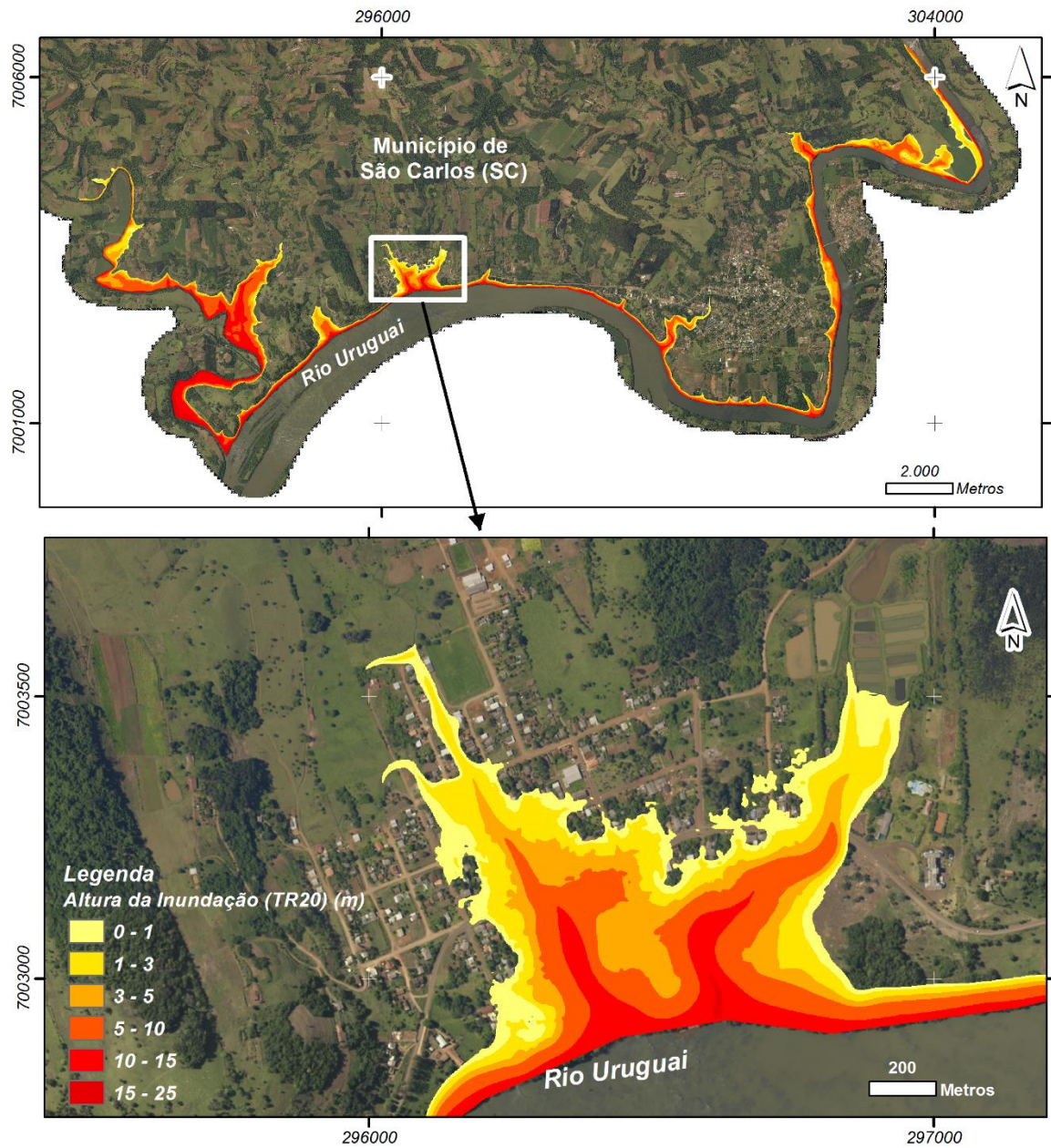
Figura 16 - Mapa de Altura de Inundação para um TR de 10 anos



Sistema de coordenadas Universal Transversa de Mercator
 Datum WGS 84, Fuso 22 S
 Fonte: Construído a partir de informações disponibilizadas pela
 Secretaria de Desenvolvimento Social do Estado de Santa Catarina

Fonte: Construído a partir de SDS (2013).

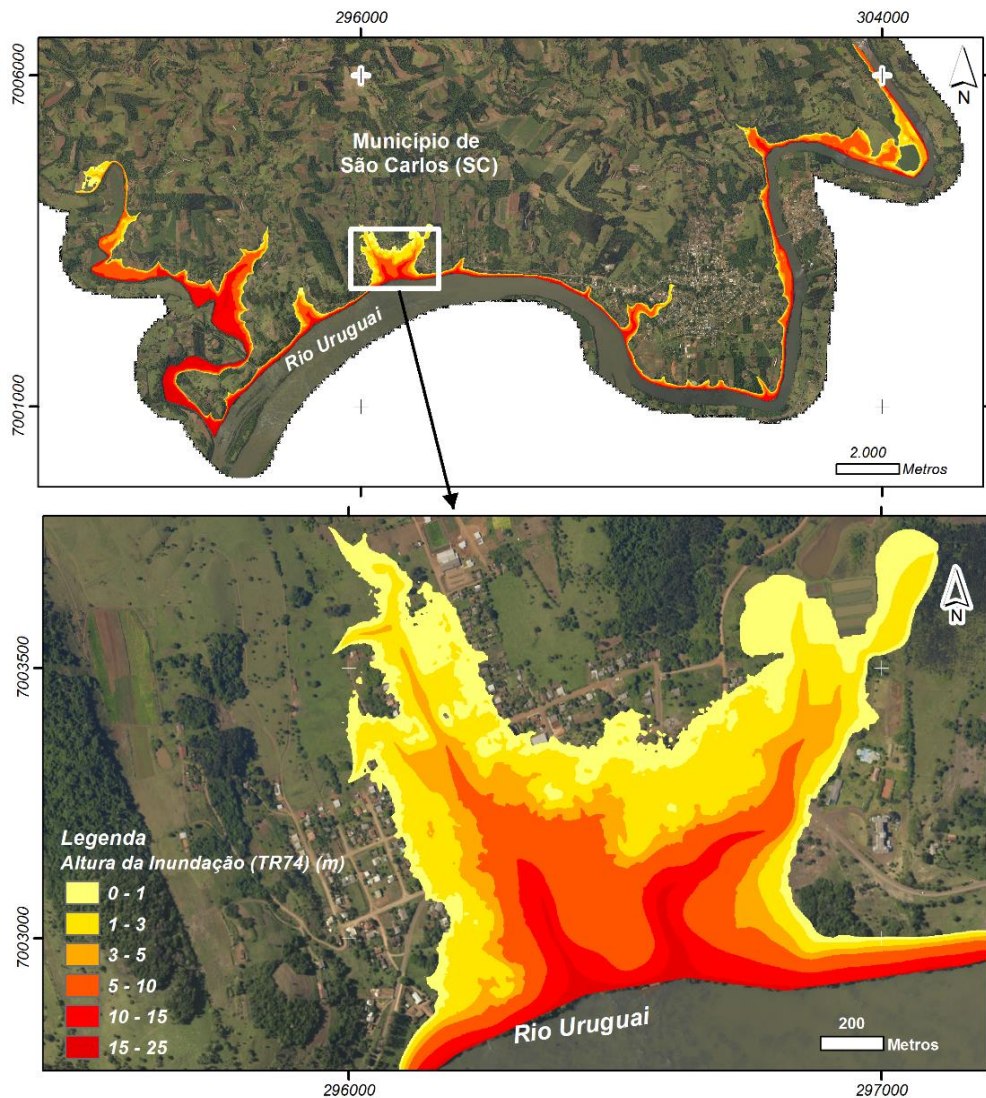
Figura 17 - Mapa de Altura de Inundação para um TR de 20 anos



