

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**MAPEAMENTO DAS ÁREAS COM RISCO DE INUNDAÇÃO  
DO RIO DOS SINOS NO MUNICÍPIO DE SÃO LEOPOLDO,  
RS**

**THIAGO BAZZAN**

**ORIENTADOR: PROF. DR. LUIS EDUARDO DE SOUZA ROBAINA**

**PORTO ALEGRE, SETEMBRO DE 2011**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**MAPEAMENTO DAS ÁREAS COM RISCO DE INUNDAÇÃO  
DO RIO DOS SINOS NO MUNICÍPIO DE SÃO LEOPOLDO,  
RS**

**THIAGO BAZZAN**

**Orientador: Prof. Dr. Luis Eduardo de Souza Robaina**

**Banca Examinadora:**

**Prof. Dr. Regis Alexandre Lahm (Geografia/FFCH/PUCRS)**

**Prof. Dr. Laurindo Antonio Guasselli (POSGea/IG/UFRGS)**

**Prof. Dr. Roberto Verdum (POSGea/IG/UFRGS)**

**Dissertação apresentada ao Programa  
de Pós-Graduação em Geografia como  
requisito para obtenção do título de  
Mestre em Geografia.**

**PORTO ALEGRE, SETEMBRO DE 2011**

Bazzan, Thiago

Mapeamento das áreas com risco de inundação do rio dos Sinos no município de São Leopoldo, RS. / Thiago Bazzan. - Porto Alegre : UFRGS/PPGea, 2011.  
135 f. il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Porto Alegre, RS - BR, 2011.

Orientador: Luis Eduardo de Souza Robaina

1. Geografia. 2. Inundação. 3. Suscetibilidade. 4. Perigo. 5. Vulnerabilidade. 6. Risco. I. Título.

---

Catálogo na Publicação  
Biblioteca do Instituto de Geociências - UFRGS  
Renata Cristina Grun CRB 10/1113

## **AGRADECIMENTOS**

---

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul e ao Programa de Pós-Graduação em Geografia pela oportunidade de realizar o mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao professor e orientador Luis Eduardo de Souza Robaina pela orientação, ensinamentos, conselhos, contribuições e por acreditar na realização desta pesquisa.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Geografia pelos ensinamentos e contribuições no desenvolvimento desta pesquisa.

A Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Nina Simone Vilaverde Moura Fujimoto pelas contribuições na qualificação da dissertação e pela orientação na disciplina de docência orientada.

Ao Prof. Dr. Roberto Verdum e ao Prof. Dr. Laurindo Antonio Guasselli pelo aceite em compor a banca examinadora e pelas contribuições nesta dissertação.

Ao Prof. Dr. Regis Alexandre Lahm, pelas oportunidades, ensinamentos, incentivo, apoio durante a realização do mestrado, pelo aceite em compor a banca examinadora e pelas contribuições.

Ao Secretário Darci Zanini, ao Diretor Fabiano De Mari e ao Engenheiro Agrônomo Luís Marcelo Tisian da Secretaria Municipal do Meio Ambiente de São Leopoldo (SEMMAM) pela disponibilização das bases cartográficas e bancos de dados.

Ao Coordenador Silomar Gomes da Coordenadoria Municipal de Defesa Civil (COMDEC) de São Leopoldo pela participação nos trabalhos de campo, orientação e indicação das principais áreas de risco.

Ao Engenheiro Ricardo Aoki do Projeto Cheias do Ministério da Integração pela disponibilização da planta de cheias de São Leopoldo.

Ao setor de cartografia da Fundação Estadual de Planejamento Metropolitano e Regional (METROPLAN) pela disponibilização dos aerofotogramas em formato digital.

Ao Diretor Márcio Link e funcionários do Museu Histórico Visconde de São Leopoldo pela disponibilização dos jornais para a pesquisa documental.

Aos meus pais Regina e Ricardo, meu irmão Rodrigo Bazzan e aos meus familiares por me incentivar, compreender os momentos de ausência e por acreditarem nos meus objetivos.

A Elisabete Weber Reckziegel, pelo incansável apoio, paciência, contribuições, carinho e pela companhia incondicional em todos os momentos.

Aos amigos com os quais compartilhei momentos importantes da vida. Em especial ao Marcelo Pedroso e Andréia Aurélio Silva, a Dionara De Nardin e Bernardo Miranda Wankler, com que pude dividir ótimos momentos.

Ao Geógrafo Lidson Berticelli Cancela e ao Engenheiro Cartógrafo Carlos Aluisio Mesquita de Almeida da Gauss Geotecnologia e Engenharia pelas oportunidades e pelo apoio.

Aos professores e funcionários técnico-administrativos da Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas (FFCH) e aos estagiários e bolsistas do Laboratório de Tratamento de Imagens e Geoprocessamento (LTIG) da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS), pelo apoio.

Enfim, a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização desta pesquisa.

Muito Obrigado!

**RESUMO**

---

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Geografia  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**MAPEAMENTO DAS ÁREAS COM RISCO DE INUNDAÇÃO DO RIO DOS SINOS  
NO MUNICÍPIO DE SÃO LEOPOLDO, RS.**

AUTOR: THIAGO BAZZAN  
ORIENTADOR: LUIS EDUARDO DE SOUZA ROBAINA  
Data e Local da Defesa: Porto Alegre, 26 de setembro de 2011.

As inundações podem provocar impactos negativos para a economia com elevados prejuízos financeiros e problemas sociais. Esta é uma problemática do município de São Leopoldo localizado no estado do Rio Grande do Sul, onde ocorrem frequentes inundações. O objetivo geral desta pesquisa consiste em mapear as áreas com risco de inundação do rio dos Sinos no município de São Leopoldo. Para atingir esse objetivo foram realizados estudos sobre o histórico das inundações ocorridas entre 1980 e 2009, suscetibilidade, perigo, vulnerabilidade e risco. Os procedimentos metodológicos envolveram quatro etapas: levantamento, organização e processamento dos dados, análise e correlação das informações, síntese e integração das informações cartográficas. Os materiais utilizados foram imagens de satélite, aerofotogramas, cartas topográficas, dados hidrológicos e documentos. Os produtos cartográficos foram gerados por meio de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto em Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Os resultados indicam que ao longo da série histórica analisada as inundações apresentaram uma significativa variabilidade espacial e temporal de ocorrência. A suscetibilidade mostra que dos treze bairros localizados na planície do rio dos Sinos, seis apresentaram ocorrência de inundação no período analisado. As principais áreas de perigo, vulnerabilidade e risco de inundação estão localizadas em três bairros: Rio dos Sinos, Pinheiro e Feitoria. O uso das informações produzidas nesta pesquisa podem contribuir para a tomada de decisões ligadas a trabalhos, planos de prevenção de desastres, direcionamento de políticas de planejamento e ordenamento territorial na gestão de riscos de inundações no município de São Leopoldo.

**Palavras-Chave:** Inundação, Suscetibilidade, Perigo, Vulnerabilidade, Risco.

**ABSTRACT**

---

Master Dissertation  
Geography Post Graduation Program  
Federal University of Rio Grande do Sul

**MAPPING OF FLOOD RISK AREAS OF THE SINOS RIVER IN THE  
MUNICIPALITY OF SÃO LEOPOLDO, RS.**

AUTHOR: THIAGO BAZZAN  
ADVISER: LUIS EDUARDO DE SOUZA ROBAINA  
Defense Place and Date: Porto Alegre, September 26<sup>nd</sup>, 2011.

Floods cause negative impacts to the economy with high financial losses and social problems. This is a problem in São Leopoldo located in the state of Rio Grande do Sul (RS). The objective of this research is mapping of flood risk areas of the Sinos river in the municipality of São Leopoldo. Studies were conducted on the history of floods between 1980 and 2009, susceptibility, hazard, vulnerability and risk. The methodological procedures corresponded to four steps: data collection, organization and data processing, analysis and correlation of information, synthesis and integration of information. The materials used were satellite images, aerial photography, topographic and hydrologic data. The map products were generated using geoprocessing and remote sensing techniques in Geographic Information Systems (GIS). The results indicate that over the time series analyzed the floods had a significant spatial and temporal variability of occurrence. The susceptibility shows that the thirteen neighborhoods located in the plain of the Sinos River, six showed the occurrence of flooding during the period. The main areas of hazard, vulnerability and risk of flooding are located in three neighborhoods: Rio dos Sinos, Pinheiro e Feitoria. The use of the information produced in this research can contribute to decision making related to work plans, disaster prevention, targeting planning policies and land use in flood risk management in the municipality of São Leopoldo.

**Key-Word:** Flood, Susceptibility, Hazard, Vulnerability, Risk.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização do município de São Leopoldo - RS.....	20
Figura 2: Perfil esquemático do processo de enchente e inundação.....	24
Figura 3: Perfil transversal representativo de uma planície de inundação.....	25
Figura 4: Régua linimétrica com cota fluviométrica máxima de 4 metros.....	47
Figura 5: Régua linimétrica com cota fluviométrica máxima de 6 metros.....	47
Figura 6: Matriz de cruzamento para obtenção do risco.....	55
Figura 7: Procedimentos metodológicos utilizados para o desenvolvimento da pesquisa.....	57
Figura 8: Distribuição anual das inundações entre 1980 e 2009, São Leopoldo - RS.....	58
Figura 9: Distribuição mensal das inundações entre 1980 e 2009, São Leopoldo - RS.....	59
Figura 10: Distribuição das inundações por bairro entre 1980 e 2009, São Leopoldo - RS.....	59
Figura 11: Mapa dos bairros com registro de inundação entre 1980 e 2009, São Leopoldo - RS.....	61
Figura 12: Distribuição anual das inundações entre 1980 e 1988, São Leopoldo - RS.....	62
Figura 13: Distribuição mensal das inundações entre 1980 e 1988, São Leopoldo - RS.....	63
Figura 14: Distribuição das inundações por bairro entre 1980 e 1988, São Leopoldo - RS.....	63
Figura 15: Inundação do rio dos Sinos em junho de 1982, São Leopoldo - RS.....	64
Figura 16: Mapa dos bairros com registro de inundação entre 1980 e 1988, São Leopoldo - RS.....	65
Figura 17: Distribuição anual das inundações entre 1989 e 1999, São Leopoldo - RS.....	66
Figura 18: Distribuição mensal das inundações entre 1989 e 1999, São Leopoldo - RS.....	67
Figura 19: Distribuição das inundações por bairro entre 1989 a 1999, São Leopoldo - RS.....	67
Figura 20: Mapa dos bairros com registro de inundação entre 1989 e 1999, São Leopoldo - RS.....	68
Figura 21: Distribuição anual das inundações entre 2000 e 2009, São Leopoldo - RS.....	69
Figura 22: Distribuição mensal das inundações entre 2000 e 2009, São Leopoldo - RS.....	70
Figura 23: Distribuição das inundações por bairro entre 2000 e 2009, São Leopoldo - RS.....	70
Figura 24: Áreas do bairro Rio dos Sinos inundadas em maio de 2008.....	71
Figura 25: Bairro Pinheiro atingido pela inundação em maio de 2008, São Leopoldo - RS.....	71
Figura 26: Mapa dos bairros com registro de inundação entre 2000 e 2009, São Leopoldo - RS.....	72
Figura 27: Área ocupada pelas inundações do rio dos Sinos, São Leopoldo - RS.....	73
Figura 28: Mapeamento das áreas inundadas nas imagens de satélite, São Leopoldo - RS.....	74
Figura 29: Área inundada dos bairros na planície do rio dos Sinos, São Leopoldo - RS.....	75
Figura 30: Mapa das áreas inundadas em São Leopoldo entre 1980 e 2009.....	76
Figura 31: Mapa hipsométrico do município de São Leopoldo - RS.....	78
Figura 32: Mapa de declividades do município de São Leopoldo - RS.....	79
Figura 33: Área ocupada pelos bairros na planície do rio dos Sinos, São Leopoldo - RS.....	80
Figura 34: Mapa da planície fluvial do rio dos Sinos no município de São Leopoldo - RS.....	81
Figura 35: Perfil topográfico A-A' da planície do rio dos Sinos no baixo curso, São Leopoldo - RS....	82
Figura 36: Perfil topográfico B-B' da planície do rio dos Sinos no médio curso, São Leopoldo - RS. .	83
Figura 37: Perfil topográfico C-C' da planície do rio dos Sinos no alto curso, São Leopoldo - RS. ....	83
Figura 38: TR em relação a área dos bairros na planície do rio dos Sinos, São Leopoldo - RS. ....	86

Figura 39: Mapa do Tempo de Retorno das inundações do rio dos Sinos, São Leopoldo - RS. ....	87
Figura 40: Dique de proteção contra inundações do rio dos Sinos no Centro, São Leopoldo - RS. ....	88
Figura 41: Dique de proteção contra inundações no bairro Santos Dumont, São Leopoldo - RS. ....	89
Figura 42: Canal de extravasamento do rio dos Sinos, bairro Rio dos Sinos, São Leopoldo - RS. ....	89
Figura 43: Nível de gerenciamento das inundações nos bairros, São Leopoldo - RS. ....	90
Figura 44: Mapa de gerenciamento das inundações no município de São Leopoldo - RS. ....	91
Figura 45: Áreas urbanas dos bairros em relação ao perigo de inundações, São Leopoldo - RS. ....	92
Figura 46: Mapa das áreas com perigo de inundações do rio dos Sinos, São Leopoldo - RS. ....	93
Figura 47: Áreas com perigo de inundações no bairro Rio dos Sinos, São Leopoldo - RS. ....	94
Figura 48: Áreas com perigo de inundações no bairro Pinheiro, São Leopoldo - RS. ....	94
Figura 49: Áreas com perigo de inundações no bairro Feitoria, São Leopoldo - RS. ....	95
Figura 50: Área urbana dos bairros em 1978, na planície do rio dos Sinos, São Leopoldo - RS. ....	96
Figura 51: Área urbana dos bairros em 1990, na planície do rio dos Sinos, São Leopoldo - RS. ....	96
Figura 52: Área urbana dos bairros em 2000, na planície do rio dos Sinos, São Leopoldo - RS. ....	97
Figura 53: Área urbana dos bairros em 2009, na planície do rio dos Sinos, São Leopoldo - RS. ....	97
Figura 54: Área urbana entre 1978 e 2009, na planície do rio dos Sinos, São Leopoldo - RS. ....	98
Figura 55: Área urbanizada entre 1978 e 2009, na planície do rio dos Sinos, São Leopoldo - RS. ....	98
Figura 56: Áreas urbanas de 1978 a 2009, na planície do rio dos Sinos, São Leopoldo - RS. ....	99
Figura 57: Mapa do crescimento urbano (1978-2009), planície do rio dos Sinos, São Leopoldo-RS. ....	100
Figura 58: Uso do solo e padrão urbano da área urbana por bairro, São Leopoldo - RS. ....	102
Figura 59: Mapa de uso do solo, planície de inundações do rio dos Sinos, São Leopoldo - RS. ....	103
Figura 60: Vulnerabilidade dos elementos expostos das áreas urbanas, São Leopoldo - RS. ....	104
Figura 61: Mapa da vulnerabilidade dos elementos expostos, São Leopoldo - RS. ....	105
Figura 62: Inundação no bairro Rio dos Sinos, 16 de setembro de 2009, São Leopoldo - RS. ....	106
Figura 63: Inundação no bairro Pinheiro em 16 de setembro 2009, São Leopoldo - RS. ....	107
Figura 64: Inundação no bairro Feitoria em 16 de setembro 2009, São Leopoldo - RS. ....	108
Figura 65: Inundação no bairro Feitoria em 16 de setembro 2009, São Leopoldo - RS. ....	108
Figura 66: Mapa de recorrência de inundações do rio dos Sinos, São Leopoldo - RS. ....	109
Figura 67: Vulnerabilidade às inundações nos bairros, São Leopoldo - RS. ....	111
Figura 68: Mapa da vulnerabilidade a inundações do rio dos Sinos, São Leopoldo - RS. ....	112
Figura 69: Áreas com vulnerabilidade a inundações no bairro Rio dos Sinos, São Leopoldo - RS. ....	113
Figura 70: Áreas com vulnerabilidade a inundações no bairro Pinheiro, São Leopoldo - RS. ....	113
Figura 71: Áreas com vulnerabilidade a inundações no bairro Feitoria, São Leopoldo - RS. ....	114
Figura 72: Áreas urbanas com risco de inundações do rio dos Sinos, São Leopoldo - RS. ....	115
Figura 73: Mapa das áreas de risco de inundações do rio dos Sinos, São Leopoldo - RS. ....	116
Figura 74: Áreas com risco de inundação no bairro Rio dos Sinos, São Leopoldo - RS. ....	117
Figura 75: Áreas com risco de inundação no bairro Pinheiro, São Leopoldo - RS. ....	118
Figura 76: Área com alto risco de inundação no bairro Pinheiro, São Leopoldo - RS. ....	118
Figura 77: Áreas com risco de inundação no bairro Feitoria, São Leopoldo - RS. ....	119
Figura 78: Área com alto risco de inundação no bairro Feitoria, São Leopoldo - RS. ....	120

## LISTA DE QUADROS

---

Quadro 1: Principais conceitos e definições .....	43
Quadro 2: Especificações das imagens do satélite LANDSAT-5 .....	45
Quadro 3: Especificação das imagens do satélite QUICKBIRD-2.....	46
Quadro 4: Especificação dos aerofotogramas .....	46
Quadro 5: Dados da estação fluviométrica, São Leopoldo - RS .....	47
Quadro 6: Descrição das classes de uso do solo e padrão urbano .....	50
Quadro 7: Descrição e peso das classes de intensidade e frequência de inundações.....	52
Quadro 8: Descrição e peso das classes de gerenciamento das inundações .....	52
Quadro 9: Descrição e pesos das classes de elementos expostos.....	53
Quadro 10: Descrição e peso das classes de recorrência de inundações.....	53
Quadro 11: Descrição e peso das classes de perigo à inundações .....	54
Quadro 12: Descrição e peso das classes de vulnerabilidade à inundações.....	55
Quadro 13: Descrição e peso das classes de risco à inundações .....	56
Quadro 14: Série histórica das inundações do rio dos Sinos, São Leopoldo - RS.....	60

**LISTA DE TABELAS**

---

Tabela 1: Cotas anuais máximas no período de 1980 a 2009 .....	84
Tabela 2: Tempo de retorno e cotas topográficas .....	85

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

---

ANA - Agência Nacional de Águas  
CBERS - China-Brazil Earth Resources Satellite  
COMDEC - Coordenadoria Municipal de Defesa Civil  
CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais  
FEPAM - Fundação de Estadual de Proteção Ambiental  
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas  
ISDR - International Strategy for Disaster Reduction  
LANDSAT - Land Remote Sensing Satellite  
NIR - Near Infrared Band  
METROPLAN - Fundação Estadual de Planejamento Metropolitano e Regional  
MIR - Midle Infrared Band  
MNDWI - Modified Normalized Difference Water Index  
MNT - Modelo Numérico Terreno  
SEMMAM - Secretaria de Meio Ambiente  
SEPLAN - Secretaria de Planejamento  
SIG - Sistema de Informação Geográfica  
SIRGAS - Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas  
SPRING - Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas  
TR - Tempo de Retorno  
UNEP - United Nations Environment Programme  
UNDRO - United Nations Disaster Relief Organization  
UNU - United Nations University  
UTM - Universal Transversa de Mercator

## SUMÁRIO

---

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>15</b>
1.1. Justificativas	17
1.2. Objetivo Geral e Específicos	18
1.3. Área de Estudo	18
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO-METODOLÓGICO</b>	<b>23</b>
2.1. Inundações	23
2.2. Perigo	26
2.2.1. Avaliação do Perigo de Inundação	28
2.3. Elementos Expostos	30
2.4. Vulnerabilidade	32
2.4.1. Avaliação da Vulnerabilidade	34
2.5. Risco	35
2.5.1. Avaliação do Risco	38
2.5.2. Avaliação do Risco de Inundação	40
<b>3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b>	<b>44</b>
3.1. Levantamento dos Dados	44
3.1.1. Ocorrência de Inundações	44
3.1.2. Dados Cartográficos	44
3.1.3. Dados Hidrológicos	46
3.2. Processamento dos Dados	48
3.2.1. Série Histórica	48
3.2.2. Dados Topográficos	48
3.2.3. Imagens do Satélite LANDSAT	49
3.2.4. Limites das Inundações Históricas	49
3.2.5. Aerofotogramas e Imagem QUICKBIRD	50
3.2.6. Cotas Fluviométricas	51
3.3. Análise e Correlação das Informações	51
3.3.1. Intensidade e Frequência das Inundações	51
3.3.2. Suscetibilidade às Inundações	52
3.3.3. Gerenciamento das Inundações	52
3.3.4. Elementos Expostos	52
3.3.5. Recorrência das Inundações	53
3.4. Síntese e Integração das Informações	53

3.4.1. Perigo de Inundações	53
3.4.2. Vulnerabilidade à Inundações	54
3.4.3. Risco de Inundações	55
<b>4. RESULTADOS</b>	<b>58</b>
4.1. Série Histórica das Inundações do Rio dos Sinos	58
4.1.1. Inundações entre 1980 e 1988	62
4.1.2. Inundações entre 1989 e 1999	66
4.1.3. Inundações entre 2000 a 2009	69
4.2. Perigo de Inundações	73
4.2.1. Suscetibilidade às Inundações	73
4.2.1.1. Mapeamento das Inundações	73
4.2.1.2. Análise das Características do Relevo	77
4.2.1.3. Compartimentação da Planície Fluvial	80
4.2.2. Intensidade e Frequência das Inundações	83
4.2.3. Gerenciamento das Inundações	88
4.2.4. Mapeamento e Análise do Perigo de Inundações	92
4.3. Avaliação da Vulnerabilidade às Inundações	95
4.3.1. Urbanização entre 1980 e 2009	95
4.3.2. Mapeamento do Uso e Padrão Urbano	101
4.3.3. Vulnerabilidade dos Elementos Expostos	104
4.3.4. Áreas com Recorrência de Inundações	106
4.3.5. Determinação da Vulnerabilidade às Inundações	110
4.4. Áreas de Risco de Inundação	114
<b>5. CONCLUSÕES</b>	<b>121</b>
<b>6. REFERÊNCIAS</b>	<b>124</b>

# 1. INTRODUÇÃO

O uso e a ocupação do espaço geográfico pelas populações ocorreram, ao longo dos séculos, em locais com predisposição natural a ocorrência de fenômenos extremos como, por exemplo, inundações em áreas de planícies, movimentos de massa em áreas montanhosas, terremotos em zonas sísmicas e tempestades severas e tsunamis em zonas costeiras.

A ocupação dessas áreas, em decorrência do uso dos recursos naturais e a necessidade de desenvolvimento econômico proporcionaram a formação e consolidação de grande parte das cidades do mundo. Como consequência desse processo ocorreram grandes adensamentos populacionais e acúmulo do capital em cidades, em especial, com o processo de industrialização no século XX que impulsionou a urbanização.

As relações estabelecidas entre a dinâmica de fenômenos naturais adversos e a ocupação antrópica resultaram no surgimento de áreas ou zonas de risco, onde muitas vezes, ocorrem desastres naturais de significativa dimensão com perdas sociais e econômicas.

Os desastres naturais, segundo Alcántara-Ayala (2002), ocorrem em todo o mundo, mas seu impacto é maior em países em desenvolvimento, onde são mais frequentes. Além da alta frequência dos desastres naturais, as baixas condições sociais e econômicas tem como resultado grandes perdas, principalmente humanas, além da grande dificuldade da reconstrução pós-desastre.

Ao analisar globalmente os desastres naturais a partir de duas abordagens distintas, uma social e outra econômica, Andre (2004) verificou que nos países em desenvolvimento o aspecto social representa o elemento mais exposto aos desastres, enquanto que nos países desenvolvidos a tendência se inverte e os elementos econômicos são os de maior exposição aos desastres naturais.

O banco de dados global sobre desastres disponibilizado pelo *Emergency Events Database* (EM-DAT) do *Centre for Research on the Epidemiology of Disasters* (CRED) da Universidade de Louvain, na Bélgica, mostra que entre 1900 e 2008 ocorreram 11.516 desastres naturais. As inundações aparecem como os desastres naturais com maior frequência representando 31.8% do total dos registros históricos.

Alcántara-Ayala (2002) afirma que a Ásia e a América Latina compartilham a maior concentração de riscos associados a inundações, devido a furacões, ciclones, tempestades tropicais, tufões e monções. Além disso, a alta vulnerabilidade social e econômica devido às baixas condições sociais, políticas, econômicas e culturais contribui ainda mais para que a ocorrência dos desastres provoque impactos negativos.

Hetú (2003) coloca que um desastre ou uma catástrofe, embora qualificada como natural, é antes de tudo e de qualquer coisa um fenômeno social. Nessa perspectiva, o desastre pode revelar o nível de organização social e econômica nas áreas onde ocorrem.

A ocorrência de desastres naturais, conforme Mattedi e Butzke (2001) reflete um aspecto do processo complexo por quais pessoas interagem com eventos naturais adversos, ou seja, ocorre na interface sociedade-natureza. Dessa forma, a análise dos desastres e riscos naturais deve levar em consideração tanto a dinâmica dos sistemas ambientais quanto dos sistemas sociais.

Ao longo da última década, ampliaram-se as pesquisas voltadas para o conhecimento, previsão e controle de desastres naturais e definição de áreas de risco. Tais estudos vêm sendo inspirados pelas elevadas perdas sociais e materiais resultantes de eventos catastróficos, inclusive nos casos em que os processos naturais são potencializados por ações sociais (MAIA, 2002).

Atualmente, vêm aumentando gradativamente a frequência com que ocorrem as inundações e também os prejuízos que elas causam. Isto pode estar associado ao aumento do número de ocupações nas planícies de inundação (KOBAYAMA *et al.*, 2006). Além disso, as discussões relatadas pelo IPCC (2007) apontam as mudanças climáticas como uma das principais responsáveis pelos desastres relacionados a dinâmica externa como, por exemplo, inundações, tempestades e secas. Outro fator que contribui para o aumento da frequência das inundações são as intervenções antrópicas através da modificação das drenagens.

Assim, o estudo de áreas inundáveis se reveste de grande importância, visto que, de acordo com UNU (2004) estima-se que o número da população mundial vulnerável às inundações devastadoras cresça rapidamente para 2 bilhões de pessoas até 2050 em terras propensas à inundação, devido a mudanças climáticas, desmatamentos, aumento do nível do mar e crescimento populacional.

Cada ano, em média, as inundações matam mais de 9.000 pessoas e afetam mais de 115 milhões de outras pessoas. Com mais 19 bilhões de dólares em prejuízos econômicos, as enchentes são a segunda catástrofe natural mais cara após as tempestades (GUHA-SAPIR, 2008). Além das perdas financeiras e de vidas humanas provocadas pelas inundações, somam-se os problemas de saúde relacionados ao contato com águas contaminadas, principalmente, nas áreas urbanas.

A partir do exposto, verifica-se que a ocorrência de desastres naturais provocados pelas inundações está relacionada com a localização de elementos vulneráveis, representados pela população e bens econômicos, em áreas com características geoambientais que apresentam predisposição a ocorrência desses fenômenos.

## **1.1. Justificativas**

As inundações representam um dos principais problemas socioambientais encontrados nos municípios localizados ao longo do rio dos Sinos no Rio Grande do Sul. Ao longo das últimas décadas, inundações historicamente provocaram impactos negativos para a economia, com elevados prejuízos financeiros e problemas sociais, em especial, das áreas urbanas localizadas na faixa de planície do rio dos Sinos.

A escolha das inundações como problema de pesquisa e do município de São Leopoldo como área de estudo justifica-se pela necessidade de uma análise do risco de inundação a partir de uma abordagem geográfica integrada e sistêmica que identifique a dinâmica das inundações e dos usos e ocupações urbanas.

A análise das áreas de risco pode contribuir com propostas metodológicas para entender e prever os padrões de comportamento da dinâmica natural e social através de hierarquizações e mapeamentos proporcionando ferramentas para reduzir o risco e a vulnerabilidade na área de estudo. As informações produzidas nesta pesquisa podem oferecer subsídios para os tomadores de decisão na gestão de riscos de inundações.

## 1.2. Objetivo Geral e Específicos

O objetivo geral desta pesquisa consiste em mapear áreas com risco de inundação do rio dos Sinos no município de São Leopoldo. Para atingir essa proposta desenvolveram-se os seguintes objetivos específicos:

- Levantar as inundações do rio dos Sinos causadoras de desastres entre os anos de 1980 a 2009;
- Analisar a distribuição espacial e temporal das inundações do rio dos Sinos;
- Identificar e delimitar as áreas com perigo de inundação;
- Determinar a vulnerabilidade do uso e ocupação urbana.

## 1.3. Área de Estudo

A área de estudo corresponde ao município de São Leopoldo localizado no estado do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas geográficas de 29° 40' e 29° 48' S e 51° 04' e 51° 12' W. De acordo com o IBGE (2010) a população é de 214.087 habitantes e a densidade demográfica é de 2.083,79 habitante/km<sup>2</sup>. O município apresenta uma área de 103,6 km<sup>2</sup> e está situado no baixo curso da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, como mostra a Figura 1.

A ocupação do baixo curso da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, onde está localizado o município de São Leopoldo, é caracterizada, segundo FEPAM (2008), pela grande concentração populacional e industrial. As principais formas de uso da água do rio dos Sinos são para atividades de irrigação, processos industriais, abastecimento público e recreação. Ocorrem usos associados a extração de areia e argila próximo as margens do rio dos Sinos.

Com relação aos aspectos físicos relacionados ao relevo destaca-se que, segundo SEPLAN (2006), o município de São Leopoldo é caracterizado por duas grandes unidades geomorfológicas regionalmente identificadas como Patamares da Serra Geral e Depressão Periférica. Os Patamares da Serra são representados por relevos residuais, em forma de colinas e morros testemunhos com topos aplainados.

A Depressão Periférica está representada pela planície do rio dos Sinos que apresenta uma morfologia com perfis suaves.