Sistema de coordenadas Universal Transversa de Mercator
Datum WGS 84, Fuso 22 S
Fonte: Construído a partir de informações disponibilizadas pela
Secretaria de Desenvolvimento Social do Estado de Santa Catarina

Fonte: Construído a partir de SDS (2013).

Figura 18 - Mapa de Altura de Inundação para um TR de 74 anos



Sistema de coordenadas Universal Transversa de Mercator
Datum WGS 84, Fuso 22 S
Fonte: Construído a partir de informações disponibilizadas pela
Secretaria de Desenvolvimento Social do Estado de Santa Catarina

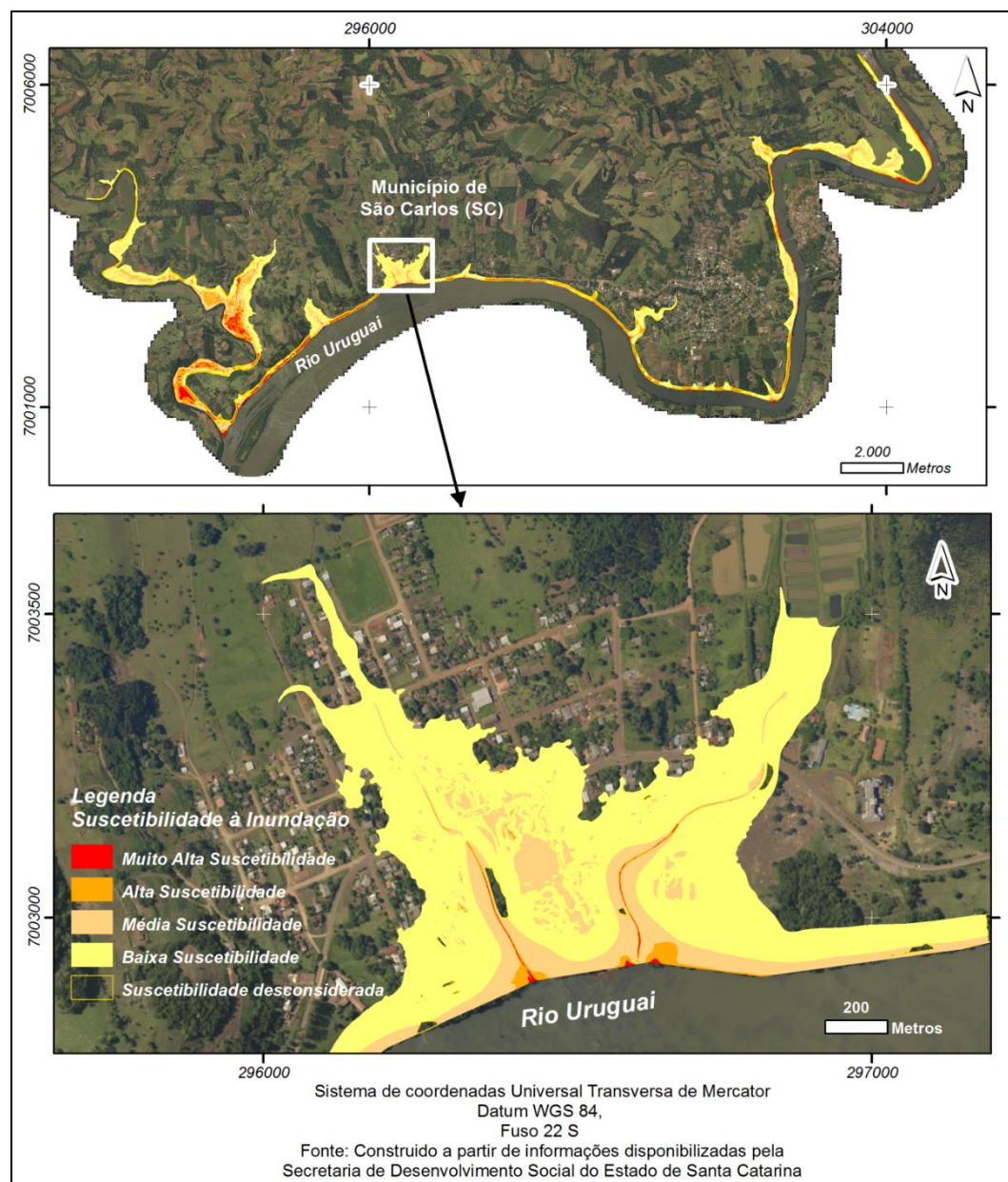
Fonte: Construído a partir de SDS (2013).

Para eventos de inundação enquadrados em Tempos de Retorno de 5 a 74 anos, a maior altura de inundação não varia, estando seu máximo delimitado entre 15 e 25 metros. O que varia (conforme visto nas Figuras 15, 16, 17 e 18) são as áreas atingidas por menores alturas de inundação, aumentando essas de acordo com os maiores tempos de retorno, ao encontrarem as áreas mais planas, que se encontram nesses locais, conforme aponta o mapa de declividades (Figura 13).

5.4 SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO

O cruzamento dos mapas de cotas de nível da água do Rio Uruguai, com o mapa de declividades do terreno, resultou no mapa de suscetibilidade de inundação, apresentando para as áreas atingidas por inundações com TR de até 74 anos um total de 4,187 km² (Figura 19).

Figura 19 - Mapa de Suscetibilidade à Inundação



Fonte: Construído a partir de SDS (2013).

Observa-se a topografia acidentada, predominante na margem do Rio Uruguai, o que favorece uma abrupta elevação do terreno restrita a uma faixa estreita a partir da qual se inicia a planície de inundação. As maiores suscetibilidades da área de inundação estão localizadas próximas as drenagens (inclusive nos bairros Águas do Prata e Olaria), mas predominam em extensão, a suscetibilidade média no entorno dos cursos d'águas. Muito Alta Suscetibilidade observa-se em zonas mais baixas, principalmente ao longo dos afluentes. Estas áreas entretanto, são atualmente utilizadas para a atividade agrícola e preservação de floresta/Mata nativa. Percebe-se que a maior parte das áreas mapeadas (45,8 %), apresenta baixa suscetibilidade, uma vez que assumem elevações em cotas mais altas, indicando ser baixa a possibilidade de serem atingidas por inundações. Áreas de média suscetibilidade somam 25,4 % e estão distribuídas em várias frações (Tabela 7).

Chamam a atenção as áreas de Muito Alta suscetibilidade localizadas à esquerda da área urbanizada (Figura 19), às margens de um afluente do Rio Uruguai. São áreas de planícies, facilmente inundáveis por eventos com um baixo tempo de recorrência. Isso indica que o mapa de suscetibilidade, permite identificar essas áreas como não propícias a ocupação.

Tabela 7 - Síntese das áreas obtidas no mapa de suscetibilidade

Classe de suscetibilidade	Área (km ²)	Porcentagem da área total
Muito Alta	0,1918	4,6 %
Alta	0,4743	11,3 %
Média	1,0635	25,4 %
Baixa	1,9165	45,8 %
Desconsiderada	0,5411	12,9 %
Total	4,1872	100%

Fonte: O Autor.

5.5 RISCO DE INUNDAÇÃO

Em Brasil (2007c), descreve-se que os principais processos e cenários de risco ligados a enchentes e inundações nas cidades brasileiras podem ser classificados em três tipos: cenário de risco de enchente e inundação em planícies

fluviais; cenário de risco de enchente e inundação com alta energia cinética atingindo ocupação ribeirinha; cenário de risco de enchente e inundação com alta energia de escoamento e capacidade de transporte de material sólido.

Considerando-se esta classificação, a área em estudo associa-se ao cenário do tipo risco de enchente e inundação em planícies pluviais. Geralmente os processos de enchente e inundação envolvendo extensas planícies fluviais apresentam dinâmica relativamente lenta no início das chuvas, desenvolvimento das cheias e extravasamento para as planícies de inundação. Além da dinâmica relativamente lenta de escoamento superficial, o recuo das águas para o leito menor também é lento o que aumenta os danos, os riscos de contaminação e os transtornos. Este processo atinge um grande número de moradias, porém, existe uma pequena possibilidade de perda de vidas humanas, mesmo em relação às áreas de risco caracterizadas pelas ocupações precárias. (BRASIL, 2007c).

Essas características são comumente encontradas na área de estudo, onde as inundações são lentas, porém causam danos, principalmente em boa parte das habitações presentes, que apresentam construção em madeira e mistas.

Ao aplicar o cruzamento de mapas sugerido em Brasil (2007c), onde considera áreas de até risco médio a muito alto extremo àquelas que se encontram nos locais sujeitos a serem atingidos por eventos com baixo tempo de retorno, onde Hora e Gomes (2009) consideraram, e também neste trabalho foi adotado de 2 e 5 anos, e considera todas as das demais áreas como sendo de baixo risco, resultou no mapa apresentado na Figura 20.