A geologia do município de São Leopoldo é caracterizada pela presença de depósitos sedimentares, arenitos, siltitos e argilitos da Bacia do Paraná (CPRM, 2006). Os depósitos correspondentes aos Depósitos Aluvionares Atuais ocorrem ao longo do rio dos Sinos enquanto os Depósitos de Leques Aluviais ocorrem ao longo dos principais canais contribuintes. Os siltitos, argilitos e arenitos da Formação Sanga do Cabral estão associados às colinas e os arenitos da Formação Botucatu estão associados às colinas e morros testemunhos.

Os solos que ocorrem no município de São Leopoldo, de acordo com Nascimento (2001 *apud* BARRETA, 2007), são de quatro tipos: Gleissolos e Planossolos Háplicos, Argissolos Amarelos Eutróficos, Argissolo Vermelhos Distróficos Típicos ou Abrúpticos e Nitossolos Vermelhos Distróficos Argissólicos. Os Gleissolos e Planossolos Háplicos estão associados às porções de relevo plano e em baixas altitudes, os Argissolos Amarelos Eutróficos estão associados às áreas planas e suavemente onduladas, e os Argissolos Vermelhos Distróficos Típicos ou Abrúpticos e Nitossolos Vermelhos Distróficos Argissólicos em áreas fortemente onduladas em maiores altitudes.

O clima, no contexto da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, segundo Rolon *et al.* (2003), é considerado como subtropical úmido sem estiagem e precipitação média anual que varia entre 1.200 e 2.000 mm/ano.

Entre os aspectos ambientais destaca-se a presença de áreas úmidas<sup>1</sup> existentes na planície de inundação do rio dos Sinos. Estudos realizados por Maltchick (2003) e Bertoluci (2004) destacam a importância da conservação dessas áreas úmidas devido a alta biodiversidade que envolve comunidades de algas (macrófitas) e macroinvertebrados. Além disso, as áreas úmidas exercem um importante papel no controle das inundações do rio dos Sinos, em São Leopoldo.

A problemática das inundações do rio dos Sinos em São Leopoldo é histórica e acompanha a formação do município. Moehlecke (1982) relata inundações ocorridas em São Leopoldo a partir de 1921 e destaca as de 1941 e 1965.

---

<sup>1</sup> Carvalho e Ozório (2007) colocam que as áreas úmidas são ecossistemas que permanecem inundados durante um tempo suficiente para ocorrer o estabelecimento de solos encharcados e de plantas aquáticas.

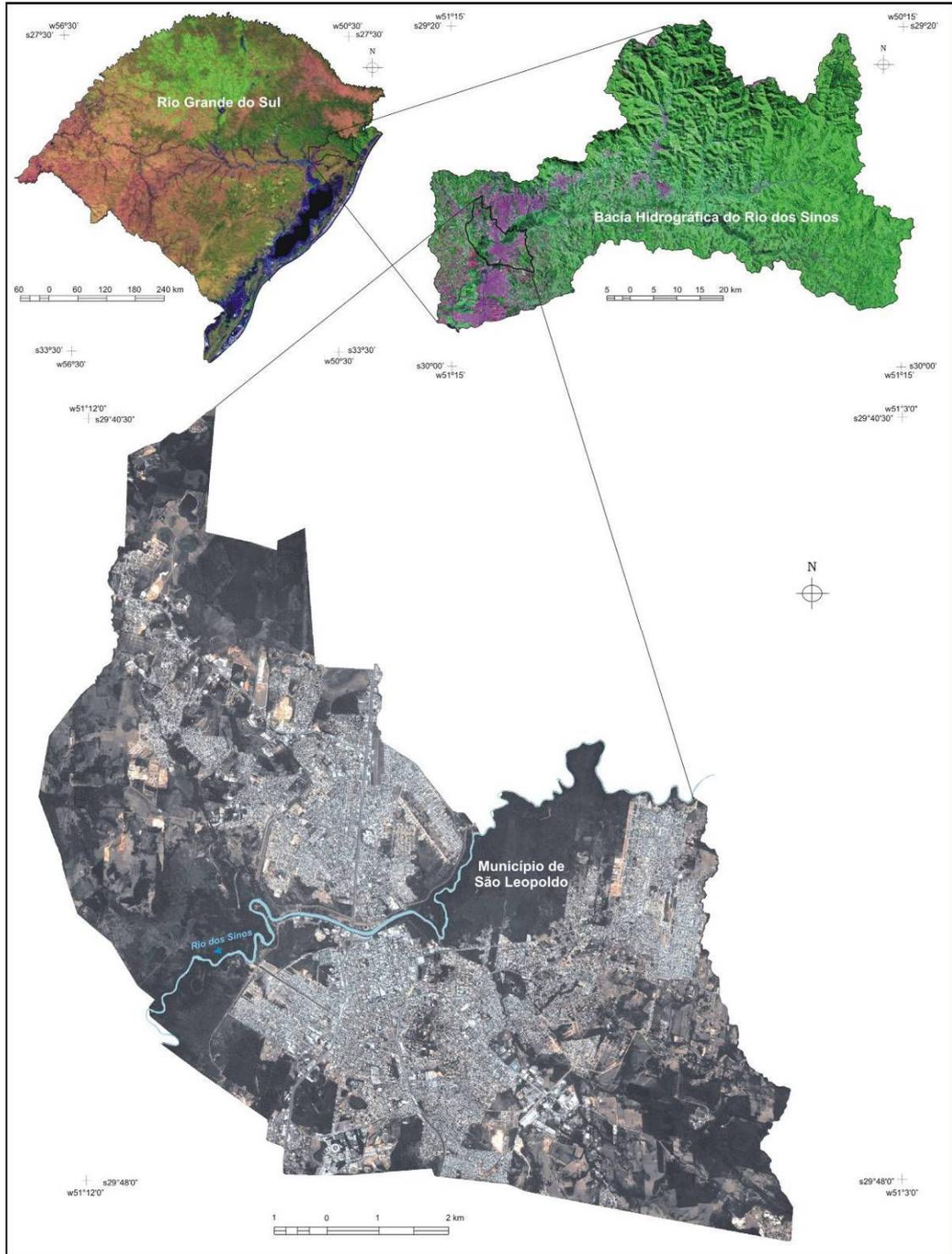


Figura 1: Localização do município de São Leopoldo - RS.

A hipótese, conforme METROPLAN (2001), de ocorrerem grandes inundações, no rio dos Sinos, como as registradas em 1941 e 1965, demandou ações no sentido de promover as cidades afetadas pelo problema, de um sistema de proteção considerado na época de sua implantação de grande magnitude estrutural e inovação tecnológica.

Neste contexto, surgiu o planejamento hidrológico do rio dos Sinos, um dos primeiros estudos com ênfase nas inundações, realizado por Rio Grande do Sul (1969) cujo principal objetivo era fornecer uma solução técnica para a proteção contra as cheias periódicas no curso inferior do rio dos Sinos, de Canoas até Campo Bom, para viabilizar de forma adequada o processo de uso e ocupação dessas áreas.

Em 1976, de acordo com SEPLAN (2006), foi iniciado o Projeto de Controle de Cheias do rio dos Sinos, gerenciado pelo Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS), que visava a contenção das inundações. Fazem parte deste projeto casas de bombas, cortinas e muro de proteção na zona central de São Leopoldo, diques de terra, galerias e canais extravasadores. O DNOS foi extinto em 1992 e atualmente o controle e a manutenção dos diques ainda está sob o controle de técnicos do governo federal.

Mesmo após a implantação de sistemas de proteção, Risso e Giugno (1994) identificaram no rio dos Sinos áreas com potencial de inundações através do mapeamento sistemático das cheias máximas. Também, identificaram e verificaram a existência de áreas de conflito, quanto à ocupação urbana em áreas inundáveis, inclusive no município de São Leopoldo.

Além disso, Saldanha *et al.* (1996) realizaram uma avaliação das áreas inundáveis do rio dos Sinos utilizando e integrando imagens satélite, para o período de estiagem e de cheia com dados pluviométricos, fluviométricos e fisiográficos que definiram três setores com distintas respostas pluviométricas e diferentes dinâmicas de ocupação devido à estrutura espacial e física da planície.

Com relação à ocupação urbana e as áreas de risco na planície, destaca-se a região de influência do rio dos Sinos, entre os municípios de São Leopoldo e Campo Bom, na qual Robaina *et al.* (1997) coloca que dentre os processos de risco, as enchentes/inundações são as que mais tem causado preocupação e gastos para a administração pública.

Robaina (1999) conclui que as ocupações que ocorrem na planície do rio dos Sinos, em geral, apresentam baixo padrão urbano e se encontram nas zonas mais fragilizadas ficando mais expostas a riscos ambientais, neste caso, pelas inundações que ocorrem na região de influência do rio dos Sinos entre os municípios de São Leopoldo e Campo Bom.

Penteado (2006) estudando as principais alterações na rede hídrica da bacia hidrográfica do arroio Kruze, um dos principais afluentes do rio dos Sinos, no município de São Leopoldo, observou que as ocupações nas margens dos rios ocasionam, entre outros fatores, a queda da qualidade da água, e processos naturais como as inundações, transformam-se em problemas sociais e econômicos.

As inundações, de acordo com o levantamento de desastres naturais ocorridos entre 1980 e 2005 realizado por Reckziegel (2007), estão entre os eventos com maior número de ocorrências no Rio Grande do Sul no qual destaca-se o município de São Leopoldo como aquele em que incidiram mais de 20 ocorrências de desastres desencadeados por enchentes.

As inundações provocadas pelo extravasamento das águas do rio dos Sinos no município de São Leopoldo, também foram estudadas por Bazzan (2008) que analisou a distribuição espaço-temporal dos eventos e identificou as áreas com perigo de inundação a partir da integração de informações sobre os registros das inundações, imagens de satélite e dados topográficos na bacia hidrográfica do rio dos Sinos.

Destaca-se ainda, a avaliação realizada por Lacruz *et al.* (2008) e as análises e mapeamentos elaborados por Sausen *et al.* (2009) da inundação de grande intensidade ocorrida em maio de 2008 causada pela passagem de um ciclone extratropical que atingiu diversos municípios localizados, principalmente, na bacia hidrográfica do rio dos Sinos e no litoral norte do Rio Grande do Sul.

Com relação a estudos e mapeamentos mais recentes no âmbito da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, destaca-se Oliveira *et al.* (2009) que realizaram o mapeamento das áreas inundáveis, Brubacher *et al.* (2011) que analisaram a suscetibilidade as inundações e Luerce *et al.* (2011) que estabeleceram a relação entre a distribuição espacial e temporal das chuvas com as inundações do rio dos Sinos.

A partir do exposto, observa-se que no âmbito da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, existem diversos estudos relacionados às inundações, entretanto, estudos de maior detalhe onde a discussão se faça à nível municipal, ainda são incipientes em São Leopoldo e outros municípios.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO-METODOLÓGICO

A fundamentação teórica aborda o conjunto conceitual, metodológico-operacional no estudo do risco de inundação. Para tanto, foram estruturados 4 tópicos que apresentam as referências teórico-metodológicas da pesquisa: inundação, perigo, vulnerabilidade e risco.

### 2.1. Inundações

O processo de inundação pode ser definido de uma forma mais ampla, de acordo com Castro (1998), como o transbordamento de água da calha normal de rios, mares, lagos e açudes, ou acumulação de água por drenagem deficiente, em áreas não habitualmente submersas.

Castro (2003) classifica as inundações em função do padrão evolutivo como: enchentes ou inundações graduais, enxurradas ou inundações bruscas, alagamentos e inundações litorâneas.

Na inundação gradual ou enchente as águas elevam-se de forma paulatina e previsível; mantêm-se em situação de cheia durante algum tempo e, a seguir, escoam-se gradualmente. Normalmente, as inundações graduais são cíclicas e nitidamente sazonais. Relacionam-se muito mais com períodos demorados de chuvas contínuas do que com chuvas intensas e concentradas. O fenômeno caracteriza-se por sua abrangência e grande extensão.

As inundações bruscas ou enxurradas são provocadas por chuvas intensas e concentradas, em regiões de relevo acidentado, caracterizando-se por produzirem súbitas e violentas elevações dos caudais, os quais escoam-se de forma rápida e intensa. As enxurradas são típicas de regiões acidentadas e normalmente ocorrem em bacias ou sub-bacias de médio e pequeno porte.

Os alagamentos são águas acumuladas no leito das ruas e nos perímetros urbanos por fortes precipitações pluviométricas, em cidades com sistemas de drenagem deficientes. Nos alagamentos, o extravasamento das águas depende muito mais de uma drenagem deficiente, que dificulta a vazão das águas acumuladas, do que das precipitações locais.

As inundações litorâneas são provocadas pela brusca invasão do mar, normalmente caracterizam-se como desastres secundários, podendo ser provocadas por vendavais e tempestades marinhas, ciclones tropicais, trombas da água, Tsunamis e ressacas muito intensificadas. O fenômeno ocorre, principalmente, em costas pouco elevadas de continentes ou de ilhas rasas.

Outra proposta de classificação das inundações é apresentada pelo IPT (2004) que classifica os processos hidrológicos que atuam exclusivamente na calha principal do rio em duas categorias: enchente ou cheia e inundação.

A enchente ou cheia é a elevação temporária do nível da água em um canal de drenagem devido ao aumento da vazão ou descarga. Por sua vez, a inundação consiste no processo de extravasamento das águas do canal de drenagem para as áreas marginais (planície de inundação, várzea ou leito maior do rio) quando a enchente atinge cota acima do nível máximo da calha principal do rio. A Figura 2 apresenta um perfil esquemático do processo, segundo IPT (2004).

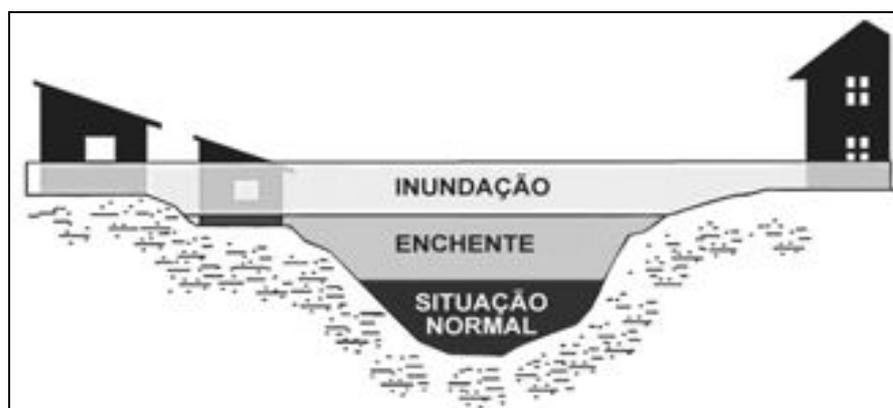


Figura 2: Perfil esquemático do processo de enchente e inundação.  
Fonte: IPT (2004).

Os alagamentos e enxurradas são classificados pelo IPT (2004) como processos hidrológicos que podem ocorrer associados, ou não, com os de natureza fluvial. Define-se alagamento como o acúmulo momentâneo de águas em uma dada área por problemas no sistema de drenagem. Já a enxurrada é definida como o escoamento superficial concentrado e com alta energia de transporte.

Tucci (2005) apresenta uma tipologia com base no escoamento pluvial que pode produzir inundações e impactos nas áreas urbanas devido a dois processos, que ocorrem isoladamente ou combinados: inundações em áreas ribeirinhas e/ou inundações devido a urbanização.

As inundações de áreas ribeirinhas são as naturais que ocorrem no leito maior dos rios, devido a variabilidade temporal e espacial da precipitação e do escoamento na bacia hidrográfica. Já as inundações, devido à urbanização, são as que ocorrem na drenagem urbana devido ao efeito da impermeabilização do solo, canalização do escoamento ou obstruções ao escoamento.

É importante ressaltar que os processos hidrológicos associados às inundações constituem um fenômeno dinâmico, que ao longo do perfil longitudinal e latitudinal do canal fluvial pode apresentar diferentes cenários com características específicas, que podem ou não causar efeitos adversos às ocupações humanas presentes nessas áreas.

A área de ocorrência das inundações é representada geomorfologicamente pela planície de inundação. A planície de inundação, de acordo com Christofolletti (1981) é a faixa do vale fluvial composta por sedimentos aluviais, bordejando o curso da água, e periodicamente inundada pelas águas de transbordamento provenientes dos rios.

Christofolletti (1974) coloca que os leitos fluviais correspondem aos espaços que podem ser ocupados pelo escoamento das águas e no que tange ao perfil transversal nas planícies de inundação, distingue os seguintes tipos: leito de vazante, leito menor, leito maior periódico ou sazonal, conforme mostra a Figura 3.

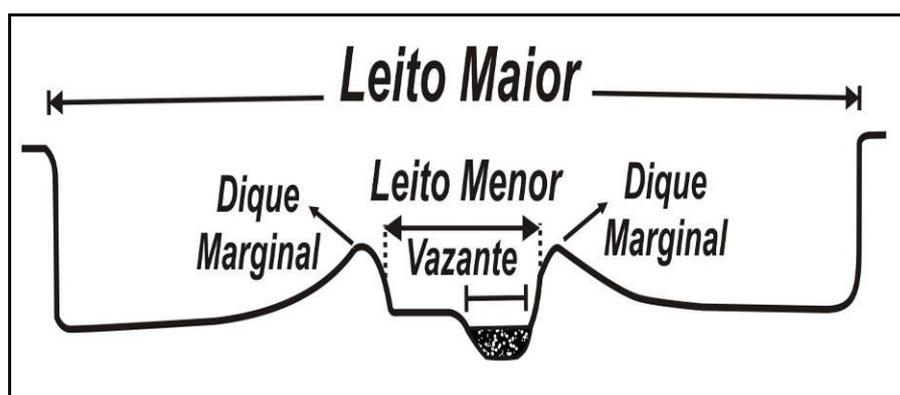


Figura 3: Perfil transversal representativo de uma planície de inundação.  
Fonte: Adaptado de Christofolletti (1974).

O leito de vazante está incluído no leito menor e é utilizado para o escoamento das águas baixas. O leito menor, é bem delimitado e encaixado entre as margens fluviais. O leito maior periódico ou sazonal é regularmente ocupado pelas cheias, pelo menos uma vez por ano.

A partir da exposição das definições e classificações, os processos hidrológicos que ocorrem em ambientes fluviais e que causam o extravasamento das águas para as áreas de planície são tratados nesta pesquisa como inundações conforme a definição apresentada por IPT (2004). O tratamento conceitual viabiliza a avaliação e o mapeamento das inundações.

## 2.2. Perigo

A avaliação do perigo, segundo Deyle *et al.* (1998), constitui o primeiro nível de avaliação do risco.

O termo perigo<sup>2</sup> ou perigosidade para Ojeda (1997) significa a possibilidade de ocorrência de um fenômeno perigoso, em um determinado período de tempo em uma dada área.

Os fenômenos perigosos colocados por Ojeda (1997) equivalem aos eventos perigosos citados por Zuquete *et al.* (1995) e aos eventos adversos citados por Castro (1998).

Zuquete *et al.* (1995) colocam que os eventos perigosos são fenômenos naturais ou não, fatos sociais ou assemelhados que provocam algum tipo de perda aos componentes do meio ambiente, sendo caracterizados principalmente pela intensidade.

Castro (1998) define os eventos adversos como a ocorrência desfavorável, prejudicial, imprópria. Acontecimento que traz prejuízo, infortúnio, constituindo assim, um fenômeno causador de um desastre.

A *álea*, de acordo com Veyret e Richemond (2007), corresponde ao acontecimento possível que pode ser um processo natural, tecnológico, social, econômico, e sua probabilidade de realização. Se vários acontecimentos são possíveis, fala-se de um conjunto de *áleas*.

A definição de eventos perigosos colocada por Zuquete *et al.*, (1995) e de eventos adversos colocada por Castro (1998) acrescentam a noção de perdas e danos provocadas pela ocorrência de um fenômeno perigoso ou de uma *álea* definidos por Ojeda (1997) e Veyret e Richemond (2007), respectivamente.

---

<sup>2</sup> O perigo apresenta equivalência conceitual na língua inglesa ao termo *hazard* (CASTRO, 2000; CASTRO *et al.* 2005; VEYRET e RICHEMOND, 2007). Já na língua francesa a expressão perigo apresenta equivalência conceitual ao termo *álea* (CASTRO, 2000; VEYRET e RICHEMOND, 2007).

A partir dos parâmetros conceituais apresentados, observa-se que a definição de perigo pode se aplicar à totalidade dos eventos, processos, fenômenos ou ações que causam perdas e danos e que podem ser classificados como sendo de origem natural, tecnológica (ISDR, 2004) ou mista (JULIÃO *et al.*, 2009).

No que se refere aos perigos classificados como naturais UNDRO (1979) coloca que estes correspondem a probabilidade de ocorrência, dentro de um período de tempo específico em uma determinada área, de um fenômeno natural potencialmente danoso.

Os perigos naturais podem ainda, segundo ISDR (2002), ser classificados por origem, a saber: geológico, biológico ou hidrometeorológicos. Eventos perigosos podem variar em magnitude ou intensidade, frequência, duração, área de alcance, velocidade de início, dispersão espacial e espaçamento temporal.

Os perigos naturais são eventos ameaçadores, capazes de produzir danos ao espaço físico e social não só no momento de sua ocorrência, mas a longo prazo, devido às suas consequências associadas. Quando estas consequências têm um grande impacto na sociedade e / ou infraestrutura, eles se tornam desastres naturais (ALCÁNTARA-AYALA, 2002).

Com relação aos perigos naturais de caráter hidrometeorológicos representados pelas inundações, UNEP (1988) coloca que são eventos naturais e constantes que apenas são um problema quando o homem convive próximo aos rios para a utilização dos canais ou das planícies de inundação.

Assim, conforme ISDR (2002), as inundações e enchentes são problemas geoambientais derivados de fenômenos ou perigos (*hazards*) naturais de caráter hidrometeorológico ou hidrológico, ou seja, aqueles de natureza atmosférica, hidrológica ou oceanográfica.

A partir das definições e classificações apresentadas entende-se o perigo de inundação nesta pesquisa, de acordo com ISDR (2004) e Julião *et al.* (2009), como um evento, processo, ação ou fenômeno que pode causar danos físicos, perda de vidas ou ferimentos, danos à propriedade, a perturbação social e econômica ou a degradação ambiental.

### 2.2.1. Avaliação do Perigo de Inundação

O objetivo da avaliação do perigo, segundo UNISDR (2009), é identificar a probabilidade de ocorrência de um perigo específico, em um determinado período de tempo futuro, bem como sua intensidade e área de impacto.

A proposta de Julião *et al.* (2009) utiliza o termo perigosidade para avaliar a probabilidade de ocorrência (avaliada qualitativa ou quantitativamente) de um fenômeno com uma determinada magnitude (a que está associado um potencial de destruição), num determinado período de tempo e numa dada área.

Os dados utilizados para quantificar o perigo de inundações, conforme Chapman (1994), incluem: a) profundidade prevista da inundação, com base no histórico ou linhas de inundação e/ou frequência conhecida da inundação para alguma elevação especificada; (b) os danos resultantes de inundações históricas, ou linhas de inundação esperadas para uma profundidade especificada; e (c) os atuais níveis de proteção e valor anual esperado de danos de inundação.

Um componente importante, o cadastro de ocorrências de inundações, de acordo Araújo *et al.*, (2005), funciona como a memória dos eventos históricos que pode auxiliar os tomadores de decisão e a sociedade como um todo a empreender e fazer valer medidas de ordenamento territorial, com a finalidade de minimizar as consequências de eventos adversos futuros, reduzindo a intensidade dos desastres quando não for possível evitá-los.

Quanto a quantificação dos eventos adversos de inundação, estes podem ser classificados em função da sua magnitude, de acordo com Castro (1998), como: inundações excepcionais, inundações de grande magnitude, inundações normais ou regulares e inundações de pequena magnitude.

Para Alcántara-Ayala (2002) os conceitos de magnitude e frequência são essenciais para a avaliação dos perigos naturais. Por exemplo, as consequências de uma inundação são medidas através de períodos de retorno, dando uma idéia das características que uma inundação pode ter (magnitude) e quantas vezes é provável a sua ocorrência (frequência).

Hetú (2003) afirma que a partir da análise de uma longa série de eventos meteorológicos, constata-se que a frequência de um fenômeno é inversamente proporcional à sua intensidade. Nesse sentido pode-se considerar que as

inundações de baixa magnitude apresentam alta frequência enquanto que as inundações de grande magnitude apresentam baixa frequência de ocorrência.

Na avaliação do perigo, a probabilidade do potencial de ocorrência de inundações de uma dada magnitude deve ser estimada. A probabilidade de ocorrência de cheias de magnitudes diferentes em um local pode ser determinada por análise estatística do pico anual de vazão para os anos de registro no local, e se todos estes acontecimentos causaram inundações (UNEP, 1988).

A probabilidade estatística de ocorrência dos eventos (perigo absoluto) pode ser expressa, segundo Souza (2004) através do cálculo dos tempos de recorrência ou períodos de retorno dos eventos.

Para Tavares e Cunha (2007) a avaliação da propensão para uma área ser afetada por um processo perigoso, em tempo indeterminado, caracterizada através de fatores condicionantes e desencadeantes dos processos, constitui uma intervenção técnico-científica capaz de materializar cartograficamente os diferentes graus de perigosidade.

Ao desenvolver um trabalho para elaborar cartas de eventos perigosos e de zoneamento de riscos, Zuquete *et al.* (1995) colocam que o principal aspecto a ser considerado é a escolha de uma metodologia adequada, que deve considerar diversos fatores, tais como: tipos de eventos, escalas e finalidades, características básicas da região, bem como conhecimentos prévios existentes sobre os tipos de eventos que ocorrem na região e conhecimento global existente sobre a região.

A identificação de perigo normalmente toma a forma de mapas de perigo. Estes podem ser preparados para um cenário único para um caso extremo de uma intensidade específica, como inundações nos próximos 100 anos, ou para vários níveis de perigo, definido pela intensidade ou probabilidade (DEYLE *et al.*, 1998).

De acordo com a UNEP (1988), existem dois tipos de mapas de inundação: mapas de áreas inundáveis e mapas de perigo de inundação. Os mapas de áreas inundáveis mostram as áreas suscetíveis de serem inundadas em virtude de sua proximidade com um rio, riacho, baía, mar, água ou outro curso ou corpo d'água, conforme determinado por informações disponíveis.

A suscetibilidade para Julião *et al.* (2009) representa a incidência espacial do perigo, a propensão para uma área ser afetada por um determinado perigo, em tempo indeterminado, sendo avaliada através dos fatores de predisposição para a

ocorrência dos processos ou ações, não contemplando o seu período de retorno ou a probabilidade de ocorrência.

As cartas de susceptibilidade de acordo com Julião *et al.* (2009) representam a incidência espacial dos perigos. Identificam e classificam as áreas com propensão para serem afetadas por um determinado perigo, em tempo indeterminado. A avaliação da suscetibilidade de uma área a determinado perigo efetua-se através dos fatores de predisposição para a ocorrência dos processos ou ações perigosas, de forma qualitativa.

Os mapas de perigo de inundação mostram a extensão da inundação, determinada a partir de um estudo técnico aprofundado da inundação em uma determinada localidade. O detalhe e a precisão podem ser suficientes para identificar facilmente a relação dos perigos de inundação para áreas individuais (UNEP, 1988).

O mapeamento de áreas inundáveis e mapeamento do perigo de inundações têm sido viabilizados pelo emprego de um amplo conjunto de geotecnologias representado, principalmente, pelas informações derivadas do sensoriamento remoto e pelos Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) que constituem ferramentas indispensáveis para esses mapeamentos.

O uso de técnicas de sensoriamento remoto para o mapeamento das áreas inundáveis podem ser observados em Novo (1985), McFeeters (1996), Guasselli (2005), Xu (2006) e Knight *et al.* (2009). Destacam-se ainda estudos relacionados a aplicação de técnicas no tratamento e modelagem de dados fluviométricos elaborados por Silva (2001), Meurer (2004), Castilho *et al.* (2004), Eckhardt (2008) e Oliveira (2010).

A partir do exposto, a avaliação do perigo de inundação utilizado nesta pesquisa é entendida através da proposta de Deyle *et al.* (1998), que corresponde ao processo de estimar a extensão geográfica do perigo, sua magnitude (intensidade) e probabilidade de ameaça aos interesses humanos.

### **2.3. Elementos Expostos**

A exposição aos perigos constituem o resultado de processos físicos e processos humanos que levam à vulnerabilidades (por exemplo, escolhas de estilo

de vida e padrões de consumo). Estas questões têm, cumulativamente, criado diferentes impactos em distintas áreas de uma cidade ou cidades, dependendo de sua estrutura socioespacial (UNEP, 2005).

A exposição, elementos expostos ou elementos em risco, conforme Julião *et al.* (2009) correspondem à população, propriedades, estruturas, infraestruturas, atividades econômicas, etc., expostos (potencialmente afetáveis) a um processo perigoso natural, tecnológico ou misto, em um determinado território.

Em relação aos elementos expostos, Deschamps (2004) coloca que há uma estreita relação entre a localização espacial dos grupos que apresentam desvantagens sociais e aquelas áreas onde há risco de ocorrer algum evento adverso, ou seja, populações socialmente vulneráveis se localizam em áreas ambientalmente vulneráveis.

Segundo Hogan *et al.* (2001), a comparação das características sociodemográficas da população localizada na malha urbana indica que a mesma está sendo levada a ocupar áreas periféricas que se estabelecem nas áreas de maior risco. Assim, a análise das características sociodemográficas pode fornecer subsídios para compreender as forças direcionadoras e as transformações que ocorrem no espaço urbano.

Deschamps (2004) coloca que em um sentido mais amplo, entende-se por segregação a separação forçada e institucionalizada por discriminação, ou seja, por tratamento desigual de grupos, por motivos que podem ser raciais, religiosos, culturais, econômicos, espaciais, entre outros.

A segregação espacial dos grupos sociais menos afortunados, conforme Deschamps (2004), está vinculada a aspectos de acessibilidade (distância e espaço) e proximidade, importantes em qualquer sistema urbano.