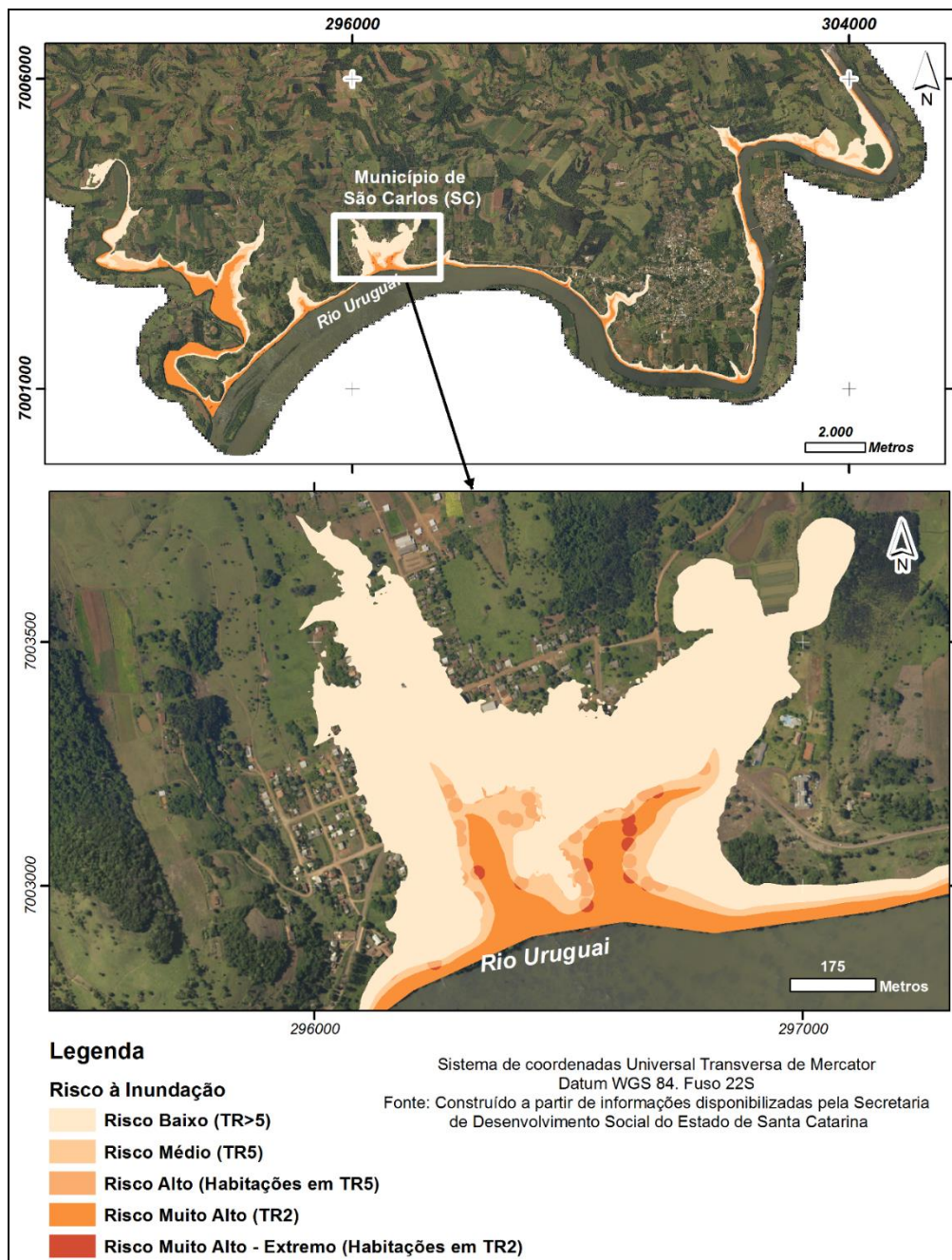
Esse tipo de classificação não se mostrou muito abrangente, uma vez que desconsidera a ocupação do solo em áreas atingidas por inundações com TR acima de 5 anos (ao classificar elas como de baixo risco). Na área em estudo, devido à topografia acidentada, e do fato do Rio Uruguai estar encaixado e apresentar margens com topografia abrupta, a maior parte da área (46,89 %) encontra-se com risco baixo de inundação (Tabela 8). Este resultado reflete a ausência de ocupação das margens do Rio Uruguai e predomínio de declividades entre 5 e 15 % nas principais áreas afetadas pelas cheias. Entretanto, observa-se que 34,16 % da área (Tabela 8), é classificada como de Risco muito Alto à Inundação. Sendo que o risco muito alto-extremo (restrito a 0,85 % da área) está concentrado nas áreas com habitações, principalmente nos bairros Águas do Prata e Olaria.

Tabela 8 - Classificação de risco e características de suas respectivas áreas

Grau de Risco	Área com Risco		
	Características da área	(km ²)	(%)
Risco Muito Alto - Extremo	TR < 2, envolvendo moradias	0,036	0,85
Risco Muito Alto	TR < 2	1,430	34,16
Risco Alto	TR 2 a TR 5, envolvendo moradias	0,045	1,07
Risco Médio	TR 2 a TR 5	0,713	17,03
Risco Baixo	TR > 5	1,966	46,89
TOTAL		4,198	100,0

Fonte: O Autor

Figura 20 - Mapa de Risco à inunda o, seguindo metodologia adaptada de Brasil (2007c)



Fonte: Construido a partir de SDS (2013).

J  a classifica o de risco aplicada por Hora e Gomes (2009), permite uma melhor avalia o das  reas atingidas pelas inunda es, sendo poss vel cruzar os dados para diferentes profundidades de inunda o de acordo com o TR de cada evento hidrol gico, levando em considera o o uso do solo, densidade habitacional, densidade populacional e vulnerabilidade de cada tipologia das habita es, essa

proposta, torna os mapas muito mais detalhados, e condizentes com a realidade, uma vez que permite a interrelação entre os fatores físicos e de ocupação nos distintos TRs.

Ao aplicar a equação adaptada de Hora e Gomes, (2009), a expressão do resultado em valores, foi classificada conforme apresentado na Tabela 9, resultando nas proporções de 91,1 % da área com risco muito baixo de inundação, sendo seguida por 4 % da área com risco médio. Os valores apresentados na Tabela 9 referentes ao risco à inundação, se referem ao resultado final obtido a partir da aplicação da fórmula, e seus limites entre uma classe e outra estão relacionados aos diferentes Tempos de Retorno aplicados à fórmula, o que explica a diferença entre os resultados aqui apresentados e àqueles obtidos por Hora e Gomes (2009) em seu trabalho.