A pobreza, segundo Torres *et al.* (2003), tem um componente espacial que pode ser caracterizado, na maioria dos casos, como um processo de segregação. Geralmente, a segregação nas cidades brasileiras é semelhante, com a pobreza tendendo a ser altamente concentrada em termos espaciais.

A pobreza representa um dos componentes mais graves da segregação e, segundo Thouret (2007), constitui um triplo fator de risco: força as pessoas a viverem nas zonas menos caras, mas mais perigosas; domina as preocupações cotidianas das pessoas que não tem os recursos econômicos nem mesmo tempo de

preservar o meio ambiente; e força o desbravamento e o desflorestamento para atender às necessidades fundamentais de aquecimento e alimentação.

Nas zonas onde o solo é menos valorizado as populações de baixa renda acabam por ocupar de forma homogênea essas áreas. Moura e Silva (2008) afirmam que em um ambiente de segregação socioespacial, esses segmentos são mais vulneráveis aos efeitos desastrosos dos fenômenos naturais, o que coloca em ênfase a noção de “vulnerabilidade socioambiental”.

No caso da urbanização, conforme Marandola e Hogan (2004), ocorre nas cidades o processo de *urban sprawl*, que avança sobre a área rural dos entornos urbanos e metropolitanos, levando as populações a ocuparem diferentes áreas que não apresentam condições ambientais adequadas, como várzeas, planícies inundáveis e encostas.

A urbanização generalizada, segundo Mendonça e Leitão (2008) ao promover a acumulação de homens e atividades em espaços restritos, faz das cidades lugares altamente vulneráveis a qualquer agente perturbador, quer seja exógeno ou endógeno, natural ou técnico.

Além disso, como observou Thouret (2007), a rede urbana regional e nacional, na qual se inscreve uma cidade, também pode engendrar efeitos em cadeia, externos a um desastre natural.

Dessa forma, entende-se nesta pesquisa que os elementos expostos estão relacionados a população, propriedades, estruturas, infraestruturas, atividades econômicas localizadas e concentradas no espaço urbano. A vulnerabilidade dos elementos expostos em relação à ocorrência de um perigo está relacionada principalmente a aspectos como nível de segregação socioespacial e pobreza em áreas urbanas.

## **2.4. Vulnerabilidade**

A avaliação da vulnerabilidade, de acordo com Deyle *et al.* (1998), constitui o segundo nível de avaliação do risco e combina as informações sobre o tipo de perigo com um inventário das propriedades e da população exposta.

A definição de vulnerabilidade de acordo com Thouret e D'ercole (1996) é parte de um sistema que engloba o dano físico e moral de pessoas e danos potenciais a elementos expostos (produção de bens, socioeconômicas e patrimônio).

Ojeda (1997) destaca que a vulnerabilidade pode corresponder ao grau de perda de um elemento ou conjunto de elementos expostos (pessoas, bens ou ambiente) e acrescenta que o grau de perda está relacionado com a magnitude de determinado perigo. Esta definição é apresentada por UNDRO (1979), Veyret e Richemond (2007) e Julião *et al.* (2009).

Cutter (2003) apresenta uma definição semelhante a de Ojeda (1997) e relaciona a vulnerabilidade ao potencial de perda diante da ocorrência de perigos naturais. Para Cutter (2003) já que as perdas variam geograficamente, ao longo do tempo, e entre diferentes grupos sociais, a vulnerabilidade também varia ao longo do tempo e do espaço.

A vulnerabilidade na concepção de Alcántara-Ayala (2002) pode ser definida como a propensão de um elemento em risco a qualquer tipo de perigo natural a sofrer diferentes graus de perda ou de dano em função da sua particularidade social, fraquezas econômicas, culturais e políticas. Alcántara-Ayala (2002) acrescenta na definição de vulnerabilidade que o nível de organização social, político, cultural e econômico influenciam na vulnerabilidade.

A definição de vulnerabilidade apresentada por Hogan e Marandola (2007) destaca que a mesma envolve aquelas condições (sociais, econômicas, demográficas, geográficas, etc.) que afetam a capacidade de responder à exposição. Hogan e Marandola (2007) acrescentam na definição de vulnerabilidade a capacidade dos elementos expostos a responder ao perigo.

A vulnerabilidade para a UNDRO (1979) é representada pelos elementos em risco que correspondem à população, edifícios e obras de engenharia civil, atividades econômicas, serviços públicos e infraestruturas, em risco em uma determinada área.

A partir das definições apresentadas entende-se a vulnerabilidade nesta pesquisa, como o grau ou probabilidade de perda ou danos dos elementos expostos (THOURET e D'ERCOLE, 1996) à ação de um determinado perigo (UNDRO, 1979; OJEDA, 1997; VEYRET e RICHEMOND, 2007; JULIÃO *et al.*, 2009) considerando ainda sua capacidade de resposta (ALCÁNTARA-AYALA, 2002; HOGAN E MARANDOLA, 2007).

### 2.4.1. Avaliação da Vulnerabilidade

A avaliação da vulnerabilidade fornece informações sobre quem e o que são vulneráveis a desastres naturais dentro de uma área geográfica definida pela identificação de perigos. A avaliação da vulnerabilidade também pode estimar os danos que poderão resultar das várias intensidades do perigo (DEYLE *et al.*, 1998).

Um fator importante sobre a vulnerabilidade é que pode ser analisada em diferentes níveis e escalas para diferentes questões. Pode ser usada para analisar uma única questão, como um edifício, ou para avaliar uma entidade complexa, como uma cidade (BARROCA *et al.*, 2006).

Com relação aos fatores de vulnerabilidade que podem ser analisados, Cutter (1996) coloca que as variáveis relacionadas à exposição normalmente incluem a proximidade com a fonte de perigo, frequência de incidentes ou de probabilidade, magnitude, duração ou impacto espacial.

Oliveira (2004) afirma que a avaliação do padrão urbano de determinada área expressa a vulnerabilidade do sistema social que em face à deflagração de um evento, pode vir a causar perdas econômicas, humanas e até mesmo a interrupção de serviços (transporte, abastecimento de energia elétrica, água, entre outros).

Os fatores que permitem estimar a vulnerabilidade são numerosos e devem ser classificados de acordo com sua importância, em uma escala escolhida com cuidado, segundo os sítios analisados e a precisão dos dados disponíveis. Em seguida, podem ser ponderados a fim de que seja obtido um valor de vulnerabilidade por unidade de superfície (VEYRET e RICHEMOND, 2007).

A proposta de avaliação e mapeamento da vulnerabilidade, apresentada por Ledoux (1994), destaca 5 informações que a cartografia e a caracterização da vulnerabilidade devem abranger: a) número de zonas; b) tipos de construções; c) hierarquização da vulnerabilidade; d) vulnerabilidade de interesse público; e) avaliação da evolução da probabilidade de vulnerabilidade.

Conforme Veyret e Richemond (2007) é indispensável estabelecer níveis de vulnerabilidade que definam a ocupação do solo e o nível de vulnerabilidade relativo a cada tipo de uso. Neste sentido, destacam-se os estudos realizados por Hora e Gomes (2009) que atribuem diferentes valores de ponderação da vulnerabilidade de acordo com as tipologias de uso existentes na área analisada.

Assim, a avaliação da vulnerabilidade pode ser expressa de acordo com UNDRO (1979) e Julião *et al.* (2009) em uma escala de 0 (sem perda) a 1 (perda total). Julião *et al.* (2009) destacam que a vulnerabilidade reporta-se aos elementos expostos. Além disso, pressupõe a definição de funções ou matrizes de vulnerabilidade reportadas ao leque de severidades de cada perigo considerado.

Algumas propostas metodológicas para avaliação da população residente em áreas de risco a partir da integração de dados demográficos em ambiente de SIG's tem sido fundamental para a análise da vulnerabilidade, em especial, em áreas urbanas como mostram os estudos desenvolvidos por Hogan *et al.* (2001), Umbelino (2006), Macedo e Umbelino (2007) e Hora e Gomes (2009).

A partir do exposto, a avaliação da vulnerabilidade dos elementos expostos ao perigo de inundação utilizado nesta pesquisa pode ser entendida por meio das propostas de ponderação e determinação da frequência ou probabilidade de incidentes (CUTTER, 1996), padrão urbano (OLIVEIRA, 2004) e tipos de uso do solo (VEYRET e RICHEMOND, 2007).

## **2.5. Risco**

O risco, segundo Castro *et al.* (2005) pode ser definido como uma categoria de análise associada, a priori, às noções de incerteza, exposição ao perigo, perda e prejuízos materiais, econômicos e humanos em função de processos de ordem "natural" (tais como os processos exógenos e endógenos da Terra) e/ou daqueles associados ao trabalho e às relações humanas.

Julião *et al.* (2009) acrescentam a definição de risco a probabilidade de ocorrência de um processo (ou ação) perigoso e a respectiva estimativa das suas consequências sobre pessoas, bens ou ambiente, expressas em danos corporais e/ou prejuízos materiais e funcionais, diretos ou indiretos.

ISDR (2004) coloca que o risco corresponde a probabilidade de consequências prejudiciais, ou perdas esperadas (mortes, lesões, propriedades, meios de subsistência, a atividade econômica interrompida ou ambiente danificado) resultantes de interações entre perigos naturais ou induzidos pelas atividades humanas e condições de vulnerabilidade. Destaca-se que a definição de risco da

ISDR (2004) concorda com Castro *et al.* (2005) e Julião *et al.* (2009) e acrescenta a noção de vulnerabilidade como parte integrante do risco.

Devido as diferentes origens ou natureza dos conceitos de risco, estes podem ser classificados através das tipologias que caracterizam sua análise. Uma tipologia que se destaca é a proposta compartilhada por Egler (1996) e Cerri e Amaral (1998) que consideram a classe maior do conceito de risco sendo representada pelo risco ambiental, que resulta em três categorias ou classes básicas: riscos naturais, riscos tecnológicos e riscos sociais.

A proposta de tipologias de riscos desenvolvida por Veyret e Richemond (2007) é mais ampla e considera o conceito de risco como a classe maior subdividindo-a em riscos ambientais, riscos industriais e tecnológicos e riscos econômicos, geopolíticos e sociais.

Os riscos ambientais pela sua amplitude, de acordo com Buseke (1997), atingem, cada vez mais, grupos sociais maiores, independente da sua posição social, ou populações inteiras, nas regiões economicamente mais fortes ou longe dos centros industriais.

A análise de risco ambiental, segundo Egler (1996), deve ser vista como um indicador dinâmico das relações entre os sistemas naturais, a estrutura produtiva e as condições sociais de reprodução humana em um determinado lugar e momento. Essa abordagem, ao considerar simultaneamente aspectos naturais e sociais no tempo e espaço, coloca a análise do risco na interface sociedade-natureza.

O conceito de risco natural para Egler (1996) está associado ao comportamento dos sistemas naturais, considerando o grau de estabilidade e de instabilidade expresso pela vulnerabilidade a eventos de curta ou longa duração, tais como inundações, desabamentos e aceleração de processos erosivos.

Veyret e Richemond (2007) designam como riscos naturais àqueles que são pressentidos, percebidos e suportados por um grupo social, ou um indivíduo sujeito à ação possível de um processo físico. Inundações, abalos sísmicos, erupções vulcânicas e tempestades de acordo com essa classificação podem ser entendidas como riscos naturais.

A categoria risco natural está objetivamente relacionada a processos e eventos de origem natural ou induzida por atividades humanas. A natureza destes processos é diversa nas escalas temporal e espacial, por isso o risco natural pode apresentar-se com diferentes graus de perdas, em função da intensidade

(magnitude), da abrangência espacial e do tempo de atividade dos processos considerados (CASTRO *et al.* 2005).

A problemática dos riscos naturais, a partir de uma perspectiva geográfica, de acordo com Marandola e Hogan (2004), tem efetiva ligação com a forma como as sociedades ocupam e usam o território ou, em outras palavras, como as populações se distribuem por este espaço. Dessa forma, as atividades humanas constituem-se em um importante elemento de análise, já que muitas situações de risco decorrem do uso e ocupação inadequados, em especial, no espaço urbano.

O risco também expressa tanto a dimensão social de eventos catastróficos, como a percepção individual de seus efeitos. Como tal, é uma ponte entre o público e o privado que pode subsidiar a tomada de decisões sobre alternativas de desenvolvimento tecnológico e de alocação do gasto público em condições democráticas de gestão do território (EGLER, 1996).

Nesse sentido, a análise geográfica de riscos naturais, conforme Lopez e Cantos (2000) devem incluir estudos dos perigos naturais, acompanhado de uma cartografia detalhada e ilustradora dos aspectos que se quer apresentar. Isso pode proporcionar a mitigação dos danos, a busca por melhores condições de vida das populações afetadas, e, acima de tudo, evitando qualquer perda de vida humana.

Para enfrentar problemas relacionados às áreas de risco, Moura e Silva (2008) colocam que devem ser intensificadas análises que articulem os aspectos físicos e humanos na avaliação de riscos de fenômenos naturais, na identificação de populações vulneráveis e no desenvolvimento de procedimentos que eliminem os efeitos dos desastres.

O conhecimento detalhado do ambiente natural e socioeconômico regional e local é indispensável quando o tema da pesquisa requer uma compreensão da interligação entre esses elementos, que são indissociáveis, mas que possuem comportamento, tempo e gêneses diferenciados (OLIVEIRA, 2004).

Os avanços dos conceitos e classificação dos riscos tem sido importantes como referencial teórico para subsidiar as análises relacionadas a eventos naturais e sua probabilidade de impacto na sociedade e economia.

A partir do exposto, considera-se nesta pesquisa a definição apresentada por ISDR (2004) visto que incorpora os conceitos de perigo e vulnerabilidade como parte do risco. Em relação às classificações do risco considera-se como principal

contribuição a de Egler (1996) que define o risco natural como a relação entre sistemas ambientais sobre sistemas sociais.

### **2.5.1. Avaliação do Risco**

A avaliação do risco, de acordo com ISDR (2004) é baseada em uma revisão das características técnicas dos perigos, como a sua localização, intensidade, frequência e probabilidade, e também a análise das características físicas, dimensões sociais, econômicas e ambientais de vulnerabilidade e exposição, levando em conta as capacidades de enfrentamento pertinentes aos cenários de risco.

A avaliação dos riscos consiste no procedimento para determinar a natureza e a extensão do risco através da análise de perigos potenciais e avaliar as condições existentes de vulnerabilidade que, juntas, poderiam prejudicar as pessoas expostas, bens, serviços, meios de subsistência e o ambiente do qual dependem (UNEP, 2005).

Zêzere *et al.* (2006) sistematizaram um modelo conceitual do risco e destacam alguns elementos fundamentais como a perigosidade, os elementos em risco e a vulnerabilidade. Neste contexto, o risco é entendido como a probabilidade de ocorrência de um efeito específico causador de danos graves à humanidade e/ou ao ambiente, em um determinado período e em circunstâncias determinadas.

A síntese do processo de avaliação do risco é apresentada por Zuquete *et al.*, (1995) ao colocar que independentemente do tipo de fonte de riscos a avaliação é sempre o resultado decorrente da probabilidade de ocorrer um evento com determinada intensidade e da vulnerabilidade dos elementos do meio ambiente diante do evento.

Assim, Zuquete *et al.* (1995), considerando que riscos são avaliados para os elementos naturais ou antrópicos, ante um evento perigoso condicionado a uma área e espaço de tempo, apresentam algumas propostas para avaliação de risco que podem ser aplicadas a maioria dos eventos.

Uma das propostas de avaliação do risco foi apresentada por Varnes (1985 *apud* ZUQUETE *et al.*, 1995) e corresponde a seguinte expressão:

$$Re = H (i) \times V (i)$$

onde  $Re$  é o grau de perda devido a um evento (i),  $H$  é a probabilidade de ocorrer o evento perigoso (i), e  $V$ , a vulnerabilidade dos elementos ao perigo (i).

Outra proposta semelhante de avaliação do risco foi apresentada por Cerri (2006) e Julião *et al.* (2009) que pode ser determinado pela expressão:

$$R = P \times C$$

onde “R” corresponde ao risco, “P” corresponde a probabilidade (ou possibilidade) de ocorrência de um processo destrutivo e “C” corresponde as consequências sociais e/ou econômicas a serem registradas, caso ocorra um determinado processo destrutivo.

A proposta de determinação do risco apresentada por Nogueira (2006) amplia para três componentes, como mostra a expressão abaixo:

$$R = P (fA) \times C (fV) \times G-1$$

onde um determinado nível de risco “R” representa a probabilidade “P” de ocorrer um fenômeno físico (ou perigo) A, causando consequências C (às pessoas, bens e/ou ao ambiente), em função da vulnerabilidade “V” dos elementos expostos; podendo ser modificado pelo grau de gerenciamento “G”.

Zuquete *et al.* (1995) colocam que apesar da simplicidade das equações, existe um elevado grau de dificuldade para avaliar as características e as condições dos eventos. O grau de dificuldade para avaliar o nível de risco varia em função do tipo de fonte, sendo elevado para o caso dos eventos de origem natural.

A identificação e avaliação do risco é um dos principais passos que norteiam as demais etapas do processo de gestão de risco. A avaliação de risco, segundo Marcelino (2007), envolve basicamente: 1) inventário dos perigos naturais; 2) o estudo da vulnerabilidade; e 3) o mapeamento das áreas de risco.

Deyle *et al.* (1998) detalham e ordenam o processo de avaliação do risco em três níveis: 1) identificação de perigo, que define a magnitude (intensidade) e probabilidades associadas de perigos naturais que possam representar ameaças aos interesses humanos em áreas geográficas específicas; 2) avaliação da vulnerabilidade, o que caracteriza as populações expostas, os bens, a extensão da lesão e os danos que podem resultar de um evento de perigos naturais de uma

intensidade em uma determinada área; 3) a análise de risco, que incorpora as estimativas da probabilidade de diferentes níveis de lesões ou danos para fornecer uma descrição mais completa do risco de toda a gama de possíveis eventos de perigo na área.

Todos esses parâmetros podem ser cruzados em ambiente de SIG (Sistema de Informações Geográficas) para obtenção do mapa de risco. Cada parâmetro é formado por um conjunto de dados de fontes diversas (mapas, medições em campo, imagens de satélites, questionários, etc.), que permitem identificar as características do ambiente e o contexto socioeconômico em que podem ocorrer os desastres (MARCELINO, 2007).

Devido à grande complexidade de variáveis e tipos de dados, assim como a forma de mensuração, as avaliações de risco geralmente envolvem muita incerteza. De forma simplificada, os principais dados requeridos numa avaliação de risco de acordo com Marcelino (2007) são: a) dados sobre o perigo (tipo, data, local de ocorrência, frequência, magnitude, etc.); b) dados sobre o ambiente (geologia, geomorfologia, hidrologia, climatologia, uso da terra, etc.); c) dados sobre a exposição local (infraestrutura urbana, edificações, população, dados socioeconômicos, agropecuários, etc.).

Conforme as propostas metodológicas de avaliação do risco apresentadas, destaca-se a de Varnes (1985 *apud* ZUQUETE *et al.*, 1995), Cerri (2006) e Julião *et al.* (2009) que consideram o perigo e a vulnerabilidade como componentes na determinação do risco.

### **2.5.2. Avaliação do Risco de Inundação**

A análise do risco constitui o nível mais sofisticado de avaliação. Trata-se de elaborar estimativas quantitativas dos danos, lesões e os custos que poderão ser encontradas dentro de uma área geográfica específica durante um período de tempo (DEYLE *et al.*, 1998).

As áreas de risco de enchente e inundação podem ser definidas como terrenos marginais a cursos da água ocupados por núcleos habitacionais precários sujeitos ao impacto direto desses fenômenos. As pessoas que habitam essas áreas

estão sujeitas a danos à integridade física, perdas materiais e patrimoniais (CARVALHO *et al.*, 2007).

As consequências das inundações aos elementos expostos, conforme Ojeda (1997), podem ser estruturadas em três grandes blocos: danos em infraestruturas, paralisação das atividades humanas e perdas de vidas humanas, tanto direta como indireta.

O grau de danos está diretamente relacionado, conforme Chapman (1994), com (1) a profundidade de inundação; (2) a velocidade do fluxo de inundações; (3) a duração da inundação; e (4) a carga de sedimentos, partículas flutuantes, ou outras substâncias transportadas pela água, incluindo agentes patogênicos e poluentes.

Os estudos para avaliação das regiões quanto às áreas sujeitas aos eventos perigosos, de acordo com Zuquete *et al.*, (1995), culminam com a elaboração das cartas de eventos (potenciais e reais), que propiciam, junto com a vulnerabilidade dos elementos do meio ambiente ante um evento perigoso, a elaboração das cartas de riscos (potenciais e reais).

As cartas de eventos perigosos naturais e riscos associados, segundo Zuquete *et al.* (1995), normalmente são preparadas em três níveis: a) zoneamento geral: elaborado para regiões extensas e em escalas entre 1:100.000 e 1:25.000; b) zoneamento de áreas específicas em escala 1:10.000 ou próxima; c) detalhamento de áreas com vistas à proposição de soluções que envolvam recursos tecnológicos em escalas maiores que 1:5.000.

A localização do risco em um mapa, de acordo com Julião *et al.* (2009), resultará da sobreposição de cada carta de suscetibilidade com a carta dos elementos expostos, correspondendo aos territórios que, tendo sido identificados como suscetíveis a determinado perigo, também apresentam elementos expostos vulneráveis a esse perigo.

A distribuição do risco, de acordo com Cerri e Amaral (1998), pode ser representada de duas maneiras na carta de risco: cadastramento do risco, no qual são plotados os pontos notáveis sujeitos a risco, com indicação do grau de risco, acompanhado da adequada documentação sobre processos geológicos e possíveis danos, representados em croquis esquemáticos e fotografias locais; zoneamento do risco, no qual são delimitadas as zonas homogêneas em relação ao grau de risco geológico, estabelecendo tantas classes de áreas de risco quantas necessárias, levando-se em consideração a qualidade e a quantidade das informações coletadas.

Uma das principais ferramentas aplicadas no cadastramento e zoneamento dos riscos é representada pelos Sistemas de Informação Geográfica (SIG's). Segundo ISRD (2004), os SIG's são cada vez mais utilizados para mapeamento de perigo e vulnerabilidade e análise, bem como para a aplicação de medidas de gestão de riscos de desastres.

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são fundamentais no desenvolvimento de análises de exposição. Permitem avaliar as variações dos parâmetros envolvidos em um problema espacialmente distribuído, integrar e visualizar informações espaciais complexas para o planejamento de risco e eficiente tomada de decisão (CHAPMAN, 1994).

A proposta metodológica de cartografia do risco de inundação, apresentada por Dgedge (2008), utiliza dados hidrológicos, topográficos, geológicos, uso da terra e cobertura vegetal, imagens de satélites com sequências de inundações, fotografias aéreas, trabalhos de campo, fotografias oblíquas e documentos com registros das inundações (jornais e revistas).

A organização e sistematização destes dados por Dgedge (2008) em um SIG permitiu a elaboração de vários tipos de mapas tais como: mapas de perigo que representam a evolução espaço-temporal da perigosidade no território; mapas de exposição e vulnerabilidade nos quais se assinala a situação permanente dos elementos de risco e sua fragilidade intrínseca perante a perigosidade associada a uma inundação.

Assim, pode-se afirmar através da proposição de Kumpulainen (2006) que um mapa de risco de inundação é baseado em um mapa de perigo agregado e um mapa integrado de vulnerabilidade, e que permite definir se o nível de risco está relacionado com o potencial de uma região de perigo, a sua vulnerabilidade, ou ambos.

Dessa forma, a cartografia assume um papel importante na gestão do risco, pois através dela é possível elaborar mapas associando os conhecimentos físicos, ambientais e sociais que interferem na dinâmica das inundações. O mapa de áreas de risco à inundação constitui um instrumento importante na prevenção, controle e gestão das inundações (HORA e GOMES, 2009).

A partir do exposto, a avaliação do risco de inundação utilizado nesta pesquisa é apresentada como a integração e relação entre o perigo de inundação e a vulnerabilidade dos elementos expostos, a fim de determinar as áreas com

probabilidade espacial e temporal de perdas e danos. As definições dos principais conceitos apresentados no referencial teórico e utilizados como base nesta pesquisa são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1: Principais conceitos e definições

<b>Conceito</b>	<b>Definição</b>	<b>Autor (es)</b>
Inundação	Consiste no processo de extravasamento das águas do canal de drenagem para as áreas marginais (planície de inundação, várzea ou leito maior do rio).	IPT (2004)
Suscetibilidade	Propensão para uma área ser afetada por um determinado perigo, em tempo indeterminado, sendo avaliada através dos fatores de predisposição para a ocorrência dos processos ou ações.	Julião <i>et al.</i> (2009)
Perigo	Evento, processo, ação ou fenômeno que pode causar danos físicos, perda de vidas ou ferimentos, danos à propriedade, a perturbação social e econômica ou a degradação ambiental.	ISDR (2004) e Julião <i>et al.</i> (2009)
Elementos Expostos	População, propriedades, estruturas, infraestruturas, atividades econômicas.	Julião <i>et al.</i> (2009)
Vulnerabilidade	Grau de perda de um elemento ou conjunto de elementos expostos frente à ocorrência de um perigo.	Ojeda (1997), Veyret e Richemond (2007) e Julião <i>et al.</i> (2009).
Risco	Probabilidade de consequências ou perdas resultantes da interação entre perigo e condições de vulnerabilidade.	ISDR (2004)

### **3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

Os procedimentos metodológicos envolveram 4 etapas: levantamento dos dados, organização e processamento dos dados, análise e correlação das informações, síntese e integração das informações.

#### **3.1. Levantamento dos Dados**

A etapa 1 envolveu o levantamento das ocorrências de inundação, aquisição de materiais cartográficos e dados hidrológicos.

##### **3.1.1. Ocorrência de Inundações**

Os dados de ocorrência foram obtidos com a pesquisa documental de uma série histórica de 30 anos por meio do levantamento das inundações do rio dos Sinos no município de São Leopoldo publicadas no Jornal Vale dos Sinos. A pesquisa e análise das reportagens da versão impressa e digital do Jornal Vale dos Sinos, no período entre 1980 e 2009, permitiu obter informações referentes à data de ocorrência das inundações do rio dos Sinos e dos locais atingidos por meio da identificação de ruas e bairros.

Para complementar e validar os registros das ocorrências de inundações do rio dos Sinos foram consultados os levantamentos realizados por Reckziegel (2007) e Bazzan (2008), as versões digitais do Jornal Zero Hora e a relação dos municípios atingidos por inundações da Defesa Civil do estado do Rio Grande do Sul, publicados no endereço eletrônico <http://www.defesacivil.rs.gov.br/>. A integração dos levantamentos e das consultas permitiu a obtenção de uma série histórica das inundações que atingiram o município de São Leopoldo, entre os anos de 1980 e 2009.

##### **3.1.2. Dados Cartográficos**

Os dados cartográficos adquiridos para a pesquisa foram utilizados para compor a base cartográfica do mapeamento temático das áreas de suscetibilidade, perigo, vulnerabilidade e risco de inundação. Os dados cartográficos

corresponderam ao levantamento de dados topográficos, limites de inundações históricas, aerofotogramas e imagens de satélites.

Os dados topográficos foram obtidos a partir das cartas topográficas, escala 1:10.000, com curvas de nível com equidistância de 5 metros disponibilizadas pela METROPLAN. Também foram utilizados dados altimétricos com curvas de nível com equidistância de 1 metro disponibilizados pela SEMMAM por meio de um banco de dados geográficos do SPRING.

As imagens de satélite referentes aos períodos de inundação foram obtidas a partir da consulta ao banco de imagens da Divisão de Geração de Informação (DGI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), no endereço eletrônico <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Foram selecionadas as imagens do sensor *Thematic Mapper* (TM) do satélite LANDSAT-5. O Quadro 2 apresenta a data e as especificações das imagens de satélite selecionadas para o mapeamento das inundações.

Quadro 2: Especificações das imagens do satélite LANDSAT-5

<b>Data</b>	<b>Sensor</b>	<b>Resolução (m)</b>	<b>Satélite</b>	<b>Órbita-Ponto</b>	<b>Fonte</b>
11/06/1984	TM	30	LANDSAT-5	221-081	INPE
10/12/1986	TM	30	LANDSAT-5	221-081	INPE
23/08/1987	TM	30	LANDSAT-5	221-081	INPE
18/08/1997	TM	30	LANDSAT-5	221-081	INPE
28/07/2001	TM	30	LANDSAT-5	221-081	INPE
01/10/2007	TM	30	LANDSAT-5	221-081	INPE

Com relação ao levantamento dos limites das inundações históricas que ocorreram no município de São Leopoldo, foi utilizada a carta topográfica em escala 1:10.000 com os limites das inundações de 1941 e 1982 disponibilizada pelo escritório do Ministério de Integração.

As imagens de satélite de alta resolução espacial foram disponibilizadas pela Secretária Municipal de Meio Ambiente (SEMMAM) de São Leopoldo. Foram obtidas as imagens do sensor *Multispectral* (MS) do satélite QUICKBIRD-2 dos anos de 2005 e 2009. O Quadro 3 apresenta as especificações das imagens de satélites de alta resolução utilizadas para o mapeamento da área urbana.

Quadro 3: Especificação das imagens do satélite QUICKBIRD-2

Data	Sensor	Resolução (m)	Satélite	Fonte
2005	MS	2,4 a 2,8 m	QUICKBIRD-2	SEMMAM
2009	MS	2,4 a 2,8 m	QUICKBIRD-2	SEMMAM

Os aerofotogramas utilizados foram disponibilizados pela METROPLAN e pela SEMMAM em formato digital. Foram obtidos os aerofotogramas dos anos de 1978, 1991 e 2000. O Quadro 4 mostra as especificações dos aerofotogramas.

Quadro 4: Especificação dos aerofotogramas

Ano	Escala	Faixa/ Número	Fonte
1978	1:8.000	9/369, 9/370, 9/371, 10/414, 10/415, 10/416, 11/459, 11/460, 11/461	METROPLAN
1991	1:20.000	6/10, 6/12, 6/14, 7/10, 7/12, 7/14, 8/11, 8/13, 8/19, 9/12, 9/14, 9/16, 10/7, 10/9	METROPLAN
2000	1:8.000	5/11, 5/13, 6/30, 6/32, 7/14, 8/31	SEMMAM

### 3.1.3. Dados Hidrológicos

Os dados hidrológicos do rio dos Sinos, em São Leopoldo, utilizados neste estudo correspondem às cotas fluviométricas da régua linimétrica operada pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM). Os dados hidrológicos foram obtidos no Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb) da Agência Nacional das Águas (ANA) no endereço eletrônico: <http://hidroweb.ana.gov.br/>.

As réguas linimétricas estão localizadas no logradouro Rua da Praia, no Bairro Rio dos Sinos, próximo ao Clube de Regatas. A Figura 4 e a Figura 5 mostram as réguas linimétricas utilizadas para leitura do nível do rio dos Sinos no município de São Leopoldo.

Foram utilizadas as cotas fluviométricas consistidas (nível 2) correspondentes ao período de análise da pesquisa: 1980 a 2009. Os dados foram consultados por meio do banco de dados do *software Microsoft Access 2003*. No Quadro 5 constam os dados da estação fluviométrica disponibilizados pela ANA.



Figura 4: Régua linimétrica com cota fluiométrica máxima de 4 metros.  
Fonte: Trabalho de campo (2009).



Figura 5: Régua linimétrica com cota fluiométrica máxima de 6 metros.  
Fonte: Trabalho de campo (2009).

Quadro 5: Dados da estação fluiométrica, São Leopoldo - RS

Parâmetros	Dados
Código	87382000
Nome	São Leopoldo
Código Adicional	Atlântico, Trecho Sudeste
Sub-Bacia	Lagoa dos Patos
Rio	Rio dos Sinos
Estado	Rio Grande do Sul
Município	São Leopoldo
Responsável	ANA
Operadora	CPRM
Latitude	-29° 45 '29"
Longitude	-51 9' 4"
Altitude (metros)	0,51
Área de Drenagem (km <sup>2</sup> )	3.313,00

Fonte: ANA.

## **3.2. Processamento dos Dados**

A etapa 2 correspondeu ao processamento dos dados referentes a série histórica de inundações, aos registros de inundações, base cartográfica e dados hidrológicos. Os dados foram organizados a partir da criação de um banco de dados geográfico no Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING) versão 5.1 - Sistema de Informações Geográficas (SIG) desenvolvido e disponibilizado pela Divisão de Processamento de Imagens (DPI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) no endereço eletrônico: <http://www.dpi.inpe.br/spring/>. Os dados cartográficos foram organizados no sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), datum horizontal SIRGAS 2000 e datum vertical Marégrafo de Torres.

### **3.2.1. Série Histórica**

Os dados referentes às ocorrências das inundações foram organizados de acordo com o ano, mês e bairros atingidos. A partir da tabulação dos dados referentes às datas de ocorrência das inundações e bairros atingidos em uma planilha eletrônica do *software Microsoft Excel* 2003 foram gerados gráficos interpretativos e representativos da série histórica das inundações ocorridas entre 1980 e 2009 que permitiram verificar a dinâmica temporal. Por meio da vinculação dos registros de ocorrência por bairros a uma base espacial foi possível verificar a dinâmica espacial das inundações.

### **3.2.2. Dados Topográficos**

Os dados topográficos representados pelas curvas de nível e pontos cotados fornecidos pela SEMMAM foram importados para o SPRING. No *software* foi gerada uma grade retangular e uma grade irregular ou triangular para elaborar um Modelo Numérico de Terreno (MNT). A partir do fatiamento da grade retangular foi elaborado o mapa hipsométrico e a partir da grade irregular ou triangular foi gerada uma grade de declividade, a partir da qual foi gerado o mapa de declividade. A integração das informações do MNT com os mapas de hipsometria e declividade permitiram a caracterização do relevo do município.

### 3.2.3. Imagens do Satélite LANDSAT

O georreferenciamento das imagens de satélite do LANDSAT-5 foi executado utilizando como referência uma base georreferenciada formada pelos mosaicos gerados a partir das imagens ortorretificadas do *Global Land Survey* (GLS) do sensor TM do satélite LANDSAT 5 e 7 com resolução espacial de 14.25 metros. Estes mosaicos foram elaborados pela USGS (2005) e disponibilizados pelo (INPE) no endereço eletrônico <http://www.dgi.inpe.br/CDSR>.

Com base nas imagens sensor TM do satélite LANDSAT-5 foi realizado o mapeamento das inundações a partir da aplicação do *Modified Normalized Difference Water Index* (MNDWI) ou Índice de Água por Diferença Normalizada Modificada proposto por Xu (2006). Com o objetivo de melhorar as características do *Normalized Difference Water Index* (NDWI) de McFeeters (1996), Xu (2006) modificou o índice a partir da substituição da banda do infravermelho próximo (banda 4) do sensor TM do satélite Landsat 5 para a banda do infravermelho médio (banda 5). A equação do MNDWI corresponde a:

$$\text{MNDWI} = \frac{\text{Green} - \text{MIR}}{\text{Green} + \text{MIR}}$$

onde, o *Green* corresponde a banda 2 (faixa espectral do verde) e o MIR (*Middle Infrared Band*) corresponde a banda 5 (faixa espectral do infravermelho médio) do sensor TM do satélite LANDSAT 5.

A partir da aplicação dos referidos índices que apresentam valores entre -1 a 1, foram extraídos os valores correspondentes a água aparente que estão situados entre valores de 0 e 1, por meio da função fatiamento do SPRING. Dessa forma, foi elaborado o mapeamento das áreas inundadas. As informações obtidas por meio da análise multitemporal dos mapas de áreas inundadas permitiram a identificação das áreas que, ao longo do período de analisado, foram atingidas pelas inundações do rio dos Sinos.

### 3.2.4. Limites das Inundações Históricas

Os limites das inundações históricas do rio dos Sinos foram obtidos por meio da carta topográfica disponibilizada pelo escritório do Ministério da Integração com

os diques e o limite das inundações de 1941 e 1982. A carta topográfica foi georreferenciada e posteriormente foi realizada a vetorização dos limites das inundações de 1941 e 1982 para a geração do mapa com o limite das inundações históricas.

### 3.2.5. Aerofotogramas e Imagem QUICKBIRD

Os limites dos diques do sistema de proteção contra cheias e área edificada foram obtidos a partir de aerofotogramas de 1978, 1990 e 2000, imagens do satélite QUICKBIRD de 2009 e trabalhos de campo. Os aerofotogramas e a imagem de satélite foram georreferenciados tendo como referência a imagem georreferenciada do satélite QUICKBIRD de 2005. A partir disso, foram definidos o limite e a extensão dos diques do sistema de proteção e os limites da área urbana edificada a nível de quadra para os anos de 1978, 1990, 2000 e 2009.

A partir dos limites da área urbana edificada de 2009, foi realizado o mapeamento do uso do solo e padrão urbano por meio da interpretação das tipologias urbanas na imagem de satélite QUICKBIRD de 2009 e em trabalhos de campo. O mapeamento permitiu a análise da evolução da ocupação urbana na área de estudo. As classes de uso do solo e padrão urbano podem ser observadas no Quadro 6.

Quadro 6: Descrição das classes de uso do solo e padrão urbano

<b>Classe</b>	<b>Descrição</b>
Áreas Residenciais de Baixo Padrão Urbano	Sub-habitações e habitações precárias com baixo padrão construtivo e ocupação espacialmente desorganizada
Áreas Residenciais de Médio e Alto Padrão Urbano	Habitações com médio ou alto padrão construtivo e ocupação espacialmente organizada
Áreas Comerciais	Restaurantes, lojas, escritórios e bancos
Áreas Industriais	Indústrias em geral
Áreas Institucionais	Escolas, Prefeituras, Hospitais, Militares, Transporte, Abrigos
Áreas Verdes e de Lazer	Parques e Praças

### 3.2.6. Cotas Fluviométricas

As cotas fluviométricas foram verificadas quanto a existência de falhas. Após a verificação as cotas fluviométricas foram organizadas de acordo com ano, mês e dia. Os dados foram tabulados na planilha eletrônica do *software Microsoft Excel 2003*.

O Tempo de Retorno (TR) foi elaborado a partir da seleção das cotas fluviométricas máximas anuais por meio da equação apresentada e descrita por Christofolletti (1981).

$$TR = \frac{N + 1}{M}$$

onde “N” corresponde ao número total de anos considerados na série histórica e “M” é o número de ordem (*ranking*) que representa a posição da cota fluviométrica máxima anual em ordem decrescente.

As informações dos dados hidrológicos representados pelas cotas fluviométricas e as cotas topográficas, possibilitaram a definição da intensidade e frequência das inundações do rio dos Sinos.

## 3.3. Análise e Correlação das Informações

A etapa 3 correspondeu à análise e correlação das informações sobre a intensidade e frequência das inundações, suscetibilidade, gerenciamento, elementos expostos e recorrência das inundações.

### 3.3.1. Intensidade e Frequência das Inundações

A intensidade e frequência das inundações, que correspondem a probabilidade temporal de ocorrência, foi determinada com base no Tempo de Retorno (TR) e na cota topográfica correspondente. A hierarquização foi elaborada a partir da definição de valores (pesos) para as classes (Quadro 7).

Quadro 7: Descrição e peso das classes de intensidade e frequência de inundações

<b>Classe</b>	<b>Descrição</b>	<b>Peso</b>
Alta	Inundações de baixa intensidade que ocorrem com alta frequência	3
Média	Inundações de média intensidade que ocorrem com média frequência	2
Baixa	Inundações de alta intensidade que ocorrem com baixa frequência	1

### 3.3.2. Suscetibilidade às Inundações

A suscetibilidade às inundações foi definida por meio da correlação dos mapas de hipsometria, declividade, áreas inundáveis e limite de inundações históricas. Além disso, foi utilizado o limite da inundação de 1941. A partir da correlação desses condicionantes foi definido o limite e a área da planície fluvial do rio dos Sinos e elaborado o mapa suscetibilidade à inundações.

### 3.3.3. Gerenciamento das Inundações

O gerenciamento das inundações foi definido em relação a existência na área de estudo de um sistema de proteção para inundações. A hierarquização foi elaborada a partir da definição de valores (pesos) para as classes (Quadro 8).

Quadro 8: Descrição e peso das classes de gerenciamento das inundações

<b>Classe</b>	<b>Descrição</b>	<b>Peso</b>
Alto	Áreas sem sistemas de proteção por diques	1
Baixo	Áreas com sistemas de proteção por diques	0

### 3.3.4. Elementos Expostos

A análise e mapeamento dos elementos expostos foram realizados por meio da definição de valores (pesos) para as classes do mapa de uso do solo e padrão urbano. A hierarquização foi definida a partir da prioridade em relação aos elementos sociais, institucionais e econômicos, conforme mostra o Quadro 9.

Quadro 9: Descrição e pesos das classes de elementos expostos

<b>Classe</b>	<b>Descrição</b>	<b>Peso</b>
Alta	Áreas Residenciais de Baixo Padrão Urbano e Áreas Institucionais	3
Média	Áreas Residenciais de Médio e Alto Padrão Urbano	2
Baixa	Áreas Comerciais e Áreas Industriais	1

### 3.3.5. Recorrência das Inundações

Os registros de ocorrência de inundação foram definidos a partir da identificação de áreas edificadas que foram atingidas pelas inundações com base nos últimos 5 anos da série histórica. A partir disso foi realizada a hierarquização por meio da definição de valores (pesos), conforme mostra o Quadro 10.

Quadro 10: Descrição e peso das classes de recorrência de inundações.

<b>Classe</b>	<b>Descrição</b>	<b>Peso</b>
Alta	Áreas urbanas com registro de inundações nos últimos 5 anos da série histórica	1
Baixa	Áreas urbanas sem registro de inundações nos últimos 5 anos da série histórica	0

## 3.4. Síntese e Integração das Informações

A etapa 4 correspondeu à síntese e integração das informações por meio da elaboração de cruzamento de mapas, utilizando a função Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico (LEGAL) do SPRING para determinação dos mapas de perigo, vulnerabilidade e risco de inundações.

### 3.4.1. Perigo de Inundações

O perigo de inundações foi determinado a partir do cruzamento entre as variáveis do mapa de suscetibilidade, mapa de Tempo de Retorno das inundações, mapa de gerenciamento de inundações e da área urbana. A expressão utilizada para geração do mapa de perigo de inundação foi:

$$P = I \times S \times G \times A$$

onde, “I” corresponde a Intensidade das Inundações, “S” corresponde a Suscetibilidade, “G” corresponde ao Gerenciamento das Inundações e “A” corresponde a Área Urbana Edificada.

Após o cruzamento as áreas com valores correspondentes a 0 foram reclassificadas para 1 e agrupados na classe definida como baixa. A partir da integração dessas informações foram definidos diferentes níveis de perigo de inundação em termos de probabilidade espacial e temporal na área de estudo, conforme mostra o Quadro 11.

Quadro 11: Descrição e peso das classes de perigo à inundações

<b>Classe</b>	<b>Descrição</b>	<b>Peso</b>
Alta	Áreas suscetíveis com ocupação urbana com alta probabilidade temporal e espacial de serem atingidas por inundações	3
Média	Áreas suscetíveis com ocupação urbana com média probabilidade temporal e espacial de serem atingidas por inundações	2
Baixa	Áreas suscetíveis com ocupação urbana com baixa probabilidade temporal e espacial de serem atingidas por inundações	1

### 3.4.2. Vulnerabilidade à Inundações

A vulnerabilidade foi determinada a partir do cruzamento dos mapas de elementos expostos com o mapa de recorrência de inundação. A expressão utilizada para geração do mapa de vulnerabilidade à inundação foi:

$$V = E \times R$$

onde, “E” corresponde aos Elementos Expostos e “R” corresponde a Recorrência das Inundações.

Após o cruzamento as áreas com valores correspondentes a 0 foram reclassificadas para 1 e agrupados na classe definida como baixa. A partir da

integração dessas informações foram definidos diferentes níveis de vulnerabilidade a inundações em termos de probabilidade de ocorrência espacial e temporal e pela probabilidade de danos na área de estudo, como mostra o Quadro 12.

Quadro 12: Descrição e peso das classes de vulnerabilidade à inundações

Classe	Descrição	Peso
Alta	Elementos expostos com alta probabilidade de danos e perdas em virtude da ocorrência de inundações	3
Média	Elementos expostos com média probabilidade de danos e perdas em virtude da ocorrência de inundações	2
Baixa	Elementos expostos com baixa probabilidade de danos e perdas em virtude da ocorrência de inundações	1

### 3.4.3. Risco de Inundações

O risco de inundações foi determinado a partir do cruzamento do mapa de perigo com o mapa de vulnerabilidade. A expressão utilizada para geração do mapa de risco de inundação foi:

$$R = P \times V$$

onde, “P” corresponde ao Perigo de inundação e o “V” corresponde a Vulnerabilidade a inundações. A matriz da Figura 6 mostra os valores obtidos a partir do cruzamento do perigo (probabilidade de ocorrência de uma inundação) com a vulnerabilidade (consequências).

Risco		Vulnerabilidade (Consequências)		
		1	2	3
Perigo (Probabilidade de Ocorrência)	1	1	2	3
	2	2	4	6
	3	3	6	9

Figura 6: Matriz de cruzamento para obtenção do risco.

A partir da integração dessas informações foram definidos diferentes níveis de risco a inundações em termos de probabilidade de ocorrência espacial e temporal e pela probabilidade de danos na área de estudo, como mostra o Quadro 13.

Quadro 13: Descrição e peso das classes de risco à inundações

<b>Classe</b>	<b>Descrição</b>	<b>Peso</b>
Alta	Áreas urbanas com média ou alta probabilidade de ocorrência de inundações onde são esperadas médias ou altas consequências de danos e prejuízos.	6 - 9
Média	Áreas urbanas com baixa, média ou alta probabilidade de ocorrência de inundações onde são esperadas baixas, médias ou altas consequências de danos e prejuízos.	3 - 5
Baixa	Áreas urbanas com baixa ou média probabilidade de ocorrência de inundações onde são esperadas baixas ou médias consequências de danos e prejuízos.	1 - 2

Os procedimentos metodológicos e as etapas correspondentes ao levantamento, processamento, análise e síntese para elaboração do mapa de risco de inundação estão representados no fluxograma metodológico da Figura 7.

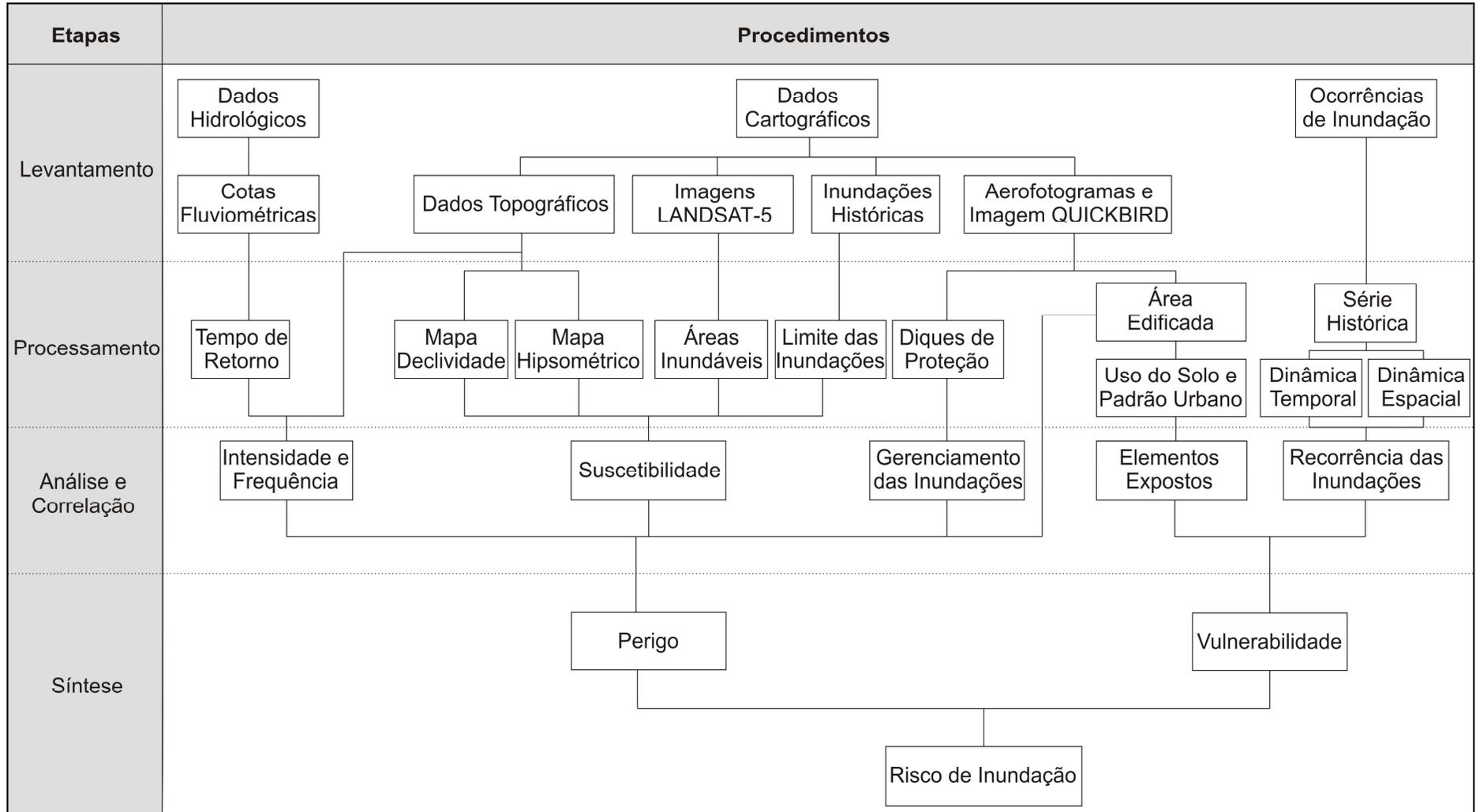


Figura 7: Procedimentos metodológicos utilizados para o desenvolvimento da pesquisa.

## 4. RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados sobre a análise espaço-temporal das inundações, o mapeamento do perigo, vulnerabilidade e risco de inundação do rio dos Sinos, no município de São Leopoldo.

### 4.1. Série Histórica das Inundações do Rio dos Sinos

No período de 1980 a 2009 foram registradas no município de São Leopoldo, 37 inundações provocadas pelo rio dos Sinos. A distribuição das inundações ao longo da série histórica de 30 anos apresenta variações na frequência anual do número de ocorrências, como pode ser observado no gráfico da Figura 8.

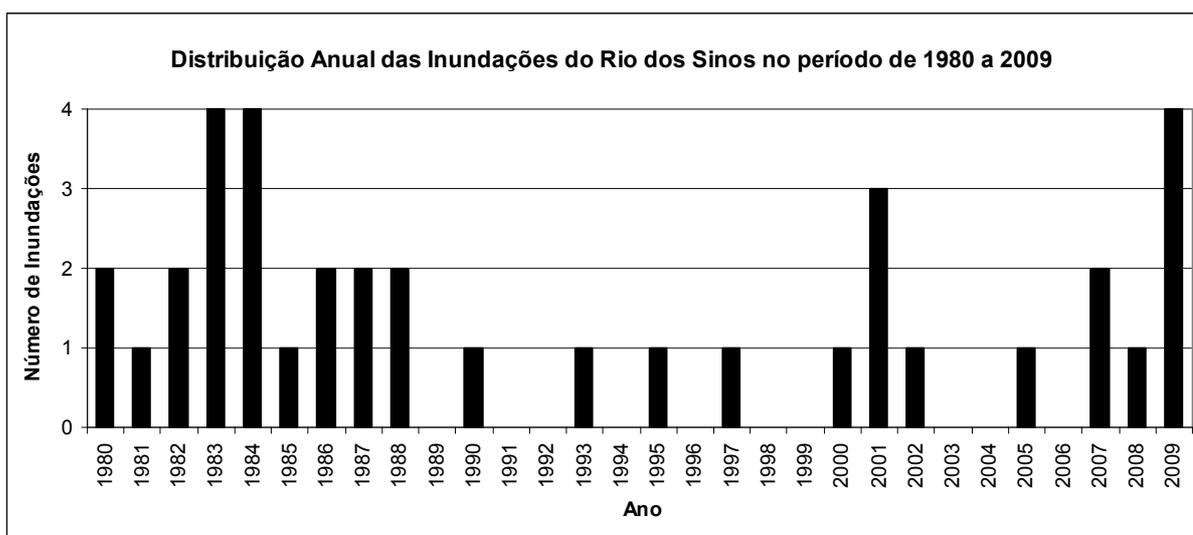


Figura 8: Distribuição anual das inundações entre 1980 e 2009, São Leopoldo - RS.  
Fonte: Pesquisa documental no Jornal Vale dos Sinos.

No decorrer da série histórica as inundações ocorreram entre os meses de março e dezembro, conforme pode ser observado no gráfico da Figura 9 que mostra a distribuição mensal dos eventos. Os meses entre junho e outubro representam o período em que as inundações ocorreram com maior frequência. Os meses que acumularam maior número de inundações foram julho e agosto.

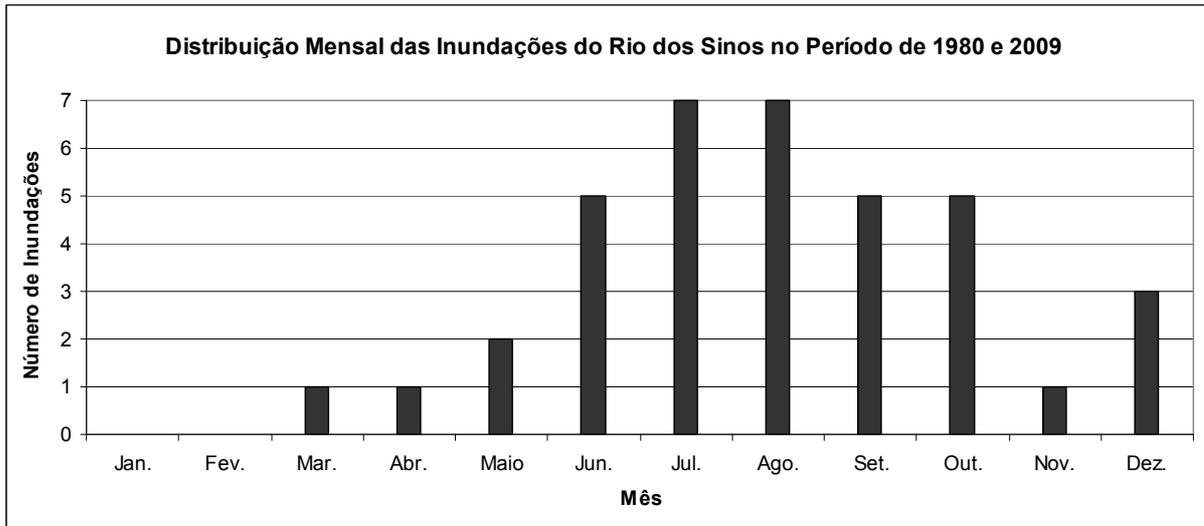


Figura 9: Distribuição mensal das inundações entre 1980 e 2009, São Leopoldo - RS.  
Fonte: Pesquisa documental no Jornal Vale dos Sinos.

Com relação às áreas atingidas pelas inundações ocorridas no período de 1980 e 2009, destacam-se as localizadas nos bairros Campina, Rio dos Sinos, Santos Dumont, Scharlau, Pinheiro e Feitoria, como mostra o gráfico da Figura 10. Os bairros com maior número de registros foram em ordem decrescente: Rio dos Sinos, Pinheiro, Campina, Santos Dumont, Feitoria e Scharlau.

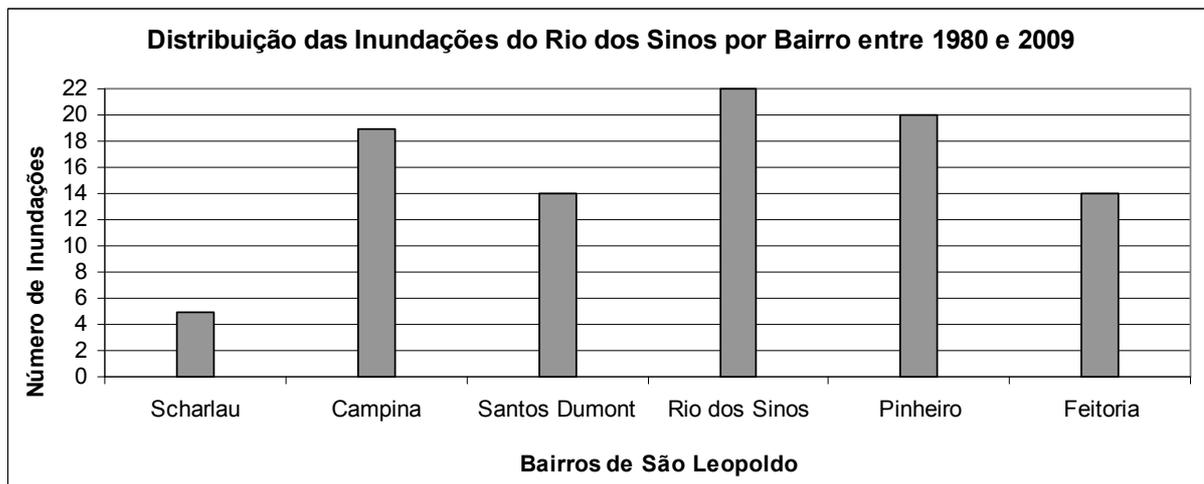


Figura 10: Distribuição das inundações por bairro entre 1980 e 2009, São Leopoldo - RS.  
Fonte: Pesquisa documental no Jornal Vale dos Sinos.

O Quadro 14 apresenta a série histórica das inundações do rio dos Sinos entre 1980 e 2009 que foram registradas no município de São Leopoldo.

Quadro 14: Série histórica das inundações do rio dos Sinos, São Leopoldo - RS

<b>Data</b>	<b>Bairros com Registros de Inundações do Rio dos Sinos</b>
27/07/1980	Campina, Scharlau, Rio dos Sinos, Santos Dumont e Pinheiro
08/12/1980	Campina e Santos Dumont
11/06/1981	Rio dos Sinos, Campina e Santos Dumont
27/06/1982	Campina, Scharlau, Rio dos Sinos e Santos Dumont
22/10/1982	Campina e Santos Dumont
04/03/1983	Campina e Santos Dumont
08/07/1983	Rio dos Sinos, Campina e Santos Dumont
01/08/1983	Campina, Scharlau, Rio dos Sinos, Santos Dumont, Pinheiro e Feitoria
22/08/1983	Campina e Santos Dumont
21/05/1984	Campina e Santos Dumont
07/06/1984	Campina, Scharlau, Rio dos Sinos e Santos Dumont
19/06/1984	Campina, Scharlau, Rio dos Sinos e Santos Dumont
26/07/1984	Campina e Santos Dumont
11/08/1985	Campina e Santos Dumont
02/12/1986	Campina e Feitoria
30/12/1986	Campina
04/08/1987	Campina
14/08/1987	Campina e Feitoria
19/09/1988	Rio dos Sinos
24/09/1988	Campina, Pinheiro e Rio dos Sinos
14/10/1990	Pinheiro e Feitoria
05/07/1993	Feitoria, Rio dos Sinos e Pinheiro
24/07/1995	Feitoria, Rio dos Sinos e Pinheiro
03/08/1997	Feitoria, Rio dos Sinos e Pinheiro
17/10/2000	Rio dos Sinos e Pinheiro
24/04/2001	Rio dos Sinos
18/07/2001	Feitoria, Rio dos Sinos e Pinheiro
05/10/2001	Feitoria, Rio dos Sinos e Pinheiro
10/06/2002	Rio dos Sinos e Pinheiro
01/09/2005	Feitoria e Pinheiro
15/07/2007	Rio dos Sinos e Pinheiro
27/09/2007	Feitoria, Rio dos Sinos e Pinheiro
05/05/2008	Feitoria, Rio dos Sinos e Pinheiro
12/08/2009	Feitoria e Pinheiro
15/09/2009	Feitoria e Pinheiro
01/10/2009	Feitoria, Rio dos Sinos e Pinheiro
17/11/2009	Rio dos Sinos e Pinheiro

Fonte: Pesquisa Documental no Jornal Vale dos Sinos.