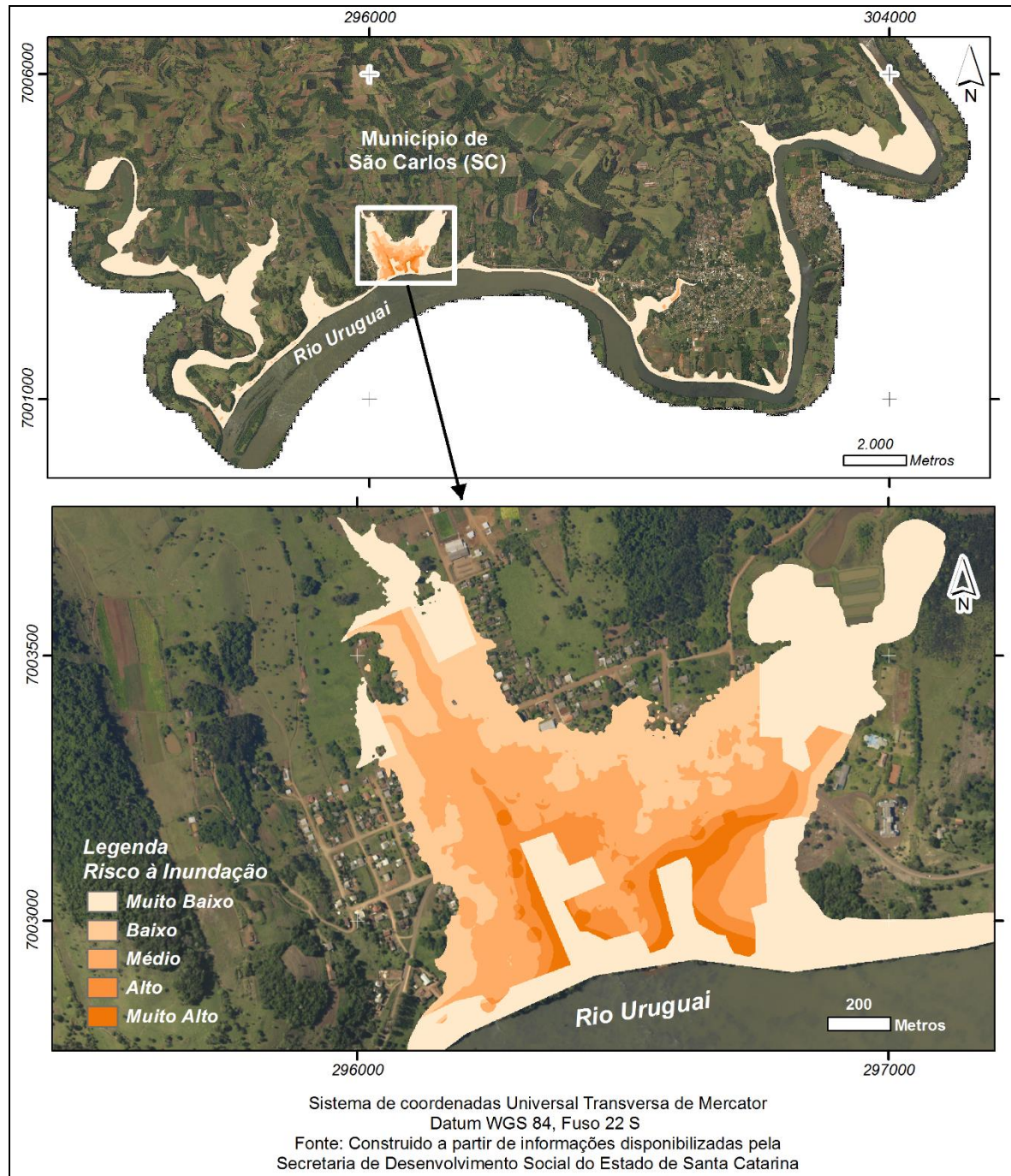
Tabela 9 - Classificação de valores resultantes da equação proposta e percentual correspondente

Grau de Risco	Risco à Inundação	% da Área com Risco à Inundação
Muito Baixo	0 - 5	91,1%
Baixo	5 - 10	3,2%
Médio	10 - 100	4,0%
Alto	100 - 300	1,1%
Muito Alto	300 - 600	0,5%

Fonte: O Autor.

Ao comparar o mapa de risco (Figura 21) com o mapa de suscetibilidade, percebe-se que algumas áreas apresentadas como de Alta ou Muito alta suscetibilidade, quando constantes nesse mapa de risco de inundação, apresentam baixo risco, considerando-se que não haverá danos patrimoniais ou de vida, uma vez que não existem habitações ou construções naquela área.

Figura 21 - Mapa de Risco à inunda o seguindo metodologia adaptada de Hora e Gomes (2009)



Fonte: Construido a partir de SDS (2013).

É perceptível na Tabela 9, que em locais atingidos por inundações com TR2, mesmo sendo estas muito frequentes, poucas habitações são atingidas, justificando a grande maioria da área (97,76 %) ser classificada como de Muito Baixo Risco. Já em áreas atingidas com TR5, praticamente 6 % da área está em Alto Risco, em função de uma densidade habitacional maior, e em função de uma tipologia de habitações mais vulnerável, sendo que 0,55 % de sua área é de Muito Alto risco.

Em zonas de inundações com TR20 e TR74, embora sejam mais densamente ocupadas, não existem áreas com Alto e Muito Alto risco, em função da baixa recorrência dos eventos aliado à habitações, na sua grande maioria, construídas em alvenaria.

Ao considerar somente a área urbanizada pelo bairro Águas do Prata (Figura 22), diminui a área com risco muito baixo de inundação, aumentando principalmente as áreas com risco médio para TR10 e TR20.

Tabela 10 - Percentual de cada classe de risco para diferentes TRs

Grau de Risco	% da Área com Risco à Inundação					TOTAL
	2	5	10	20	74	
Muito Baixo	97,76%	92,37%	90,88%	88,73%	81,84%	91,1%
Baixo	0,00%	0,37%	0,61%	0,01%	17,70%	3,2%
Médio	0,81%	0,75%	7,51%	11,26%	0,46%	4,0%
Alto	0,00%	5,96%	1,00%	0,00%	0,00%	1,1%
Muito Alto	1,42%	0,55%	0,00%	0,00%	0,00%	0,5%
Total	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Fonte: O Autor.

Entre as habitações presentes na área urbanizada do bairro Águas do Prata, 28,18 % daquelas que compõe o perímetro atingido em um TR2 estão correndo Muito Alto Risco, devido ao somatório dos fatores naturais e antrópicos (Tabela 11). Já em um TR5, 72,96 % das habitações localizadas nesse perímetro são classificadas em Alto Risco, cabendo avanços nas medidas preventivas para essa população residente. Na zona com TR74, o risco de inundação é muito baixo (44,70 %) ou baixo (53,76 %) predominantemente.

Tabela 11 - Percentual de Risco para cada TR no Bairro Águas do Prata

Grau de Risco	% da Área com Risco à Inundação no Bairro Águas do Prata (km ²)					TOTAL
	2	5	10	20	74	
Muito Baixo	71,60%	19,24%	16,80%	23,54%	44,70%	37,52%
Baixo	0,00%	0,24%	0,59%	0,02%	53,76%	22,54%
Médio	0,18%	0,76%	72,85%	76,43%	1,54%	27,09%
Alto	0,04%	72,96%	9,73%	0,02%	0,00%	8,55%
Muito Alto	28,18%	6,79%	0,03%	0,00%	0,00%	4,30%
Total	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Fonte: O Autor.

6 CONCLUSÕES

Com o desenvolvimento desse trabalho, foi possível concluir que o material produzido a partir do levantamento aerofotogramétrico para o estado de Santa Catarina, é de grande valia para o desenvolvimento de mapas temáticos e de mapas de suscetibilidade e risco de inundações.

De maneira geral o objetivo do trabalho foi atingido, uma vez que as bases detalhadas permitiram a identificação com precisão das feições geomorfológicas, e de uso e ocupação do solo da área, e assim viabilizaram a construção dos mapas de suscetibilidade e de risco de inundação. Tanto o mapa de suscetibilidade, como o mapa de risco, podem ser apresentados para os gestores e para a sociedade em geral do município de São Carlos-SC, servindo-lhes como ferramenta para o planejamento da ocupação do município por habitações, como para uma prévia identificação quantitativa e qualitativa das habitações para facilitar a identificação das moradias e número de habitantes atingidos e que precisam de apoio de órgãos municipais.

Nesse último caso, o estudo conseguiu apontar quantas casas, onde estão localizadas exatamente, e qual a tipologia de seu material construtivo, o que pode ser fundamental na identificação de danos, e ainda servir como norteador na hora de atos do poder executivo, como a decretação de estado de emergência.

No mapeamento de suscetibilidade, predominaram as áreas de baixa suscetibilidade (45,8 %). Já áreas apontadas como de Muito Alta Suscetibilidade representam 4,6 % e Alta Suscetibilidade 11,3 % da área estudada, e indicam não ser propícias à ocupação.

Em relação ao mapeamento de risco, foi possível concluir que devido às características morfológicas e geológicas, a metodologia de Hora e Gomes (2009), apresentou resultados mais significativos, por considerar a espacialização dos domicílios localizados em zonas de inundação atingidas por vários Tempos de Retorno. O mapa apontou que no Bairro Águas do Prata as habitações alocadas em zonas de inundação com tempo de retorno de 20 e de 74 anos não correm Alto e Muito Alto Risco. Em relação às casas que se encontram em zonas de inundação com tempo de retorno com 2 anos, 28,18 % correm Muito Alto Risco, enquanto que 72,96 % das habitações localizadas em zonas de inundação com probabilidade de retorno de 5 anos no mesmo bairro estão em área de Alto Risco. A metodologia de

Brasil (2007c) pode ser indicada para áreas mais planas, onde os vales são menos profundos, e as inundações de Tempos de Retorno menores que 5 anos atingem áreas maiores, com maior número de habitações.

Recomenda-se o aumento das estações de monitoramento pluviométricas e fluviométricas principalmente nas regiões atingidas por inundações do Rio Uruguai, uma vez que uma boa consistência de dados de estações próximas ao local garante uma análise adequada, possibilitando o mapeamento com dados diretos de forma que os resultados sejam efetivamente próximos à realidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL IGAM - INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Definição da planície de inundação da cidade de governador Valadares - relatório técnico final**. Belo Horizonte: ANA/CPRM/IGAM, 2004. 129 p.

ANA- Agência Nacional das Águas. Sistema Hidroweb. Disponível em <<http://hidroweb.ana.gov.br/>> Acesso em: 06 nov. 2016.

BARBOSA, P. S. F.; BARROS, M. T. L.; ZUCULIN, S. **Manual do usuário Patrich: proteção associada ao tempo de retorno implícito de cheias**. São Paulo: FTD, 2010. 12p.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Capacitação em mapeamento e gerenciamento de risco**. Apostila. Brasília: Ministério das Cidades, 2004. 122 p.

BRASIL. Decreto Federal Nº. 7.257, De 4 De Agosto De 2010 - Regulamenta a Medida Provisória no 494 de 2 de julho de 2010, para dispor sobre o Sistema Nacional de Defesa Civil - SINDEC, sobre o reconhecimento de situação de emergência e estado de calamidade pública, sobre as transferências de recursos para ações de socorro, assistência às vítimas, estabelecimento de serviços essenciais e reconstrução nas áreas atingidas por desastre, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Poder executivo, Brasília, DF, 5 de Ago de 2010. Seção 1, p.11.

BRASIL. Lei Federal 12.651, 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 28 mai. 2012. 2012a. Disponível em < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm> Acesso em: 27 nov. 2016.

BRASIL. Lei Federal 12608 de 10 de Abril de 2012- Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres; altera as Leis nºs 12.340, de 1º de dezembro de 2010, 10.257, de 10 de julho de 2001, 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.239, de 4 de outubro de 1991, e 9.394, de 20 de dezembro de 1996; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Poder executivo, Brasília, DF, 11 de Abr de 2012. Seção 1, p.1. 2012b.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria de Defesa Civil. **Política nacional de defesa civil**. Brasília: MIN, 2007a. 82p.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria de Defesa Civil. **Manual para a Decretação de Situação de Emergência ou de Estado de Calamidade Pública**. Brasília: MIN, 2007b. 33p.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES / INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios / Celso Santos Carvalho, Eduardo Soares de Macedo e Agostinho Tadashi Ogura,

organizadores – Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007C.

BRASIL. Resolução Conjunta nº 3, de 10 de agosto de 2010. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/inf hidrologicas/cadastro/ResolucaoConjunta_n_003-2010.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2015.

CANIL, K. Áreas de risco aos processos de escorregamentos no município de Santos, SP: análise e indicadores de vulnerabilidade. In: XVI Encontro Nacional dos Geógrafos – **Anais...**Porto Alegre. 2010

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 302p.

CASTRO, A. L. C. et al. **Manual de desastres: desastres naturais**. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2007. 2 ed.182p.

CONSELHO DA UNIÃO EUROPÉIA, CE. DIRECTIVA 2007/60/CE **Relativa à avaliação e gestão dos riscos de inundações**. Do parlamento europeu e do conselho de 23 de Outubro de 2007. Disponível em< <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:288:0027:0034:PT:PDF>> Acesso em: 16 Dez.2015.

CHOW, V. T.- **Hydrologic Studies of Floods in the United States**. Inter. Assoc. Sci. Hydrol., Publ. nº 42, 134-170p. 1965.

DANCEY, C. P.; REIDY, J. Estatística sem matemática para psicologia. 5ª ed. Porto Alegre: Penso, 2013. 608p.

ELETROSUL-CENTRAIS ELÉTRICAS DO SUL DO BRASIL S.A.; CONSÓRCIO NACIONAL DE ENGENHEIROS CONSULTORES S.A-CNEC. **Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai** – Estudo de Inventário Hidroenergético. [S.l.] : ELETROSUL, 126p. 2 ed., 1982.