A espacialização dos bairros atingidos pelas inundações do rio dos Sinos no período entre 1980 e 2009 pode ser observada no mapa da Figura 11.

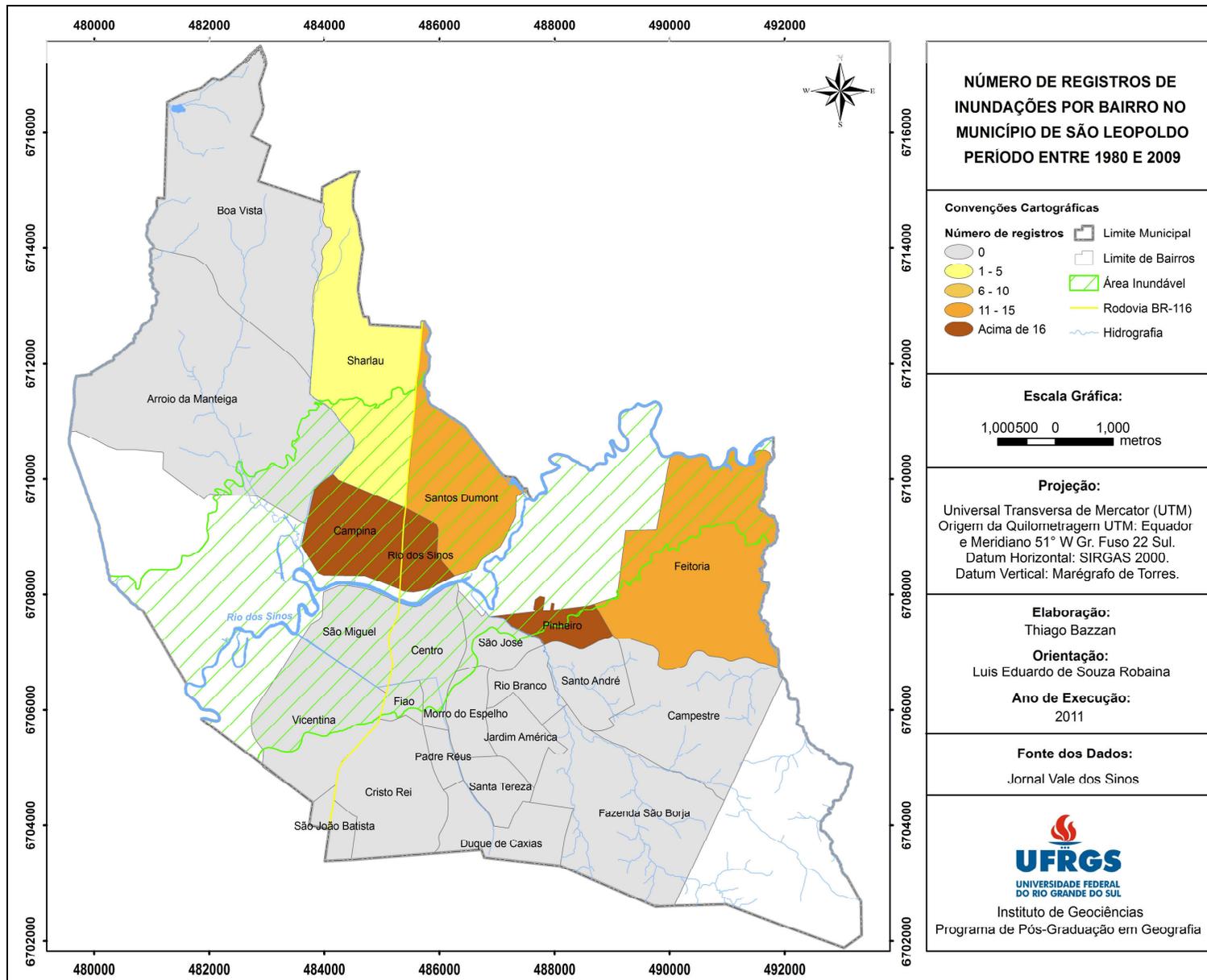


Figura 11: Mapa dos bairros com registro de inundação entre 1980 e 2009, São Leopoldo - RS.

A análise da distribuição espaço-temporal das inundações no município de São Leopoldo mostra que estes eventos foram expressivos em termos de ocorrência ao longo da série histórica. Porém, observa-se a ocorrência de uma alta variabilidade temporal (número de ocorrências anuais e mensais) e espacial (número de ocorrências nos bairros).

Essa variabilidade está relacionada com a implantação do sistema de proteção contra as inundações do rio dos Sinos, realizada em diferentes porções e períodos no município. Além disso, o processo de ocupação e urbanização nestes 30 anos em áreas propensas às inundações também se constituiu em um dos fatores que influenciam essa variabilidade.

Dessa forma, a série histórica foi agrupada em três períodos distintos para análise com a finalidade de caracterizar e verificar a dinâmica espaço-temporal das inundações do rio dos Sinos: entre os anos de 1980 e 1988, 1989 e 1999 e entre 2000 até 2009.

#### 4.1.1. Inundações entre 1980 e 1988

As inundações ocorridas entre 1980 e 1988 apresentaram um padrão de recorrência anual, conforme mostra o gráfico da Figura 12. Nesse período foram registradas 20 inundações, ou seja, 54,1% do total das ocorrências em relação à série histórica.

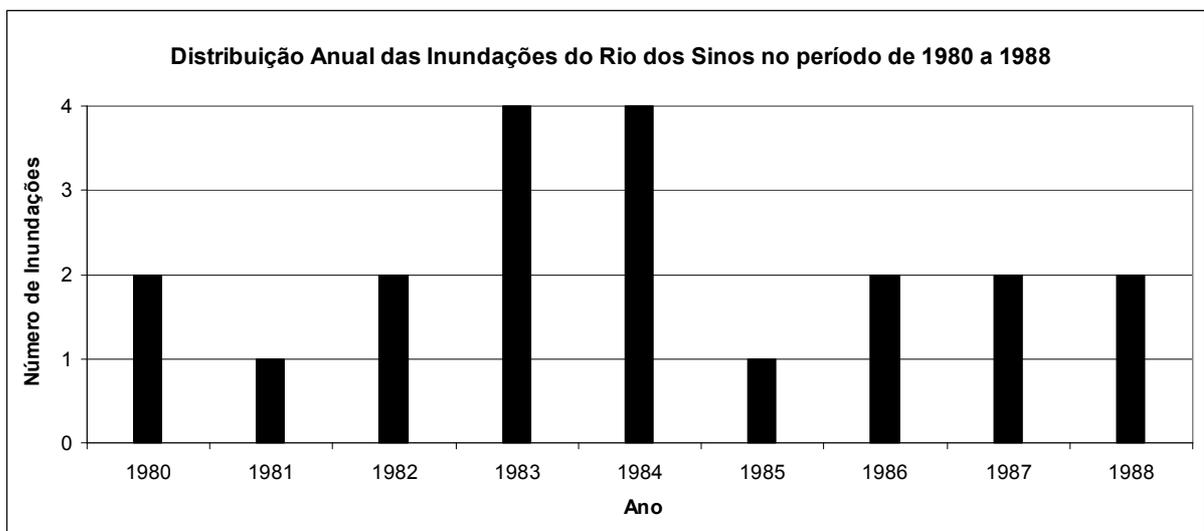


Figura 12: Distribuição anual das inundações entre 1980 e 1988, São Leopoldo - RS.  
Fonte: Pesquisa documental no Jornal Vale dos Sinos.

Esse período é caracterizado pela alta frequência de ocorrências de inundações. Os anos de 1981 e 1985 registraram uma ocorrência de inundações por ano. Os anos de 1980, 1982, 1986, 1987 e 1988 registraram duas inundações anuais. Os anos de 1983 e 1984 se destacaram pelo elevado número de ocorrências anuais, com quatro inundações no total.

Conforme o gráfico da Figura 13 observa-se que a distribuição mensal das inundações no período entre 1980 e 1988 ocorreu no mês de março, entre os meses de maio a outubro e no mês de dezembro. O mês que acumulou o maior número de inundações foi agosto com 5 registros.

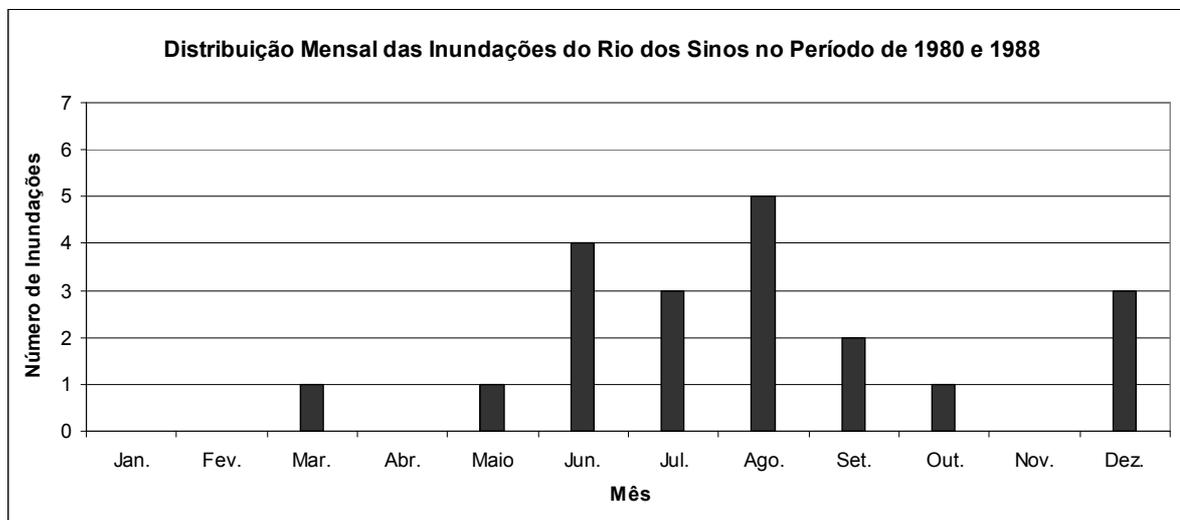


Figura 13: Distribuição mensal das inundações entre 1980 e 1988, São Leopoldo - RS.

Fonte: Pesquisa documental no Jornal Vale dos Sinos.

Os bairros Pinheiro, Feitoria, Campina, Rio dos Sinos, Santos Dumont e Scharlau apresentaram ocorrência de inundações (Figura 14).

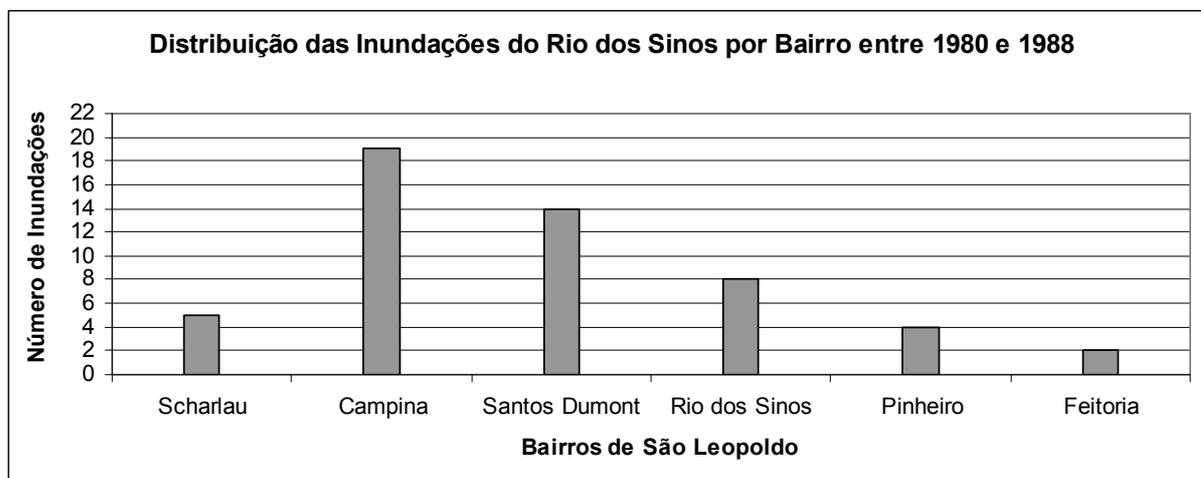


Figura 14: Distribuição das inundações por bairro entre 1980 e 1988, São Leopoldo - RS.

Fonte: Pesquisa documental no Jornal Vale dos Sinos.

O registro fotográfico da inundação de junho de 1982, indicado na Figura 15, mostra áreas do bairro Campina que apresentaram elevada frequência de registro de inundação no período. Pode-se observar à esquerda da imagem, a inundação do bairro Campina; à direita da imagem observa-se a inexistência de inundação no bairro São Miguel, devido ao dique do sistema de proteção.



Figura 15: Inundação do rio dos Sinos em junho de 1982, São Leopoldo - RS.  
Fonte: Jornal Vale dos Sinos.

No período, as ocorrências de inundações se concentraram, principalmente, nas áreas dos bairros situados na porção norte e leste do município (Campina, Rio dos Sinos, Santos Dumont, Scharlau, Pinheiro e Feitoria). Isso se deve pela inexistência do sistema de proteção contra inundações nestes locais.

Porém os bairros situados na porção sul como, Centro, São José, São Miguel e Vicentina já apresentavam neste período um sistema de proteção contra inundações, não sendo registradas ocorrências, como pode ser observado no mapa da Figura 16.

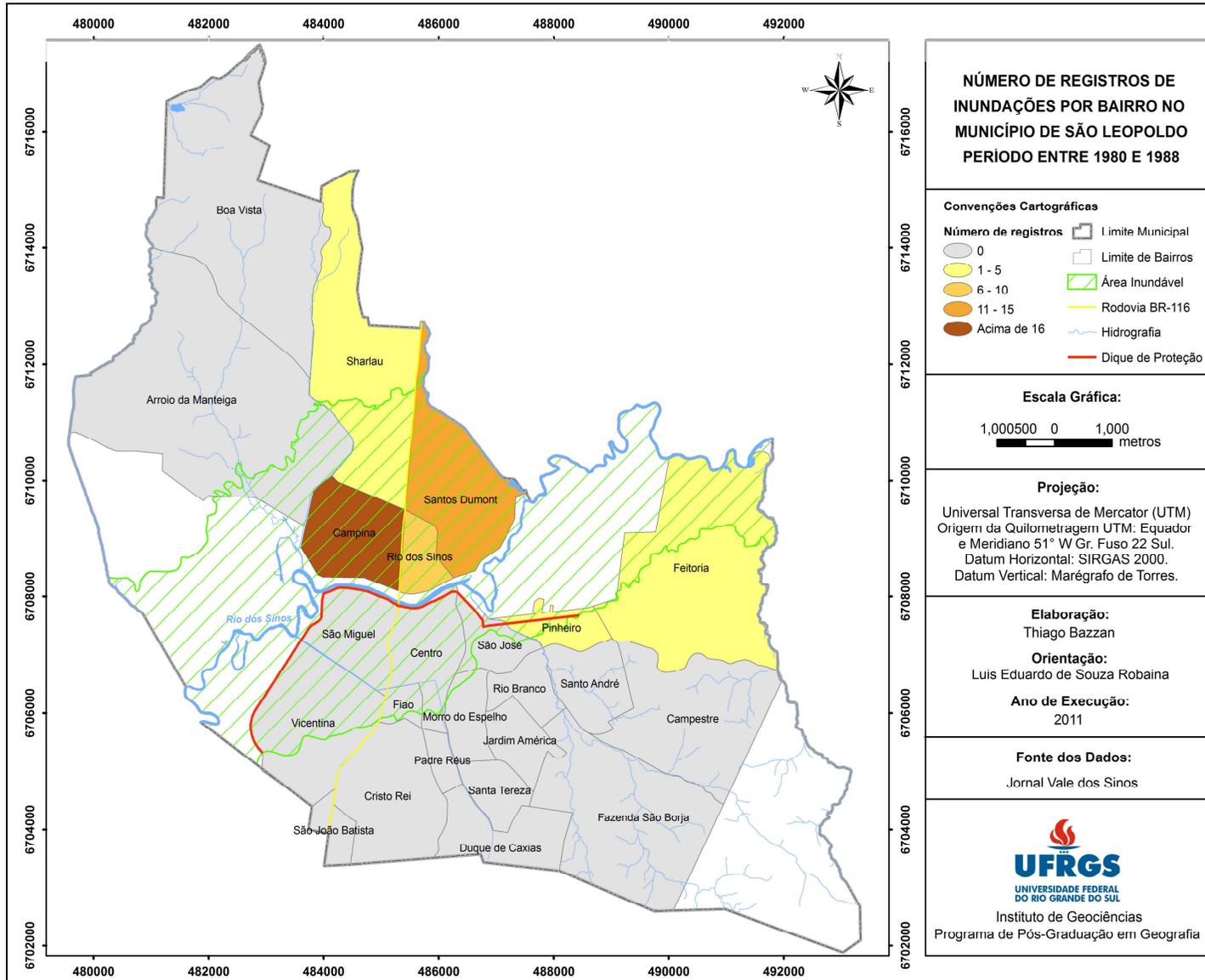


Figura 16: Mapa dos bairros com registro de inundação entre 1980 e 1988, São Leopoldo - RS.

#### 4.1.2. Inundações entre 1989 e 1999

Entre os anos de 1989 e 1999 ocorreram 4 inundações caracterizando um período de baixa frequência de ocorrência. O período sem ocorrência de inundações foi de até dois anos, como pode ser observado no gráfico da Figura 17. Foram registradas inundações nos anos de 1990, 1993, 1995 e 1997 que representam 10,8% dos eventos ocorridos na série histórica. Esse período mostra uma significativa redução na frequência das inundações em relação ao período anterior (1980-1988).

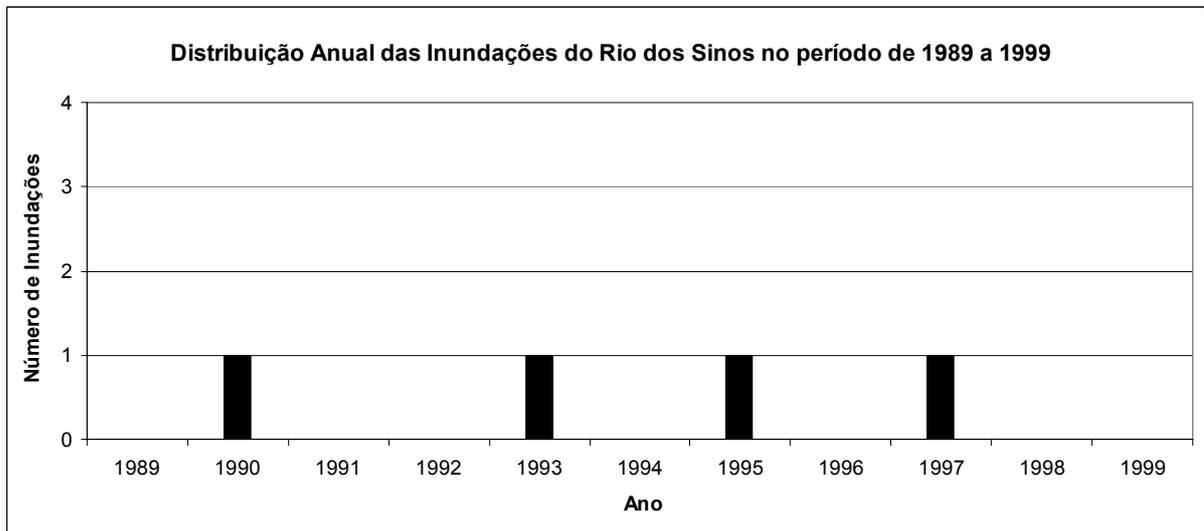


Figura 17: Distribuição anual das inundações entre 1989 e 1999, São Leopoldo - RS.  
Fonte: Pesquisa documental no Jornal Vale dos Sinos.

Conforme o gráfico da Figura 18 pode se observar que as inundações do período entre 1989 e 1999 ocorreram entre os meses de julho e agosto e no mês de outubro. A análise da distribuição mensal indica também a redução do número mensal de ocorrências de inundações em relação ao período entre 1980 e 1988.

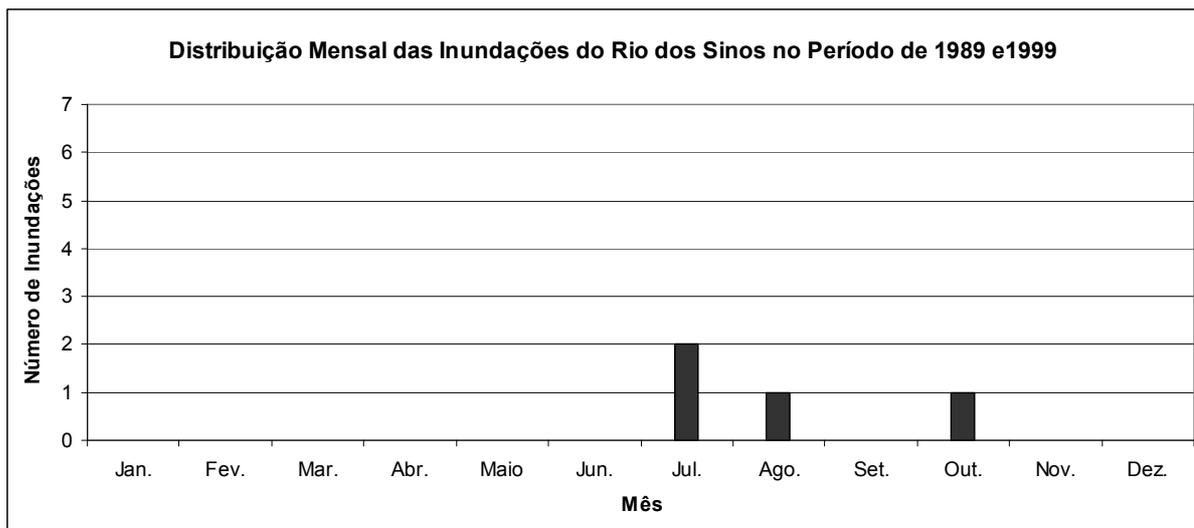


Figura 18: Distribuição mensal das inundações entre 1989 e 1999, São Leopoldo - RS.  
Fonte: Pesquisa Documental no Jornal Vale dos Sinos.

As áreas urbanas que compreendem os bairros Feitoria, Pinheiro e Rio dos Sinos apresentaram ocorrência de inundações. A distribuição e o número de registros podem ser observados no gráfico da Figura 19.

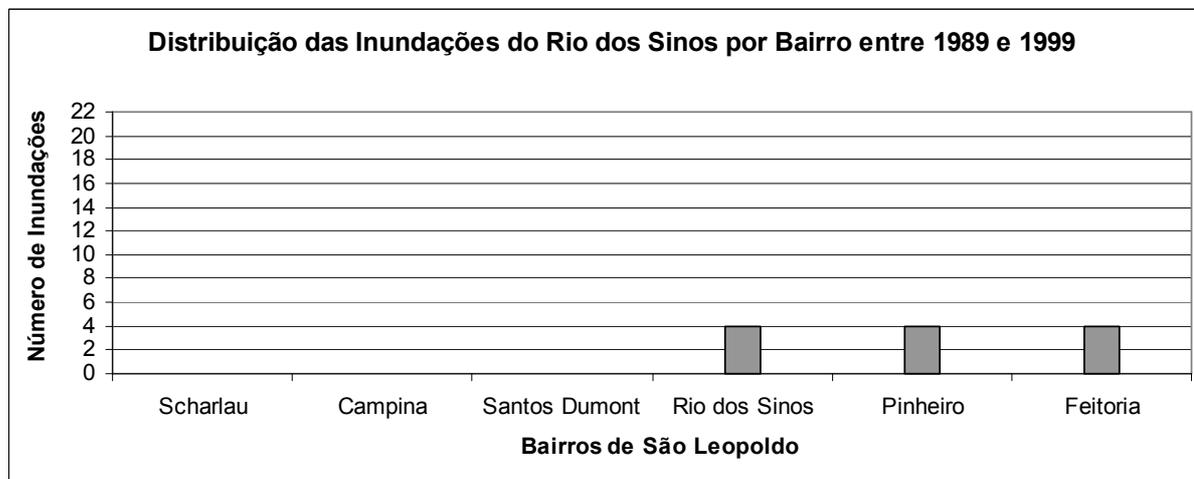


Figura 19: Distribuição das inundações por bairro entre 1989 a 1999, São Leopoldo - RS.  
Fonte: Pesquisa documental no Jornal Vale dos Sinos.

A redução das ocorrências de inundações nos bairros Scharlau, Campina, Santos Dumont e Rio dos Sinos está relacionada com a implantação do sistema de proteção para a porção norte da planície a partir do final da década de 1980. Porém uma porção do bairro Rio dos Sinos (Rua da Praia) e dos bairros situados a leste (Pinheiro e Feitoria) continuaram apresentando registros de inundações, como pode ser observado no mapa da Figura 20.

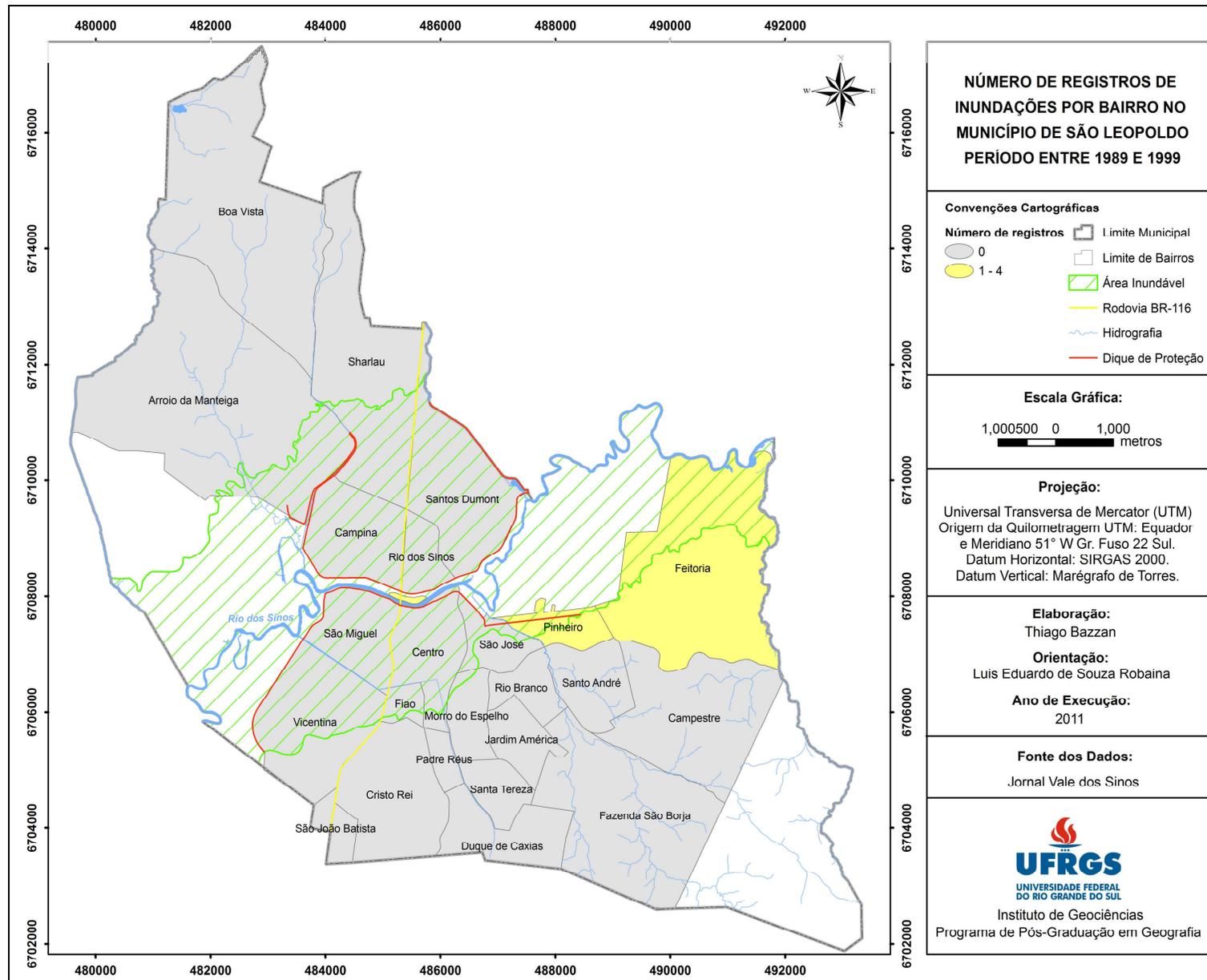


Figura 20: Mapa dos bairros com registro de inundação entre 1989 e 1999, São Leopoldo - RS.

### 4.1.3. Inundações entre 2000 a 2009

As inundações ocorridas entre 2000 e 2009 apresentam alta frequência de ocorrência, com exceção dos anos de 2003, 2004 e 2006, como mostra o gráfico da Figura 21. Nesse período foram registradas 13 inundações, que representam 35,1% do total das ocorrências em relação ao período analisado. Este período é marcado pelo aumento dos registros de inundações.

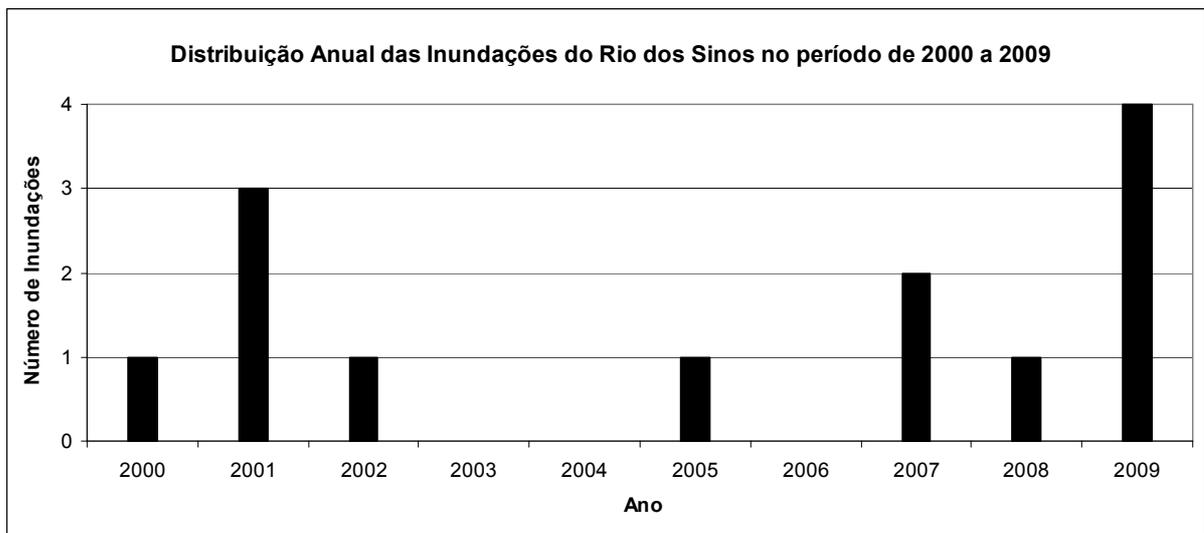


Figura 21: Distribuição anual das inundações entre 2000 e 2009, São Leopoldo - RS.  
Fonte: Pesquisa documental no Jornal Vale dos Sinos.

Conforme o gráfico da Figura 22 observa-se que, no período entre 2000 e 2009, as inundações ocorreram entre os meses de abril a outubro e no mês de dezembro. A distribuição mensal indica que os meses de setembro e outubro registraram o maior número de inundações.

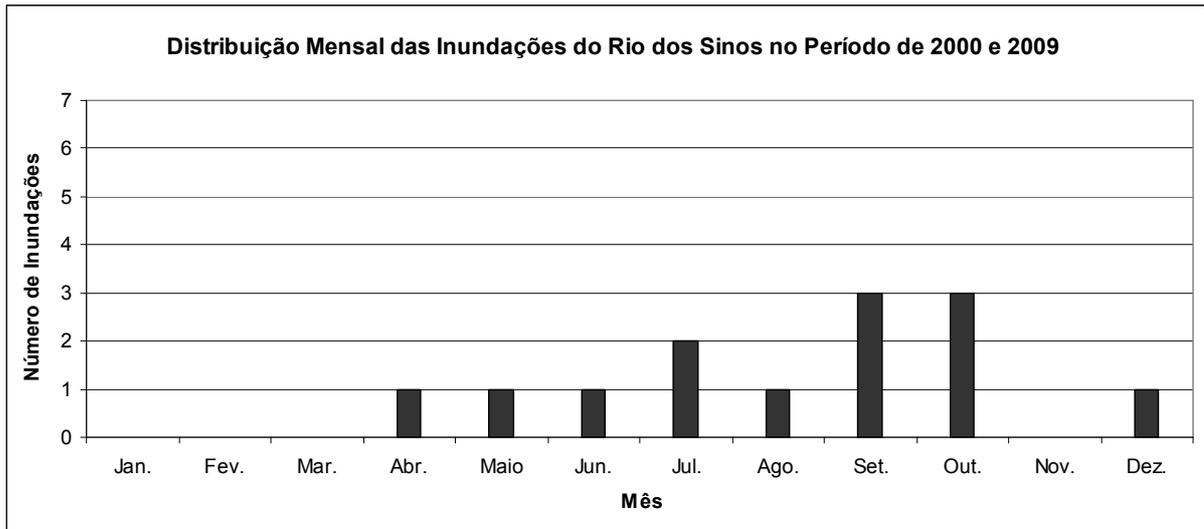


Figura 22: Distribuição mensal das inundações entre 2000 e 2009, São Leopoldo - RS.  
Fonte: Pesquisa documental no Jornal Vale dos Sinos.

Os bairros Pinheiro, Feitoria e Rio dos Sinos foram os que apresentaram ocorrência de inundações, como mostra o gráfico da Figura 23. Observa-se que ocorre um significativo aumento do número de registros de inundações nestes bairros em relação ao período entre 1980-1988 e 1989-1999.

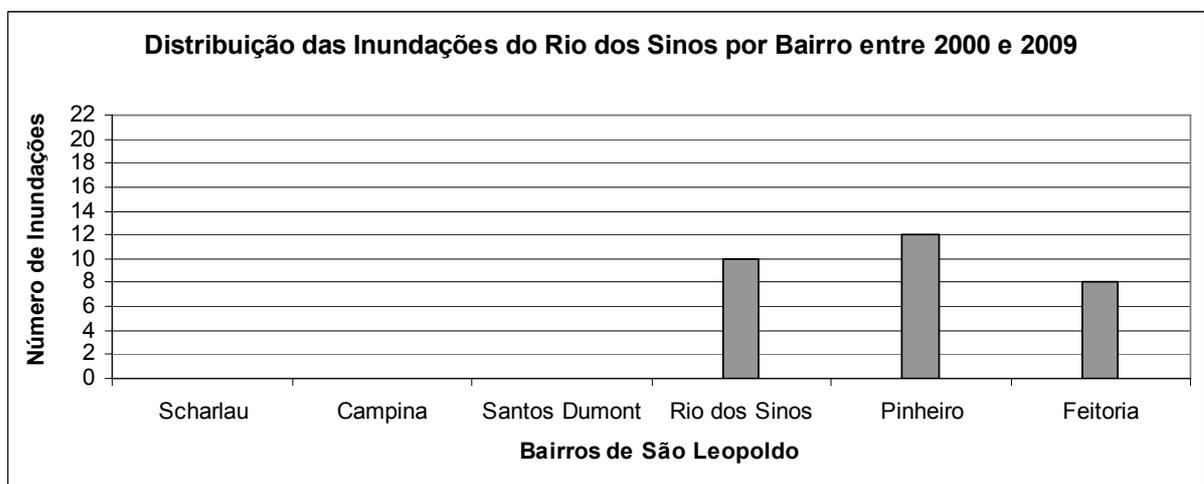


Figura 23: Distribuição das inundações por bairro entre 2000 e 2009, São Leopoldo - RS.  
Fonte: Pesquisa Documental no Jornal Vale dos Sinos.

Nesse período destaca-se a inundações ocorrida em maio de 2008<sup>3</sup> que atingiu principalmente as instalações públicas localizadas no bairro Rio dos Sinos (Figura 24) e áreas com assentamentos precários no bairro Pinheiro (Figura 25).

<sup>3</sup> Corresponde a inundações de maior magnitude registrada na série histórica. A cota fluviométrica registrada na estação fluviométrica da CPRM/ANA de São Leopoldo foi de 5,78 metros.



Figura 24: Áreas do bairro Rio dos Sinos inundadas em maio de 2008. Em primeiro plano observa-se o prédio da SEMMAM e do COMDEC, São Leopoldo - RS.  
Fonte: Gerson Rolim Guidobono.



Figura 25: Bairro Pinheiro atingido pela inundaç o em maio de 2008, S o Leopoldo - RS.  
Fonte: Jornal Vale dos Sinos.

O aumento das ocorr ncias de inunda es verificadas nos bairros Rio dos Sinos (Rua da Praia), Pinheiro e Feitoria pode estar relacionado ao sistema de prote o contra inunda es. Este pode provocar o barramento das  guas e intensificar as inunda es que ocorrem   montante do munic pio. Al m disso, outro fator que contribui   o processo de ocupa o e urbaniza o durante o per odo analisado (30 anos) das  reas propensas  s inunda es nestes bairros.

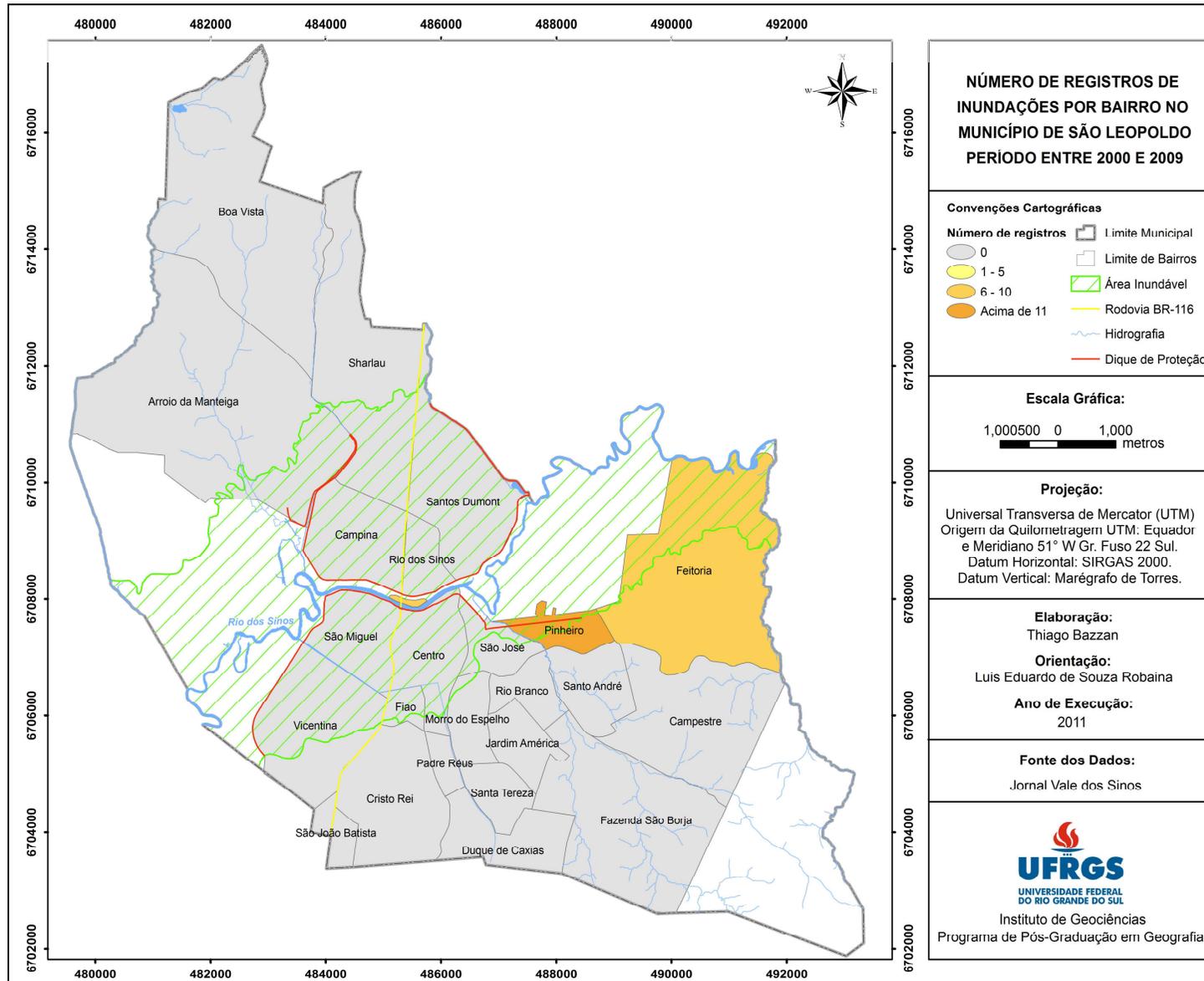


Figura 26: Mapa dos bairros com registro de inundação entre 2000 e 2009, São Leopoldo - RS.

## 4.2. Perigo de Inundações

O perigo de inundações foi analisado por meio do estudo da suscetibilidade, intensidade e frequência e gerenciamento das inundações na área de estudo.

### 4.2.1. Suscetibilidade às Inundações

O mapeamento dos fatores que determinam a suscetibilidade permite identificar áreas atingidas e áreas com predisposição à incidência espacial das inundações. A suscetibilidade neste estudo foi analisada por meio do mapeamento das inundações e das características do relevo.

#### 4.2.1.1. Mapeamento das Inundações

O mapeamento das inundações a partir da aplicação do MNDWI para diferentes datas (1984, 1986, 1987, 1997, 2001 e 2007) possibilitou a quantificação da extensão e variação da lâmina da água aparente das áreas inundadas da planície do rio dos Sinos. O total de áreas inundadas foi de 12.9 km<sup>2</sup>.

As inundações mais expressivas em relação à área ocupada pela lâmina da água ocorreram nos anos de 1984 e 1987 que correspondem ao período em que o sistema de proteção não estava concluído na porção norte do município. Observa-se que nos anos de 1997, 2001 e 2007 a área ocupada pelas inundações foi menor, como mostra o gráfico da Figura 27.

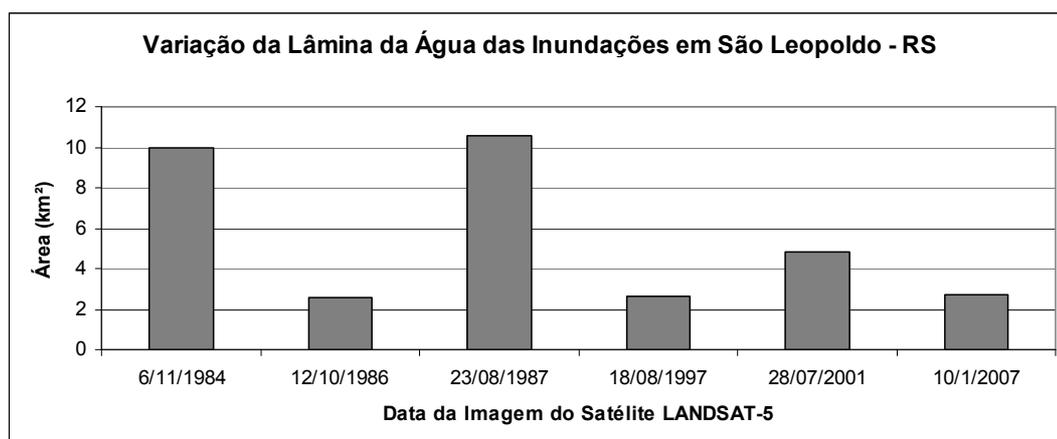


Figura 27: Área ocupada pelas inundações do rio dos Sinos, São Leopoldo - RS.

Com relação a área de ocorrência das inundações, destaca-se a situada na porção oeste onde verificam-se manchas mais expressivas, como pode-se observar nos mapas que mostram a sequência multitemporal das inundações na Figura 28.

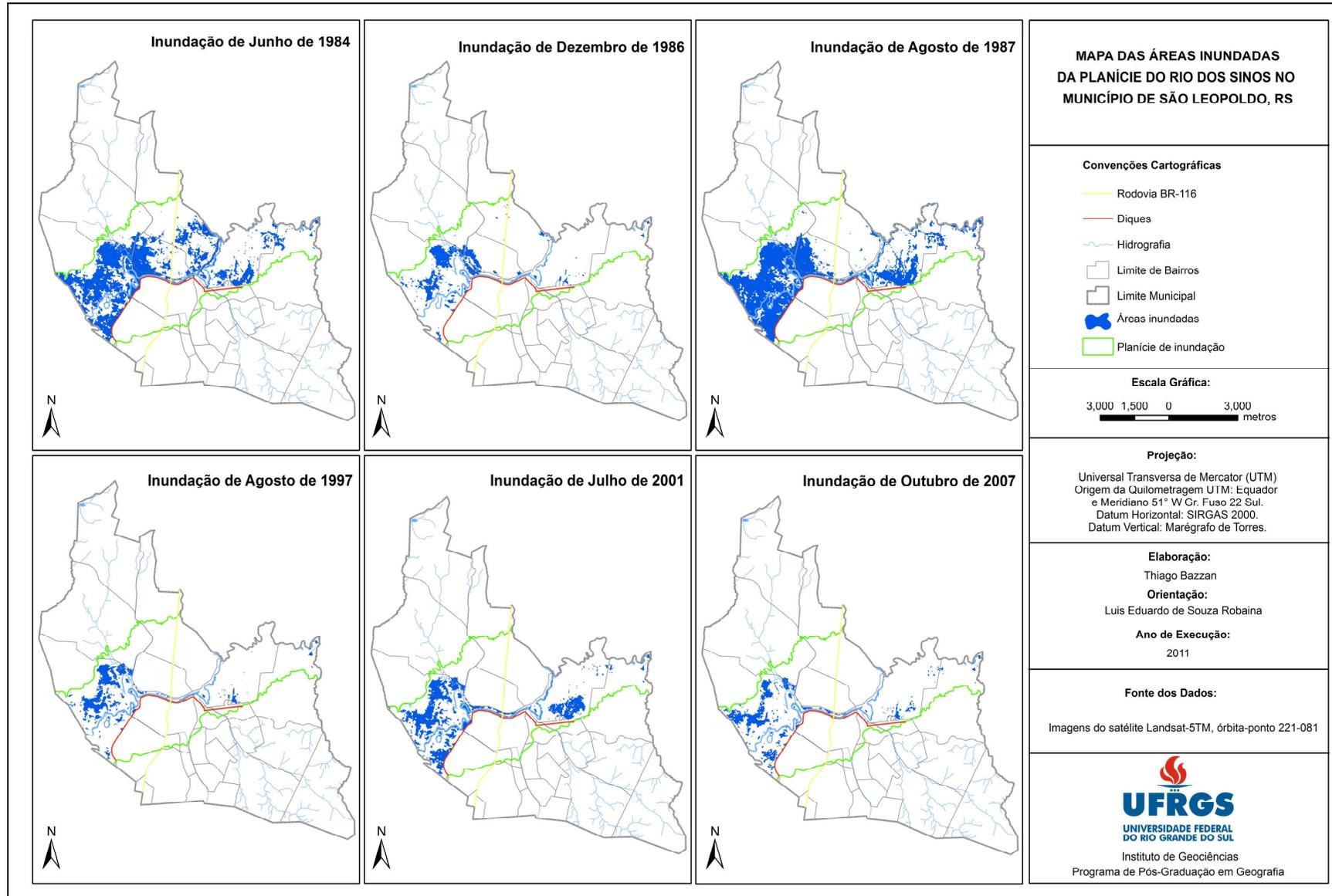


Figura 28: Mapeamento das áreas inundadas nas imagens de satélite, São Leopoldo - RS.

A aplicação do MNDWI apresentou resultados satisfatórios para o mapeamento das inundações. Destaca-se que o mapeamento da lâmina da água na área de estudo foi influenciado por dois fatores.

O primeiro refere-se à densa cobertura vegetal próxima ao rio dos Sinos, que mantém o dossel acima da lâmina da água proveniente da inundação. Isso ocorre principalmente na porção leste da planície onde a cobertura vegetal é mais densa em relação à porção oeste onde há maior influência antrópica.

O segundo fator refere-se à data de aquisição dos dados pelo sensor do satélite que em algumas imagens não corresponde ao período em que a lâmina da água está mais visível. Assim, ressalta-se que as áreas ocupadas pelas inundações podem ser maiores que as classificadas neste mapeamento.

Apesar desses fatores, o mapeamento permitiu verificar as áreas inundadas em algumas porções dos bairros Campina, Scharlau, Rio dos Sinos, Santos Dumont, Pinheiro e Feitoria. Observa-se que o bairro Campina foi o que apresentou a maior área inundada, seguido do bairro Santos Dumont. O gráfico da Figura 29 apresenta a relação entre a área do bairro inserida na planície e as áreas inundadas.

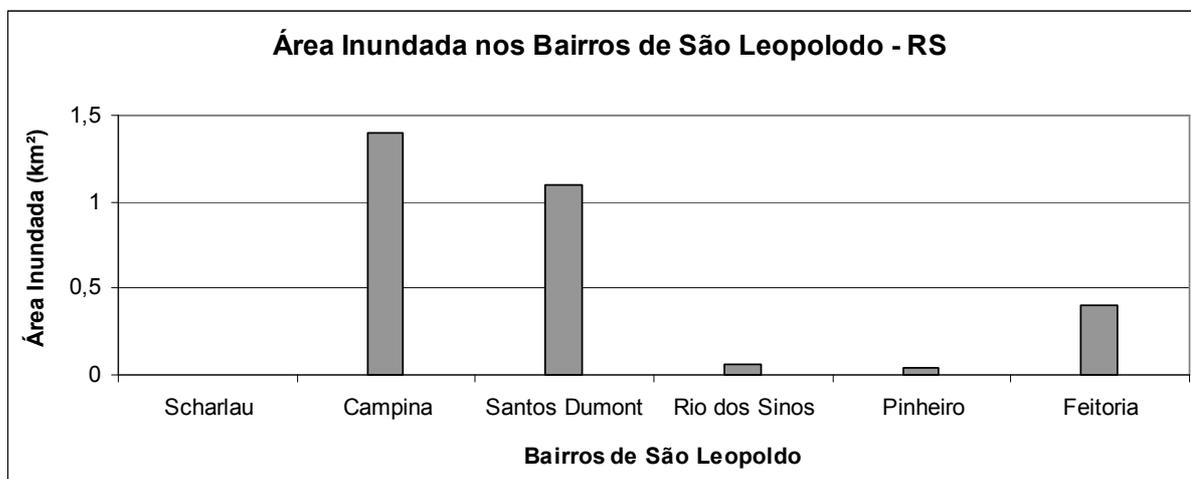


Figura 29: Área inundada dos bairros na planície do rio dos Sinos, São Leopoldo - RS.

A partir da sobreposição do mapeamento da lâmina da água de diferentes períodos foi possível verificar a frequência de ocorrência espacial das inundações. Observa-se que a porção oeste é a que apresenta áreas com maiores frequências de inundações, como pode ser observado no mapa da Figura 30.

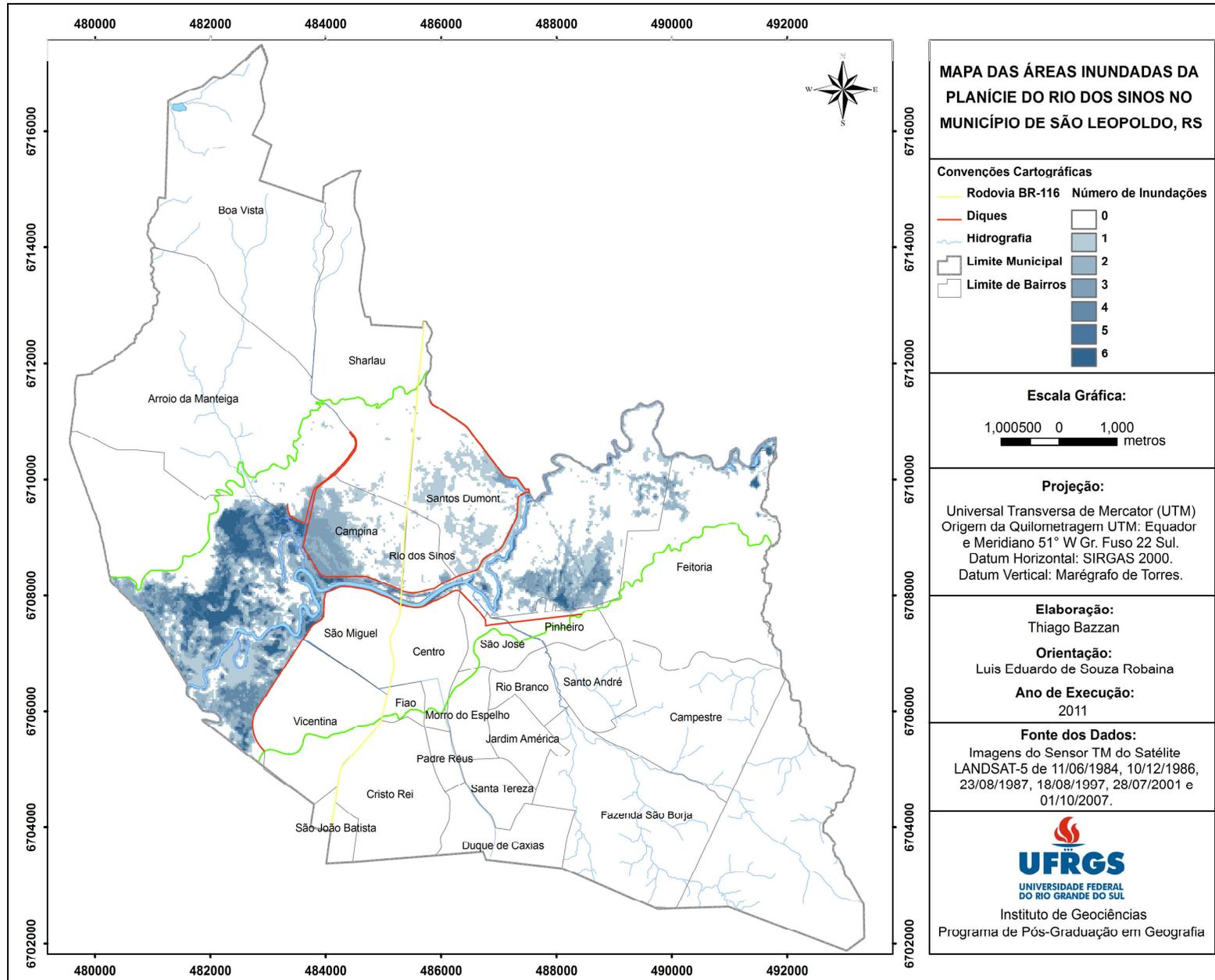


Figura 30: Mapa das áreas inundadas em São Leopoldo entre 1980 e 2009.

#### 4.2.1.2. Análise das Características do Relevo

A análise das características do relevo do município de São Leopoldo é fundamental para a delimitação das áreas naturalmente propensas a ocorrência de inundações.

O relevo do município de São Leopoldo apresenta amplitude altimétrica de 303 metros. As menores altitudes estão localizadas em áreas próximas ao rio dos Sinos, na porção centro-leste e centro-oeste do município e correspondem à cota de 1 metro. Já as maiores altitudes encontram-se localizadas nas porções norte e sul e correspondem a altitudes superiores a 300 metros. A Figura 31 apresenta a espacialização das altitudes no município.

A análise das declividades permite identificar diferentes processos geomorfológicos e definir as áreas de dissecação e deposição que ocorrem no município.

As declividades inferiores a 2% correspondem às áreas planas associadas ao rio dos Sinos, onde ocorrem processos de deposição e acumulação fluvial. Essas declividades ocorrem principalmente em altitudes de até 15 metros. Ocupam 51% do total da área, em especial na porção central do município.

Declividades entre 2 e 5% encontram-se associados às áreas onde são registrados processos deposicionais. Essas declividades estão localizadas ao longo dos principais afluentes do rio dos Sinos no município. Essas declividades ocorrem principalmente em altitudes entre 15 e 40 metros e ocupam 12.2% do total da área municipal.

As declividades entre 5% e 15% estão associadas às vertentes suavemente inclinadas, onde atuam processos de dissecação do relevo associados a erosão. São representadas por colinas localizadas principalmente nas porções norte e sul, em altitudes entre 40 e 120 metros. Ocupam 24.2% do total do município.

As declividades superiores a 15% correspondem a vertentes fortemente inclinadas representadas por escarpas localizadas principalmente nas porções norte e sul, em geral, em altitudes acima de 120 metros. Ocupam 12.6% do total do município. A distribuição das declividades pode ser observada no mapa da Figura 32.

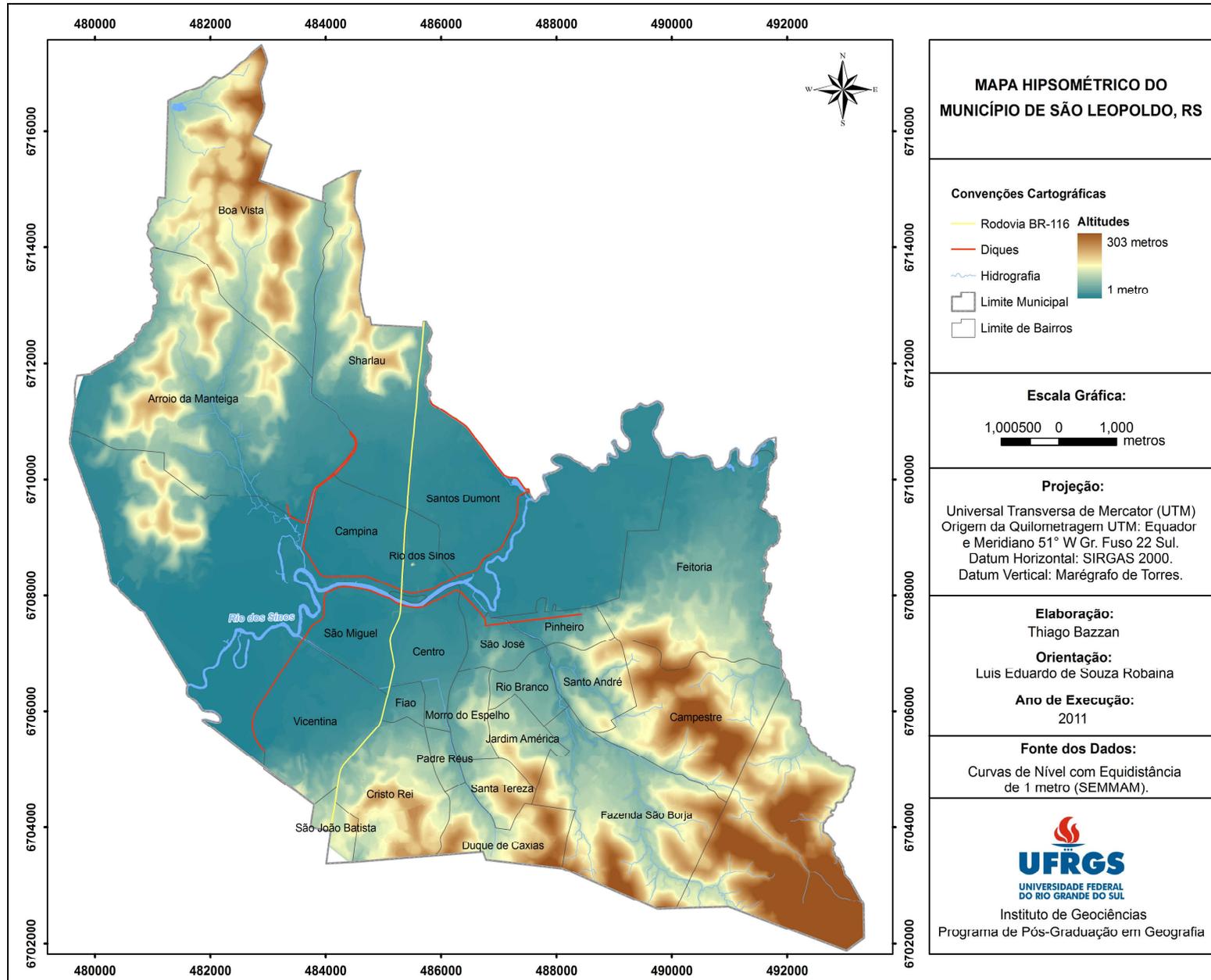


Figura 31: Mapa hipsométrico do município de São Leopoldo - RS.