ELY, D. Cheia do Rio Uruguai já é a maior em 30 anos em municípios gaúchos. **Zero Hora**, Porto Alegre, 27 jun. 2014. Disponível em: <<http://zh.clicrbs.com.br/rs/noticias/noticia/2014/06/cheia-do-rio-uruguai-ja-e-a-maior-em-30-anos-em-municipios-gauchos-4537751.html>> .Acesso em: 01 dez. 2015.

ESRI - Maps throughout this book were created using *ArcGis*® software by Esri. *ArcGis*® and *ArcMap*™ are the intellectual property of Esri and are used herein under license. Copyright © Esri. All rights reserved. For more information about Esri® software, please visit www.esri.com.

ESTATCAMP. Software Action. Disponível em:< <http://www.portalaction.com.br/>> Acesso em: 19 jul. 2016.

FIGUEIREDO, R. B. et al. **1ºCurso de Capacitação em Gerenciamento de Risco para Agentes Públicos Municipais**. São Paulo: NAUMITRA ENGENHARIA CONSTRUÇÕES E REPRESENTAÇÕES LTDA, 2013. 29p.

FOZ DO CHAPECÓ ENERGIA SA. **Histórico**. Alpestre, 2015. Disponível em: <<http://www.fozdochapeco.com.br/historico.html>> Acesso em: 25 nov. 2015.

G1-SC. **Mais de um mês após enchente em SC, famílias permanecem fora de casa**. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sc/santa-catarina/noticia/2014/07/mais-de-um-mes-apos-enchente-em-sc-familias-permanecem-fora-de-casa.html>> Acesso em: 22 nov. 2016

GOERL, R. F.; KOBAYAMA, M. Considerações sobre as inundações no Brasil. In: XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2005, João Pessoa/PB. **Anais...** João Pessoa/PB: ABRH, 2005.

GOOGLE. Google Earth. **Version Pro**. 2016. Imagens do município de São Carlos-SC. Disponível em: <<https://www.google.com.br/earth/download/gep/agree.html>>. Acesso em: 10 nov. 2016

HEINEN, F. ; **Município volta a sofrer com a chuva. Agora, é hora de recomeçar!** Assessoria de Imprensa, São Carlos- SC, 2014. Disponível em :<<http://www.saocarlos.sc.gov.br/noticias/index/ver/codMapaltem/8299/codNoticia/75906#.WDI-xblrLIU>> Acesso em 12 dez. 2016

HORA, S. B; GOMES, R.L. Mapeamento e avaliação do risco a inundação do rio cachoeira em trecho da área urbana do município de Itabuna/BA. Dissertação para o Programa de Pós graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente-UESC, 2009.

HÜFFNER, A.; ENGEL, B.C.(coord.) Grandes e pequenas centrais Hidrelétricas na Bacia do Rio Uruguai: Guia para ONGs e Movimentos Sociais. Ed,Atual. Porto Alegre, 2011, 116p.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo demográfico 2010. Disponível em: <<http://censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 12 nov. 2016.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Malha municipal digital do Brasil: 2005 (escala 1:500.000). Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2005. Disponível em: <ftp://geofp.ibge.gov.br/mapas/malhas_digitais/municipio_2005/E1000/Proj_Geografica/Arc_View_shp/Regiao/Sul/>. Acesso em: 26 nov. 2015.

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Ocupação de Encostas: manual**. São Paulo: FTD, 1991. 216p.

KOBIYAMA, M. et al. **Prevenção de desastres naturais: Conceitos básicos**. Curitiba: Organic Trading, 2006. 109p.

MACEDO, S. J. A. et al. Mapeamento de áreas sujeitas à inundação para planejamento e gestão urbana: cartas de suscetibilidade, perigo e risco. In:

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL, 9;. 2015, Cuiabá/MT. **Anais...** Cuiabá/MT: ABC, 2015.

MONTEIRO, L.R.; KOBAYAMA, M. **Proposta de metodologia de mapeamento de perigo de inundação.** Revista de Gestão de Água da América Latina-REGA Vol. 10, n. 2, jul-dez. 2013,p. 13-25.

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

OLIVEIRA, E. **Elaboração de software para aplicação do método das Isozonas.** João Pessoa.Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal da Paraíba. 2013.

OLIVEIRA, E.L.A.; ROBAINA, L.E.S. **Gerenciamento de áreas de risco em cidades brasileiras: projetos e programas.** Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas – UFSM Ciência e Natura, Santa Maria, v. 37 n. 4 set-dez. 2015, p.366-384.

OLIVO, A. A. **Modelos matemáticos para a previsão de cheias fluviais.** Tese de Doutorado. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. São José dos Campos. 151 p., 2004.

ONS. Operador Nacional do Sistema Elétrico. **Inventário das restrições operativas hidráulicas dos aproveitamentos hidrelétricos** Rio de Janeiro: ONS: 2013. 158p.

PAIM, E. S.; ORTIZ, L. S.; **Hidrelétricas na bacia do rio Uruguai : guia para ONGs e movimentos sociais**– Porto Alegre : Núcleo Amigos da Terra/Brasil, 2006. 80 p.

PRINA, B. Z.; TRENTIN, R. Metodologia Para Mapeamento De Áreas Suscetíveis À Inundação: Estudo De Caso Para O Município De Jaguari/Rs. In: XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia, 2014, Gramado/RS.

RECKZIEGEL, B. W.; CRISTO, S. S. V. de; ROBAINA, L. E. de S. Hierarquização das Moradias em Situação de Risco Geomorfológico Associado à Dinâmica Fluvial na Vila Urlândia, Santa Maria – Rio Grande do Sul. IV Simpósio Nacional de Geomorfologia. Anais...Goiânia, 2006.

RENNÓ, C. D. **Construção de um sistema de análise e simulação hidrológica: aplicação a bacias hidrográficas.** 2003. 158 p. Tese de Doutorado. São José dos Campos: INPE, 2003.

RIFFEL, E. S.; GUASSELLI, L. A. Mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos de massa na bacia hidrográfica do rio Paranhana, RS. In: GUASSELLI, L. A.; OLIVEIRA, G. G.; ALVES, R.C.M. **Eventos extremos no Rio Grande do Sul: Inundações e movimentos de massa.** Porto Alegre: Evangraf, 2013. 208p. Cap.6.

ROCHA, J.S.; Prevenção de inundações e reabilitação de edifícios em zonas inundáveis. Territorium, revista de Geografia física aplicada no ordenamento do território e gestão de riscos naturais. Lisboa, 1995. p. 11-19. Disponível em:< http://www1.ci.uc.pt/nicif/riscos/revista_territorium.html>. Acesso em 17 out. 2015.

SAMPAIO, T. Q. et al. A atuação do serviço geológico do Brasil – CPRM na gestão de riscos e resposta a desastres naturais. In: VI CONGRESSO CONSAD DE GESTÃO PÚBLICA, 2013, Brasília/DF. **Anais...** Brasília/DF: CPRM, 2013.

SANTOS, R.F. dos. **Vulnerabilidade Ambiental: Desastres naturais ou fenômenos induzidos?** Brasília: MMA, 2007. 192p.

SAUSEN, T. M.; NAVARES, I. S. Sensoriamento remoto para inundação e enxurrada. In: SAUSEN, T. M.; LACRUZ, M. S. P. **Sensoriamento remoto para desastres.** São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 285p. Cap.5.

SECRETARIA DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO SUSTENTÁVEL – SDS. **Levantamento aerofotogramétrico.** Santa Catarina, 2013.

TRENTIN, R. ROBAINA, L. E. de S. Análise do relevo no alto curso da bacia hidrográfica do Rio Itu, RS. Interface Porto Nacional/TO, v. 2, n. 2. p. 146-155, maio 2005. Disponível em: <<http://revista.uft.edu.br/index.php/interface/article/view/339/236> >. Acesso em 25 fev.2016.

TUCCI, C. E. M. **Água no Meio Urbano.** IPH/UFRGS. 40p, 1997.

TUCCI, C. E. M (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação.** 3º ed. – Porto Alegre: Editora da UFRGS / ABRH, 2002.

TUCCI, C. E. M. **Gestão das inundações urbanas.** Global Water Partnership. Edição em arquivo digital. Brasília, 2005

TUCCI, C. E. M. **Inundações Urbanas.** Porto Alegre: ABRH/RHAMA, 2007. 393p.

TUCCI, C.E.M.; SILVEIRA, A.; GOLDENFUM, J.; GERMANO, A. Brasil. In: TUCCI, C.E.M.; BERTONI, J.C.(Org.). **Inundações urbanas na América do Sul.** Porto Alegre: ABRH, 2003. 471p. Cap. 6.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Centro Universitário de Pesquisa e Estudos sobre Desastres. **Manual para a Decretação de Situação de Emergência ou de Estado de Calamidade Pública.** Atualização Florianópolis,66 p. 2012.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Centro Universitário de Pesquisa e Estudos sobre Desastres. **Capacitação básica em Defesa Civil.** Florianópolis: CAD UFSC, 2012. 122p.

VEYRET, Y. **Os Riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente.** São Paulo: Contexto, 2007. 319p.

VIGNATTI, M. A. P. **Modificações territoriais induzidas pelas usinas hidrelétricas do rio uruguai, no oeste catarinense.** 2013. 262 p. Tese (Doutorado em Geografia)-Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2013.

APÊNDICE 1 - ANÁLISE DE SÉRIE HISTÓRICA PARA A ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA DE IRAÍ.

Ano	Altura Máxima Anual do Nível d'Água do Rio Uruguai (m)	Intervalo de Ocorrência (TR anos)	Frequência
1983	17,70	74,00	1 %
1984	16,48	37,00	3 %
1965	15,50	24,67	4 %
1992	15,16	18,50	5 %
1990	13,96	14,80	7 %
2014	13	12,33	8 %
1972	12,08	10,57	9 %
1997	11,98	9,25	11 %
2010	11,31	8,22	12 %
1998	11,29	7,40	14 %
2011	11,225	6,73	15 %
1989	11,20	6,17	16 %
1987	11,10	5,69	18 %
2009	11,09	5,29	19 %
2015	10,85	4,93	20 %
1954	10,76	4,63	22 %
1950	10,50	4,35	23 %
2005	10,49	4,11	24 %
1999	10,25	3,89	26 %
1941	10,14	3,70	27 %
1957	9,98	3,52	28 %
2000	9,59	3,36	30 %
1977	9,55	3,22	31 %
1943	9,25	3,08	32 %
1948	8,95	2,96	34 %
2001	8,92	2,85	35 %
2008	8,90	2,74	36 %
1975	8,85	2,64	38 %
2013	8,71	2,55	39 %
1951	8,60	2,47	41 %
1982	8,56	2,39	42 %
1967	8,54	2,31	43 %
1979	8,33	2,24	45 %
1971	8,29	2,18	46 %
1963	8,28	2,11	47 %
1955	8,06	2,06	49 %
1973	7,98	2,00	50 %
1994	7,75	1,95	51 %
1969	7,67	1,90	53 %
2007	7,44	1,85	54 %
1961	7,40	1,80	55 %

1980	7,07	1,76	57 %
1976	7,04	1,72	58 %
1988	6,91	1,68	59 %
1953	6,85	1,64	61 %
1960	6,85	1,61	62 %
1959	6,80	1,57	64 %
1958	6,79	1,54	65 %
1996	6,74	1,51	66 %
1993	6,73	1,48	68 %
1970	6,66	1,45	69 %
1952	6,58	1,42	70 %
1995	6,55	1,40	72 %
2004	6,54	1,37	73 %
2003	6,28	1,35	74 %
1985	6,27	1,32	76 %
1986	6,23	1,30	77 %
1946	6,20	1,28	78 %
1956	6,15	1,25	80 %
1947	6,10	1,23	81 %
1942	6,05	1,21	82 %
2002	6,04	1,19	84 %
1974	5,33	1,17	85 %
2012	5,075	1,16	86 %
1978	4,60	1,14	88 %
1968	4,45	1,12	89 %
1981	4,40	1,10	91 %
1949	4,23	1,09	92 %
1964	3,99	1,07	93 %
2006	3,80	1,06	95 %
1944	3,62	1,04	96 %
1945	2,88	1,03	97 %
1962	2,00	1,01	99 %