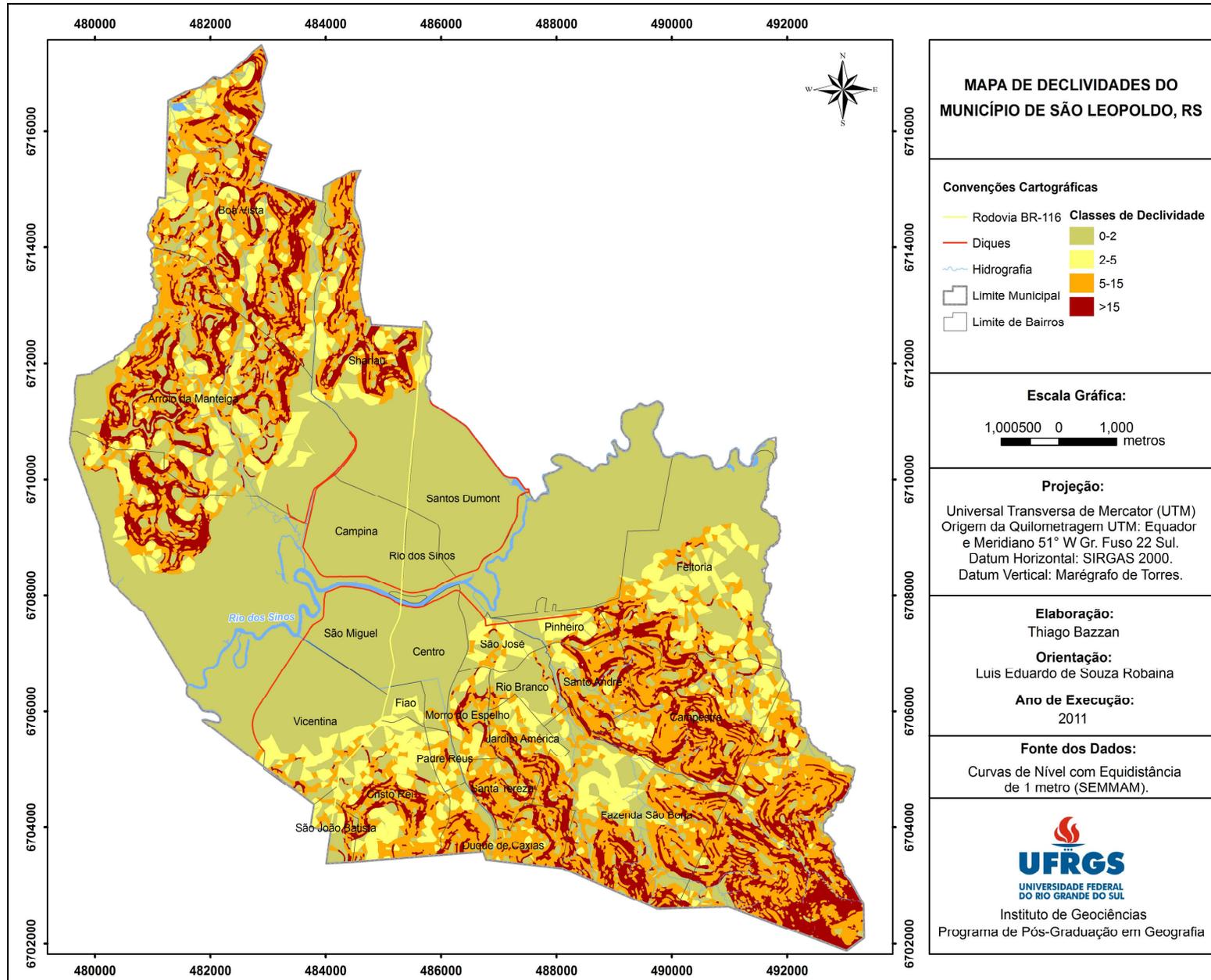


Figura 32: Mapa de declividades do município de São Leopoldo - RS.

### 4.2.1.3. Compartimentação da Planície Fluvial

A análise das características hipsométricas e clinográficas possibilitou a definição e a compartimentação da planície na área de estudo. A planície fluvial do rio dos Sinos no município de São Leopoldo abrange 37,4 km<sup>2</sup> que corresponde a 36,1% da área municipal.

O relevo da área de planície é predominantemente plano com altitudes que variam entre 1 e 15 metros e declividades inferiores a 2%. A planície fluvial representa uma faixa alongada com direção leste-oeste com transição gradual para um relevo caracterizado por colinas com declividade entre 5 e 15%.

Em relação ao limite da planície fluvial destaca-se que a menor distância em relação ao leito menor do rio dos Sinos é de aproximadamente 300 metros e ocorre na margem esquerda localizada no curso médio do canal, próximo ao bairro Pinheiro. As maiores distâncias encontradas estão localizadas na margem direita e no alto e baixo curso onde atingem até 3.800 metros em relação ao leito do canal.

A partir do mapeamento da planície verifica-se que nesta estão localizados 13 bairros de São Leopoldo: Arroio Manteiga, Scharlau, Santos Dumont, Campina, Rio dos Sinos, Vicentina, São Miguel, Centro, São José, Fião, Morro do Espelho, Pinheiro e Feitoria. O gráfico da Figura 33 apresenta a relação entre a área total do bairro e a área inserida na planície de inundação.

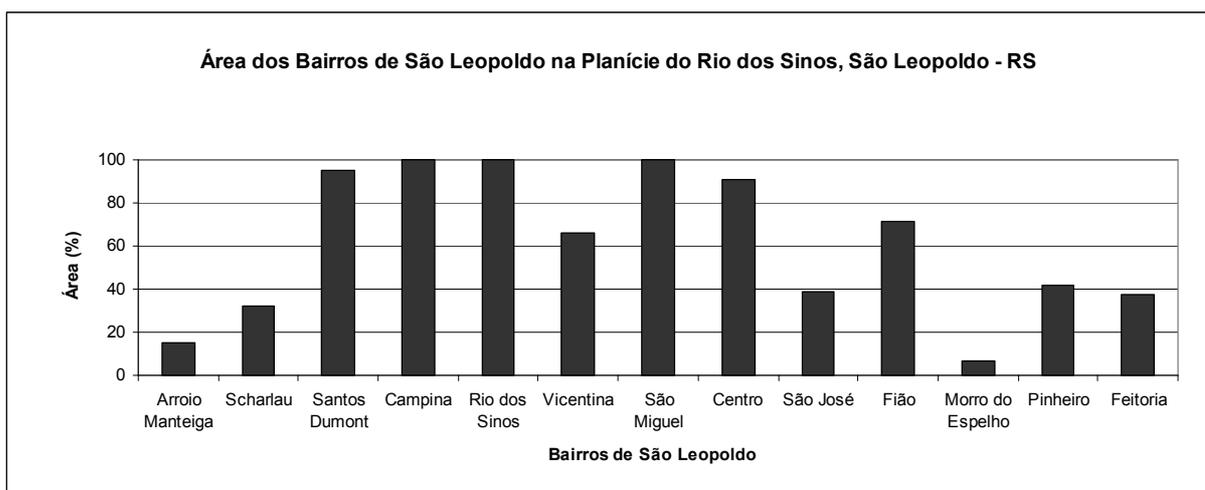


Figura 33: Área ocupada pelos bairros na planície do rio dos Sinos, São Leopoldo - RS.

Observa-se que os bairros Santos Dumont, Campina e Rio dos Sinos que apresentaram registros de inundação encontram-se, quase na totalidade, inseridos na planície, como mostra o mapa da Figura 34.

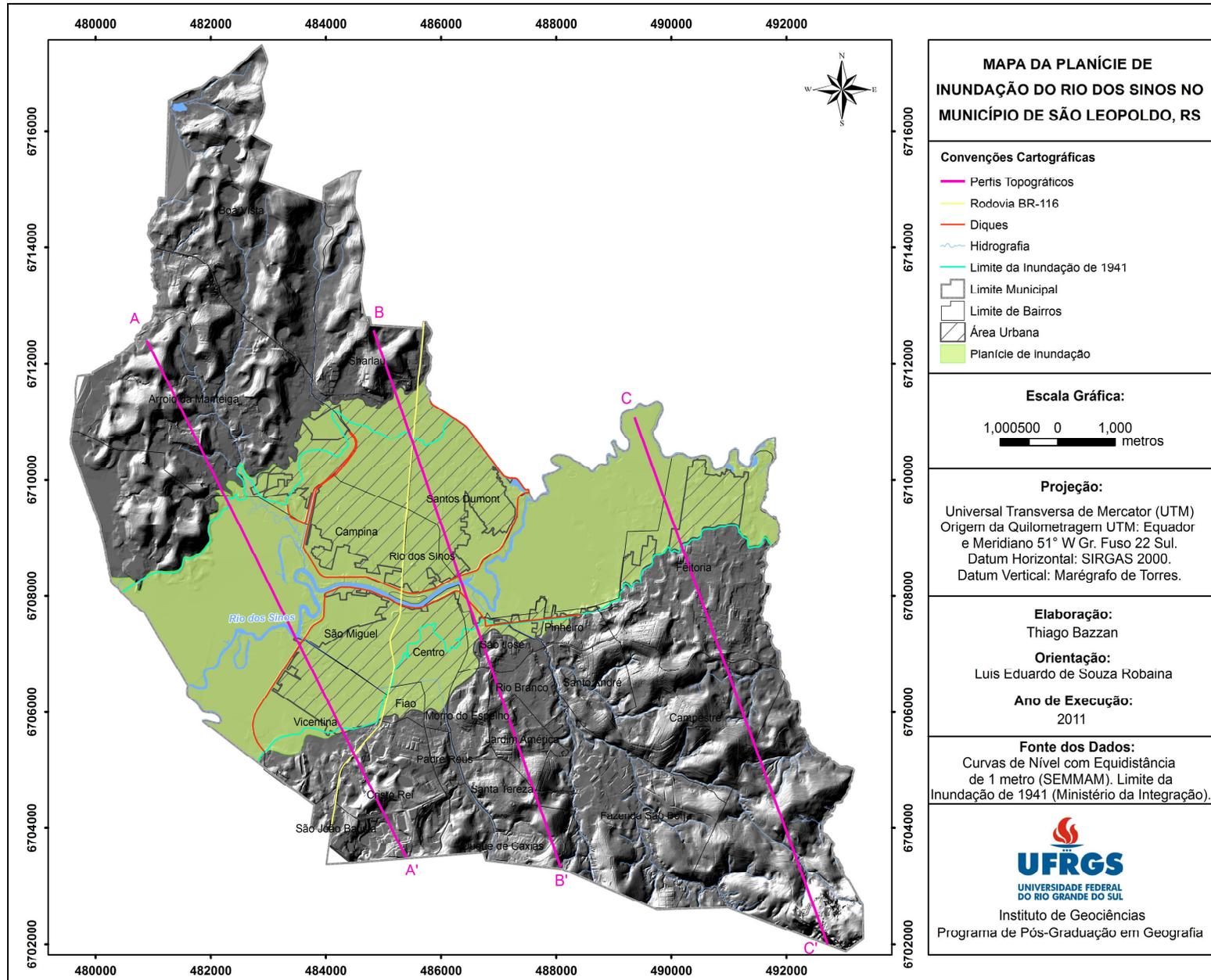


Figura 34: Mapa da planície fluvial do rio dos Sinos no município de São Leopoldo - RS.

A planície fluvial pode ser representada por meio de perfis topográficos elaborados ao longo do rio dos Sinos. Foram realizados três perfis topográficos para ilustrar as características da planície fluvial.

O perfil topográfico A-A' (Figura 35) localiza-se no baixo curso nos bairros Arroio Manteiga e Vicentina. No perfil observa-se a extensão média de 2.500 metros nas margens direita e esquerda do rio dos Sinos. Observa-se ainda a transição da planície constituída por formas de relevo planas para as colinas onde ocorrem formas de relevo onduladas e íngremes. Destaca-se neste perfil, a presença do dique de proteção contra inundações localizado na margem esquerda do rio dos Sinos e que protege o bairro Vicentina.

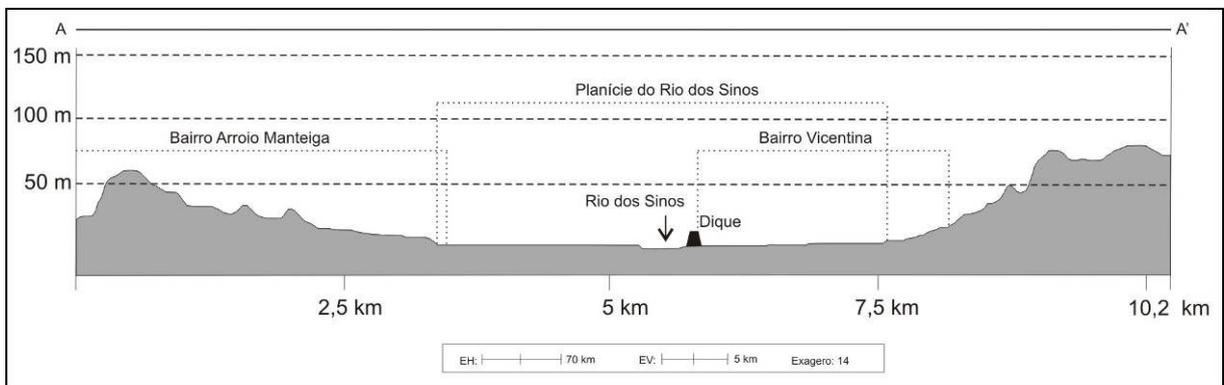


Figura 35: Perfil topográfico A-A' da planície do rio dos Sinos no baixo curso, São Leopoldo - RS.

O perfil topográfico B-B' localiza-se no médio curso nos bairros Scharlau, Santos Dumont e São José. No perfil pode-se observar a maior extensão da planície na margem direita e menor extensão na margem esquerda. De forma geral, a transição da planície é constituída por formas de relevo planas para colinas e morros, como mostra a Figura 36. Destaca-se neste perfil, a presença do dique de proteção contra inundações localizada na margem direita do rio dos Sinos que protege os bairros Scharlau e Santos Dumont e na margem esquerda que protege o bairro Centro e São José.

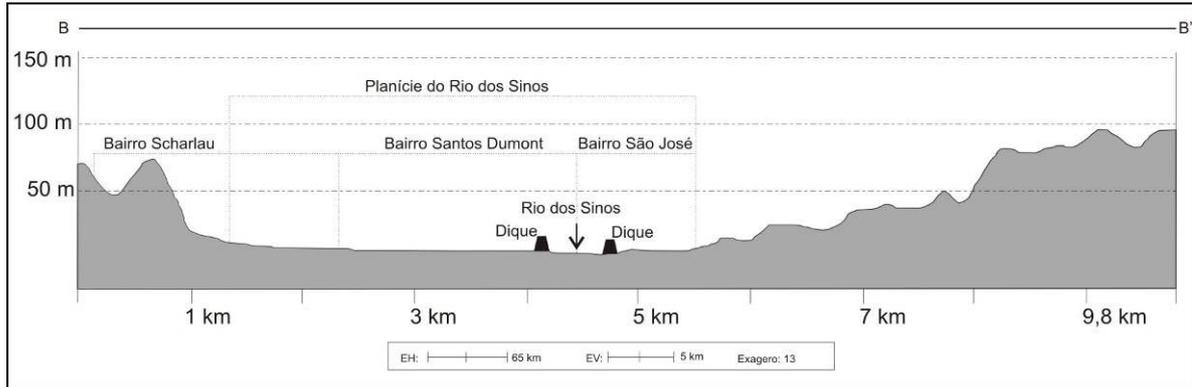


Figura 36: Perfil topográfico B-B' da planície do rio dos Sinos no médio curso, São Leopoldo - RS.

O perfil topográfico C-C' localiza-se no alto curso da planície fluvial no bairro Feitoria. No perfil pode-se observar a extensão média da planície na margem esquerda de 2.000 metros. De forma geral, a transição da planície é constituída por formas de relevo planas para colinas e morros, conforme indicado na Figura 37.

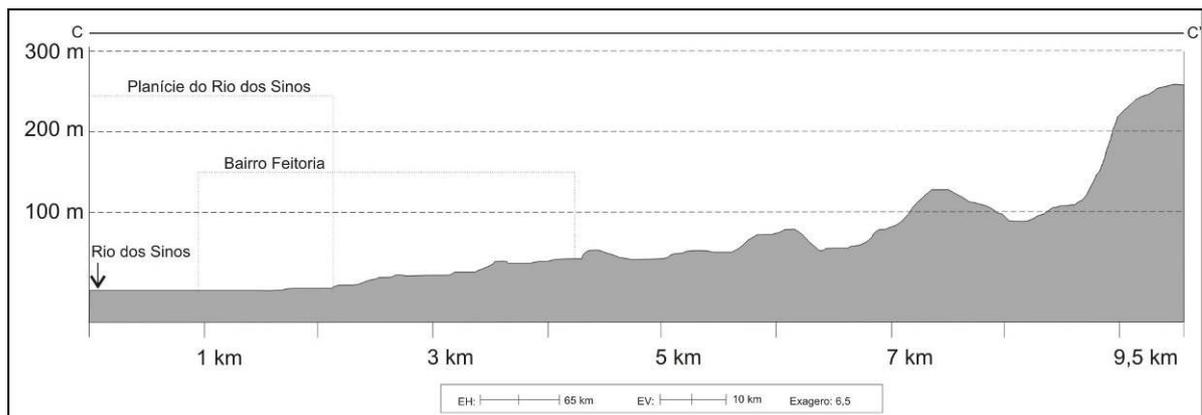


Figura 37: Perfil topográfico C-C' da planície do rio dos Sinos no alto curso, São Leopoldo - RS.

#### 4.2.2. Intensidade e Frequência das Inundações

A intensidade e a frequência das inundações na área de estudo foram definidas com base no Tempo de Retorno (TR) e das cotas topográficas. A Tabela 1 mostra as cotas fluviométricas anuais máximas registradas na régua linimétrica de São Leopoldo, entre os anos de 1980 e 2009.

Tabela 1: Cotas anuais máximas no período de 1980 a 2009<sup>4</sup>

<b>Data</b>	<b>Cota Fluviométrica (metros)</b>
03/08/1980	4.42
13/06/1981	4.24
01/07/1982	5.06
05/08/1983	5.36
23/06/1984	5.58
15/08/1985	5.67
29/12/1986	4.61
28/09/1988	4.92
11/05/1989	4.25
16/10/1990	4.92
31/12/1991	3.84
10/07/1992	4.25
14/07/1993	5.23
19/05/1994	4.36
23/07/1995	4.91
20/10/1996	4.20
08/08/1997	4.79
20/08/1998	4.30
10/11/1999	3.91
18/10/2000	4.58
24/07/2001	5.05
15/06/2002	5.07
13/07/2003	4.36
18/11/2004	4.12
05/09/2005	5.07
28/01/2006	3.17
15/07/2007	4.89
08/05/2008	5.78
19/11/2009	5.59

Fonte: Dados da régua fluviométrica da CPRM/ANA de São Leopoldo - RS.

A cota máxima anual de maior ordem foi registrada no ano de 2008, onde o nível da água atingiu a cota fluviométrica de 5,78 metros e a cota topográfica de 5,28 metros, representando a inundação com maior intensidade ocorrida no período analisado. A cota máxima anual de menor ordem foi registrada no ano de 2006 onde o nível da água atingiu a cota fluviométrica de 3,17 metros e cota topográfica de 2,67 metros. A Tabela 2 mostra as cotas fluviométricas, cotas topográficas, Tempos de Retorno (TR) correspondentes e ocorrência de inundação.

<sup>4</sup> A cota fluviométrica máxima do ano de 1987 não foi utilizada devido à falhas nas leituras.

Tabela 2: Tempo de retorno e cotas topográficas

Ordem	Cota Fluviométrica (metros)	Cota Topográfica (metros)	Tempo de Retorno (anos)	Registro de Inundação
1	5.78	5.28	30.0	Sim
2	5.67	5.17	15.0	Sim
3	5.59	5.09	10.0	Sim
4	5.58	5.08	7.5	Sim
5	5.36	4.86	6.0	Sim
6	5.23	4.73	5.0	Sim
7	5.07	4.57	4.3	Sim
8	5.07	4.57	3.7	Sim
9	5.06	4.56	3.3	Sim
10	5.05	4.55	3.0	Sim
11	4.92	4.42	2.7	Sim
12	4.92	4.42	2.5	Sim
13	4.91	4.41	2.3	Sim
14	4.89	4.39	2.1	Sim
15	4.79	4.29	2.0	Sim
16	4.61	4.11	1.9	Sim
17	4.58	4.08	1.8	Sim
18	4.42	3.92	1.7	Sim
19	4.36	3.86	1.6	Sim
20	4.36	3.86	1.5	Sim
21	4.30	3.80	1.4	Sim
22	4.25	3.75	1.4	Sim
23	4.25	3.75	1.3	Sim
24	4.24	3.74	1.2	Sim
25	4.20	3.70	1.2	Não
26	4.12	3.62	1.1	Não
27	3.91	3.41	1.1	Não
28	3.84	3.34	1.1	Não
29	3.17	2.67	1.0	Não

Com base nas informações apresentadas, pode se observar que a partir da cota fluviométrica de 4.24 metros e a cota topográfica de 3.74 metros ocorrem inundações do rio dos Sinos.

A partir da definição do Tempo de Retorno foram definidos três faixas de Tempos de Retorno (TR) em relação à cota topográfica atingida pelas inundações: TR<10, TR10-30 e TR>30.

O TR<10 corresponde a locais com probabilidade temporal de serem atingidas em até 10 anos. O TR<10 ocupa uma área de 15,5 km<sup>2</sup>. A cota

fluviométrica máxima é de 5,59 metros e cota topográfica de 5,09 metros. Está situada a leste e oeste do município e ocorre nos bairros Rio dos Sinos, Pinheiro e Feitoria. Nestas áreas é verificada uma alta frequência de inundações dado o número de ocorrências registradas.

O TR10-30 corresponde a locais com probabilidade temporal de serem atingidas em até 30 anos. O TR10-30 ocupa uma área de 0,6 km<sup>2</sup>. As cotas fluviométricas situam-se entre 5,59 e 5,77 metros e as cotas topográficas entre 5,09 e 5,27 metros. Nestas áreas é verificada a ocorrência inundações de maior intensidade, porém de menor frequência em relação ao TR<10.

O TR>30 corresponde a locais com probabilidade temporal de serem atingidas acima de 30 anos. O TR>30 ocupa uma área de 21,2 km<sup>2</sup>. As cotas fluviométricas situam-se acima de 5,78 metros e as cotas topográficas acima de 5,28 metros. O TR>30 ocorre no centro e a leste do município nos bairros Arroio Manteiga, Scharlau, Santos Dumont, Campina, Rio dos Sinos, Vicentina, São Miguel, Centro, São José, Fião, Morro do Espelho, Pinheiro e Feitoria. Estas áreas estão expostas a inundações de grande intensidade, porém de baixa frequência. A Figura 38 mostra a área ocupada pelos bairros para cada Tempo de Retorno.

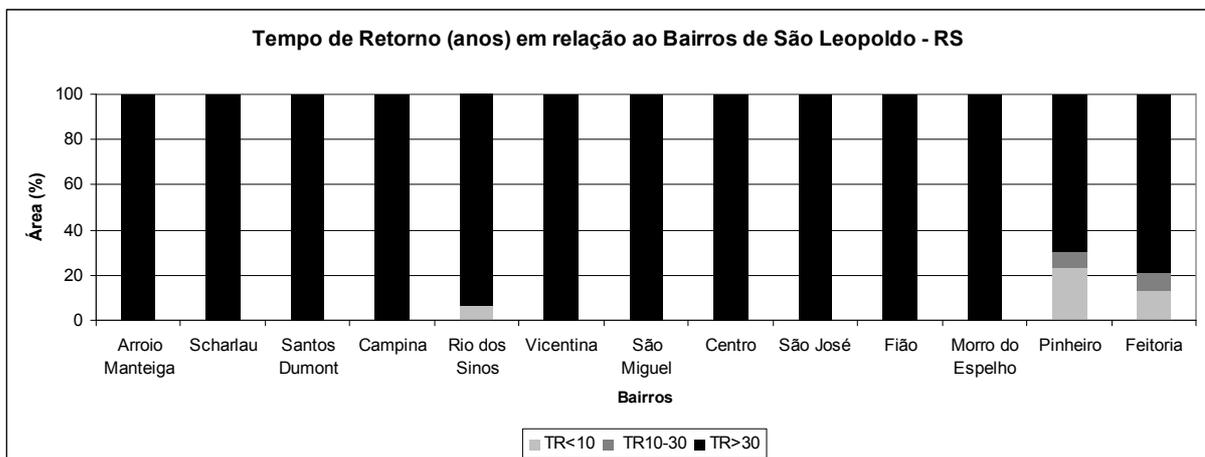


Figura 38: TR em relação a área dos bairros na planície do rio dos Sinos, São Leopoldo - RS.

É importante destacar que o predomínio de Tempos de Retorno acima de 30 anos deve-se ao sistema de proteção contra inundações que proporcionou a redução da frequência e intensidade das inundações em determinadas áreas. A espacialização do Tempo de Retorno pode ser observada no mapa da Figura 39.

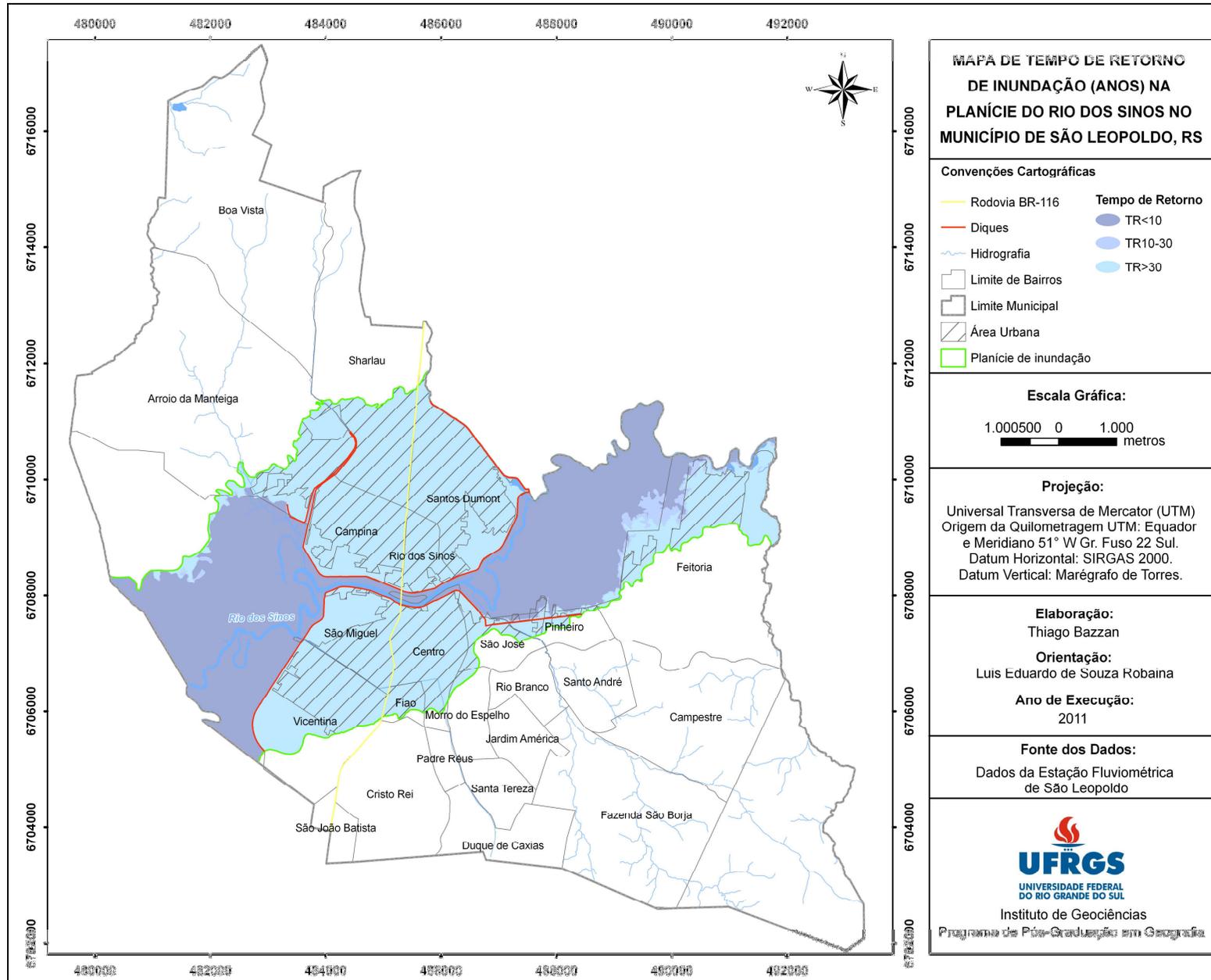


Figura 39: Mapa do Tempo de Retorno das inundações do rio dos Sinos, São Leopoldo - RS.

### 4.2.3. Gerenciamento das Inundações

Na área de estudo, as inundações são controladas pela presença de um sistema de proteção constituído por diques. O sistema contra inundações foi implantado de forma gradual e em diferentes áreas do município. A construção do sistema de proteção pode ser observada, por meio do mapeamento, em três fases.

A primeira fase de implantação dos diques corresponde ao período entre 1970 e 1980 e ocorreu na margem esquerda do rio dos Sinos, com o objetivo de proteger o centro do município e bairros como São Miguel e Vicentina. Essa parte do sistema protege uma área de 7,5 km<sup>2</sup> da planície. Na Figura 40 observa-se parte do sistema de proteção composto pelo muro de concreto construído sobre o antigo muro do cais que protege das inundações os bairros Centro, São Miguel e Vicentina.



Figura 40: Dique de proteção contra inundações do rio dos Sinos no Centro, São Leopoldo - RS.  
Fonte: Trabalho de Campo (2009).

A segunda fase corresponde a construção do dique na margem direita do rio dos Sinos, que visa proteger os bairros Campina, Scharlau, Rios dos Sinos e Santos Dumont. O dique foi construído entre o final da década de 1980 e início da década de 1990. Essa parte do sistema protege uma área de 10,8 km<sup>2</sup> da planície. Na Figura 41 pode-se observar parte do sistema composto por dique que protege estes bairros das inundações do rio dos Sinos.



Figura 41: Dique de proteção contra inundações no bairro Santos Dumont, São Leopoldo - RS.  
Fonte: Ministério da Integração - 07/09/2008.

A terceira fase corresponde a construção de um canal de extravasamento no bairro Rio dos Sinos, no final da década de 1990. A construção desse canal de extravasamento formou uma ilha que é delimitada pelo leito seco e pelo canal natural do rio dos Sinos. A Figura 42 apresenta o canal de extravasamento seco do rio dos Sinos em período de vazão normal.

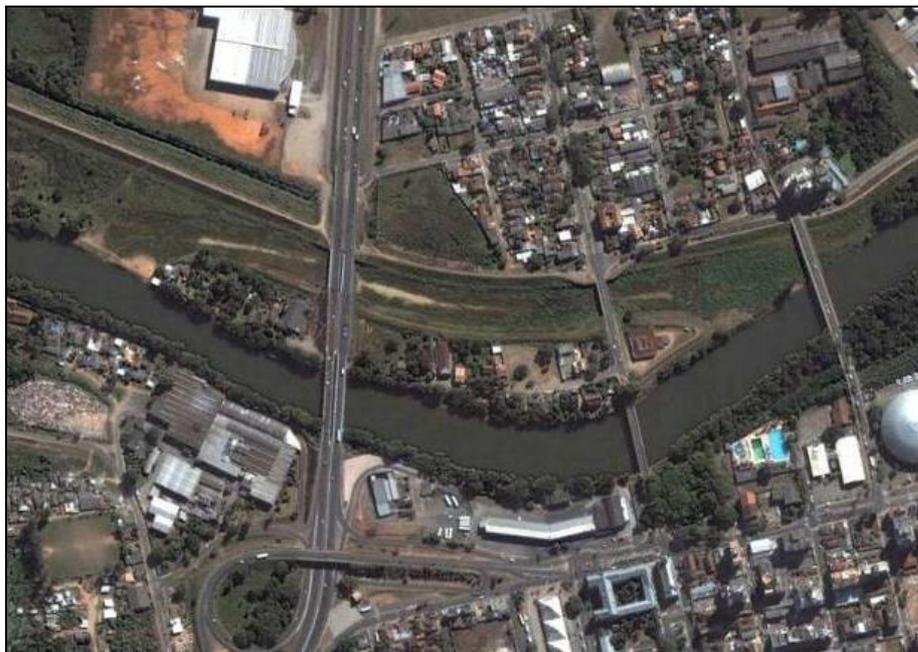


Figura 42: Canal de extravasamento do rio dos Sinos, bairro Rio dos Sinos, São Leopoldo - RS.  
Fonte: Google Earth - Imagem de 18/04/2009.

As áreas protegidas pelos diques totalizam 18,2 km<sup>2</sup> da planície. Já as áreas que não são protegidas pelos diques totalizam 19,1 km<sup>2</sup> da planície. Observa-se que os bairros Arroio Manteiga e São José apresentam algumas áreas sem proteção, mas sem registros de inundação devido a ocorrência de áreas desocupadas. Já os bairros Rio dos Sinos (Ilha), Pinheiro, Feitoria encontram-se em áreas sem proteção contra inundações e com registros de inundação. O gráfico da Figura 43 mostra o grau de gerenciamento das inundações nos bairros.

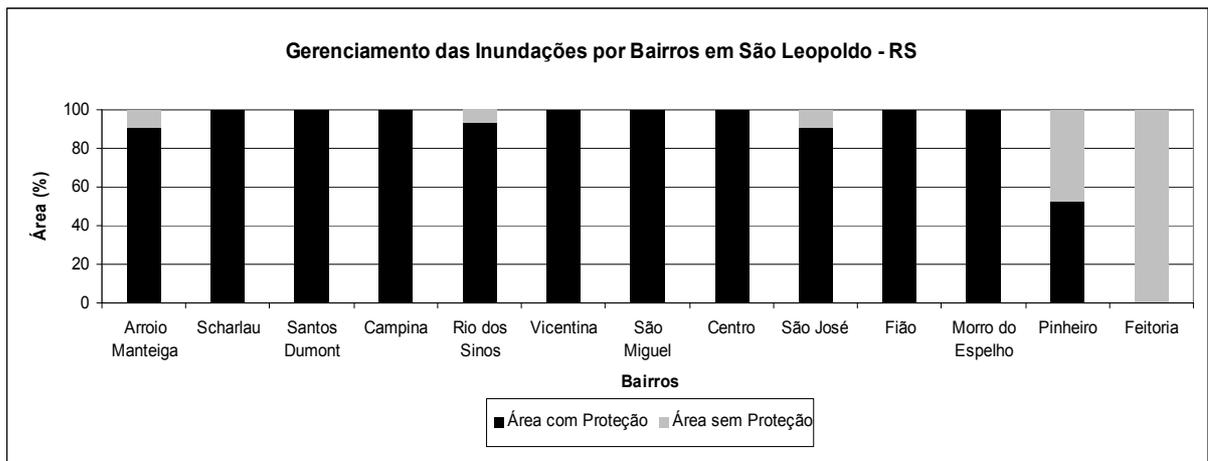


Figura 43: Nível de gerenciamento das inundações nos bairros, São Leopoldo - RS.

O mapa da Figura 44 mostra a localização dos diques e do canal de extravasamento no município de São Leopoldo.

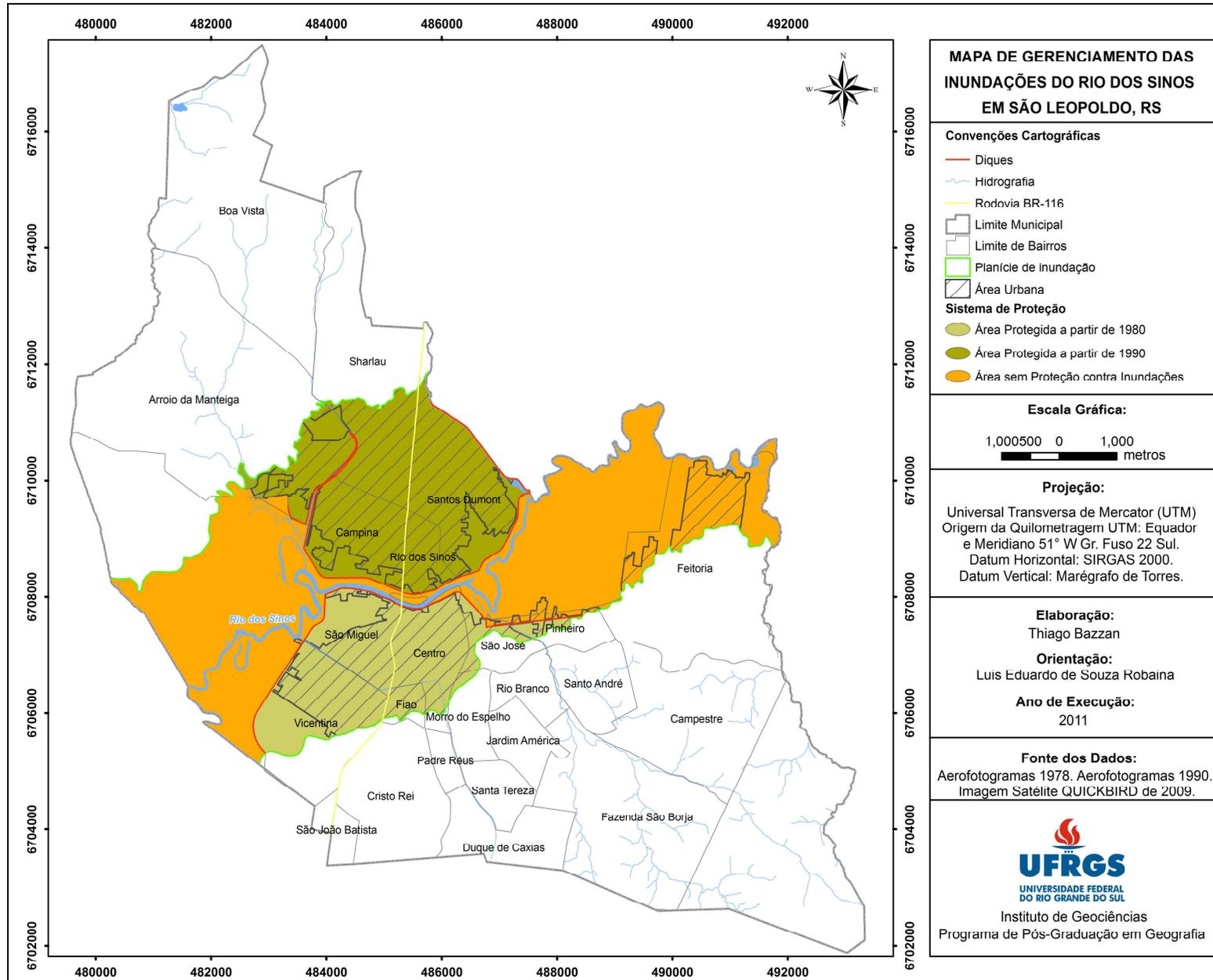


Figura 44: Mapa de gerenciamento das inundações no município de São Leopoldo - RS.

#### 4.2.4. Mapeamento e Análise do Perigo de Inundações

A definição das áreas com perigo de inundação permitiu estabelecer a probabilidade de ocorrência espacial e temporal em 3 classes: baixo, médio e alto perigo de inundações.

As áreas com baixo perigo de inundações encontram-se em altitudes entre 0 até 16 metros e ocupam 15,4 km<sup>2</sup>. São caracterizadas pela baixa probabilidade espacial e temporal de ocorrência de inundações devido ao sistema de proteção. Os bairros localizados nessas áreas são Arroio Manteiga, Scharlau, Santos Dumont, Campina, Vicentina, São Miguel, Centro, São José, Fião, Morro do Espelho, e porção dos bairros Rio dos Sinos, Pinheiro e Feitoria.

As áreas com médio perigo de inundação situam-se em altitudes entre 4 e 6 metros. Essas áreas estão situadas principalmente na porção leste da planície e ocupam 0,3 km<sup>2</sup>. São caracterizadas pela ausência de sistemas de proteção e predisposição a inundações com tempo de retorno entre 10 e 30 anos. Os bairros localizados em áreas de médio perigo são Pinheiro e Feitoria.

As áreas com alto perigo de inundação encontram-se em altitudes inferiores a 4 metros. Essas áreas estão localizadas na porção leste da planície de inundação e ocupam 0,3 km<sup>2</sup>. São caracterizadas pela ausência de sistemas de proteção e ocorrência de inundações de alta frequência e baixas magnitudes com tempo de retorno inferior a 10 anos. Os principais bairros situados nessas áreas são: Rio dos Sinos, Pinheiro e Feitoria, como mostra o gráfico da Figura 45. O mapa de perigo de inundações consta na Figura 46. As principais áreas em que ocorre alto perigo de inundação são apresentadas na Figura 47, Figura 48 e Figura 49.

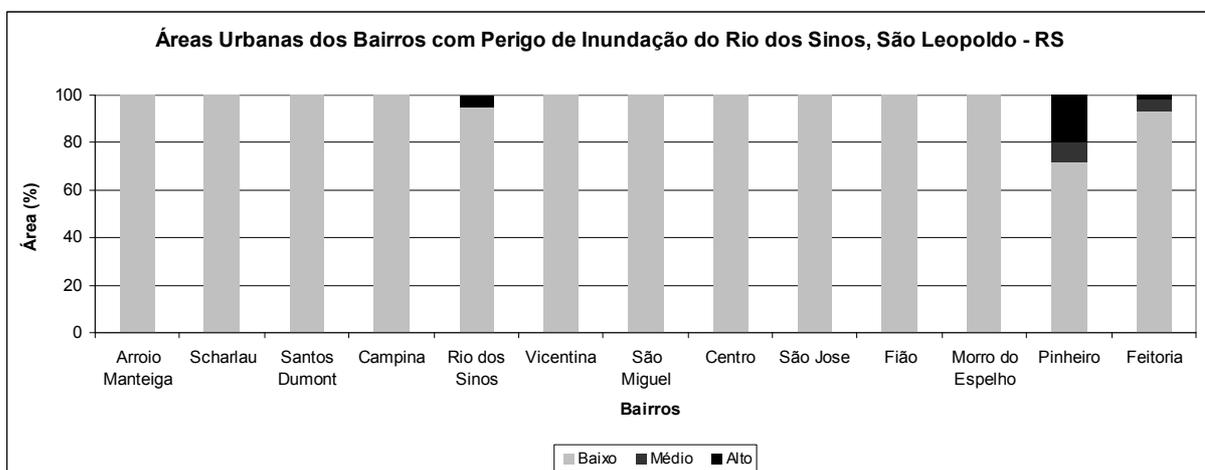


Figura 45: Áreas urbanas dos bairros em relação ao perigo de inundações, São Leopoldo - RS.

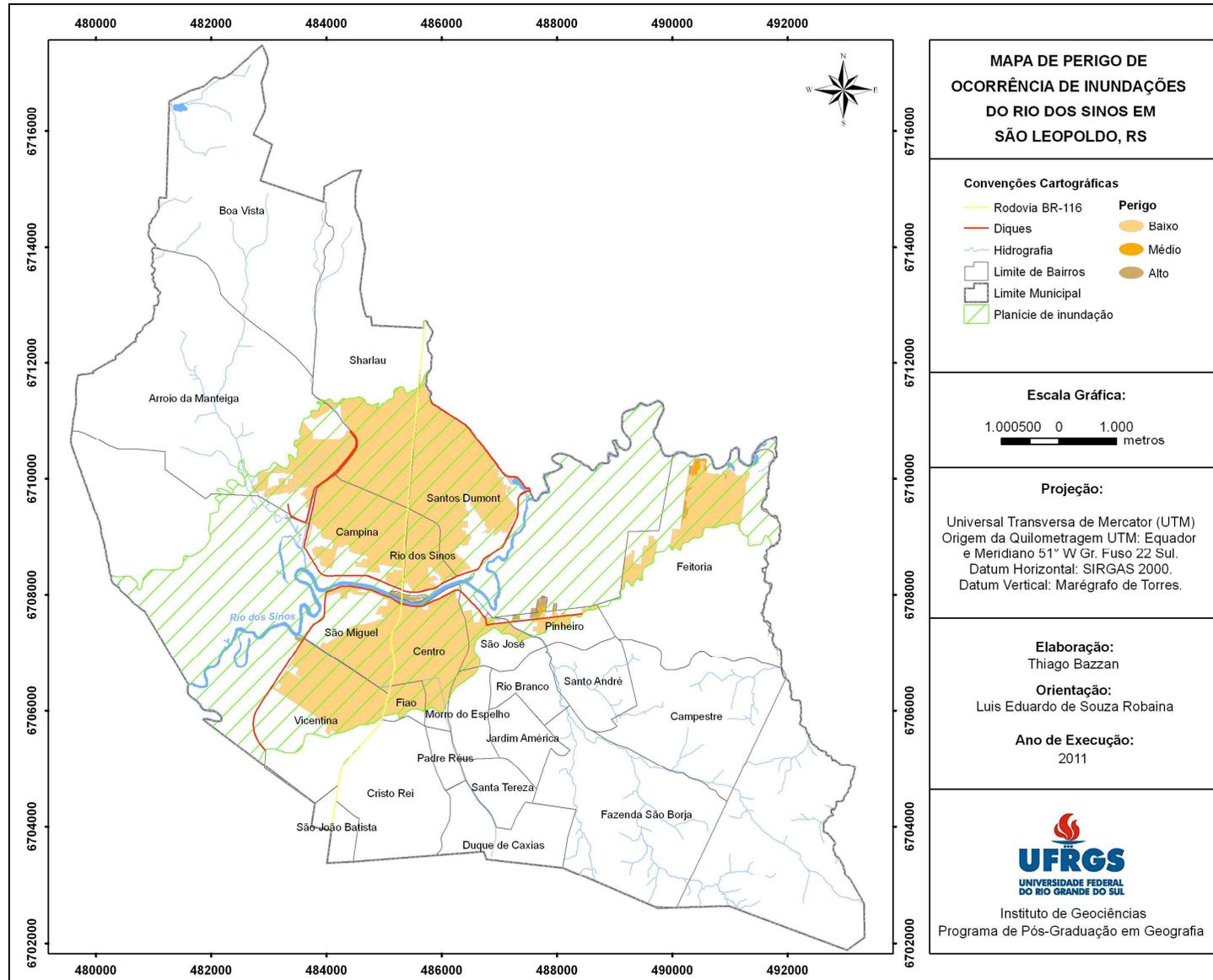


Figura 46: Mapa das áreas com perigo de inundações do rio dos Sinos, São Leopoldo - RS.

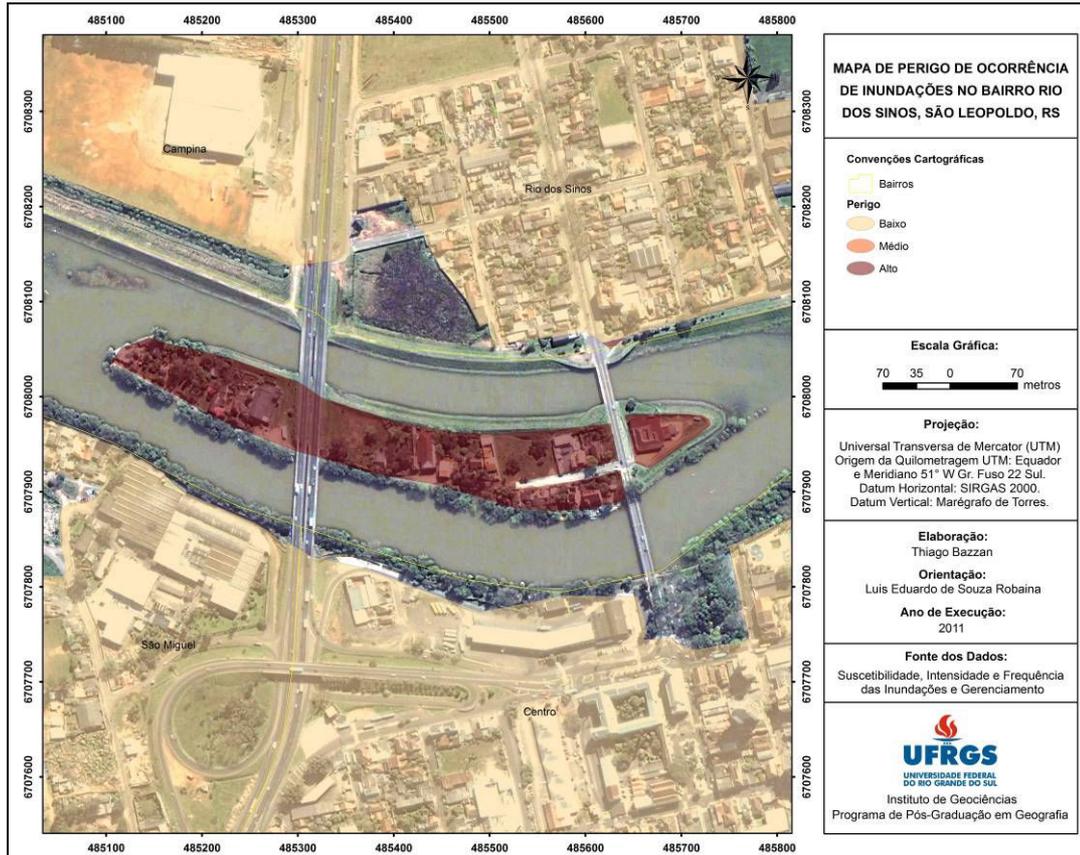


Figura 47: Áreas com perigo de inundações no bairro Rio dos Sinos, São Leopoldo - RS.

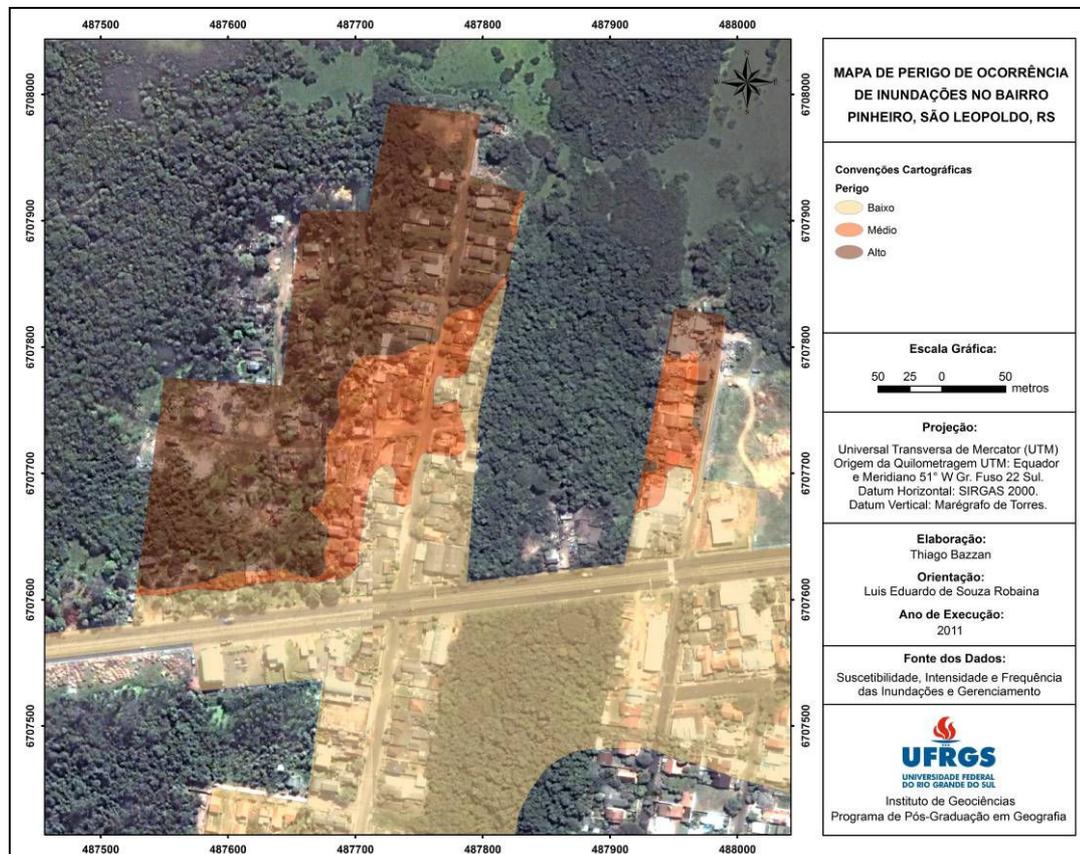


Figura 48: Áreas com perigo de inundações no bairro Pinheiro, São Leopoldo - RS.

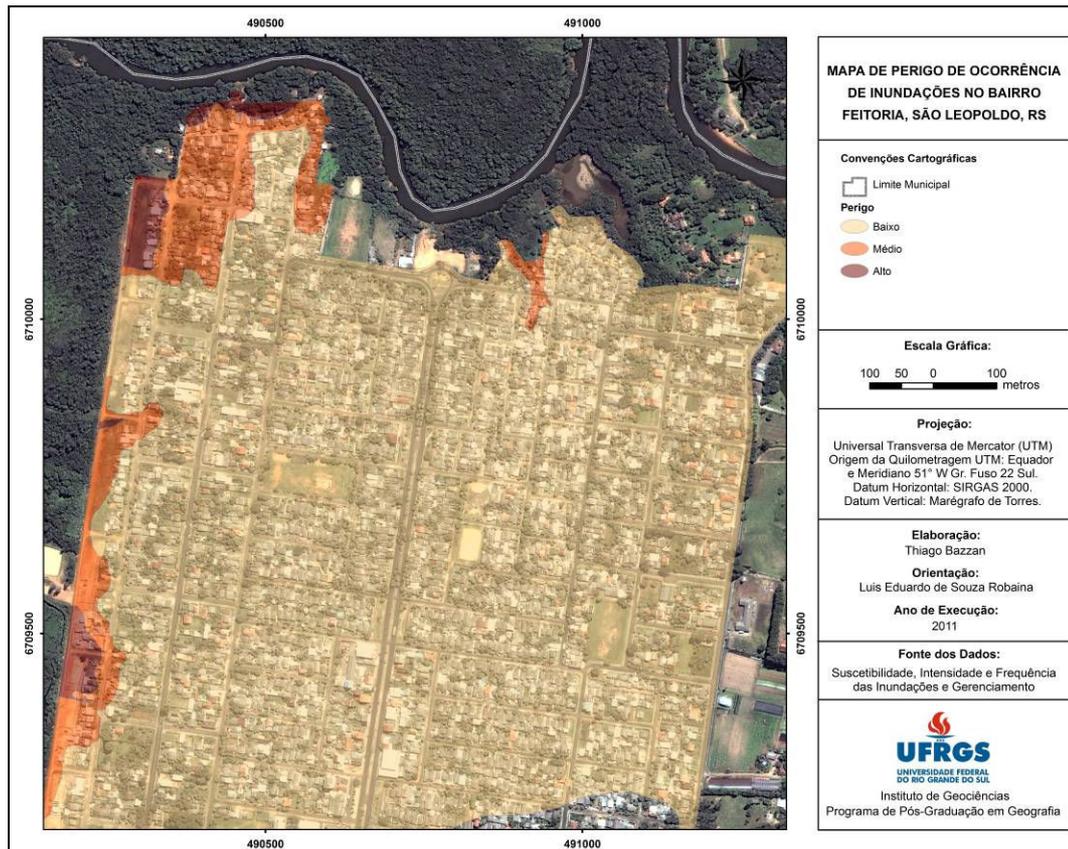


Figura 49: Áreas com perigo de inundações no bairro Feitoria, São Leopoldo - RS.

### 4.3. Avaliação da Vulnerabilidade às Inundações

A vulnerabilidade foi avaliada por meio da análise, correlação e síntese sobre o processo de urbanização ocorrido entre 1978 e 2009, uso do solo e padrão urbano, elementos expostos e as áreas com recorrência de inundação.

#### 4.3.1. Urbanização entre 1980 e 2009

O crescimento da área urbana e as modificações antrópicas na planície foram analisados por meio do mapeamento das áreas urbanas nos anos de 1978, 1990, 2000 e 2009.

A área com ocupação urbana na planície do rio dos Sinos no ano de 1978 totalizava 5,3 km<sup>2</sup>. Neste período a malha urbana se concentrava principalmente na porção central da planície de inundação. Os bairros com maior área urbana inserida na planície, nesse período, são o Centro, Scharlau, Campina, Rio dos Sinos, Santos Dumont e Vicentina, conforme mostra o gráfico da Figura 50.

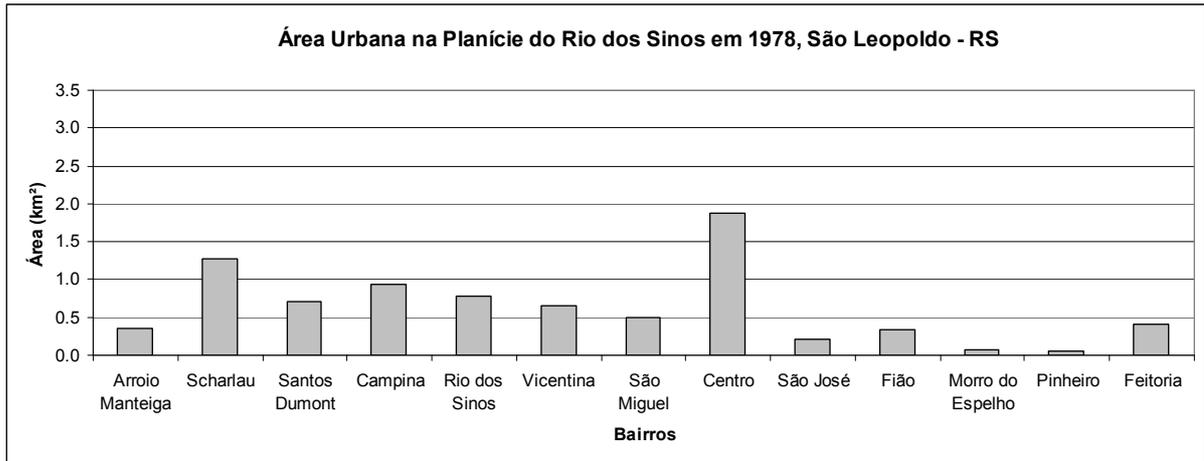


Figura 50: Área urbana dos bairros em 1978, na planície do rio dos Sinos, São Leopoldo - RS.

No início da década de 1990 a ocupação urbana na planície do rio dos Sinos totalizava 7,5 km<sup>2</sup>. Por meio do mapeamento verificou-se que entre os anos de 1978 e 1990 os bairros Santos Dumont, Feitoria, Scharlau e Vicentina foram os que apresentaram maior crescimento da área urbana, conforme mostra o gráfico da Figura 51.

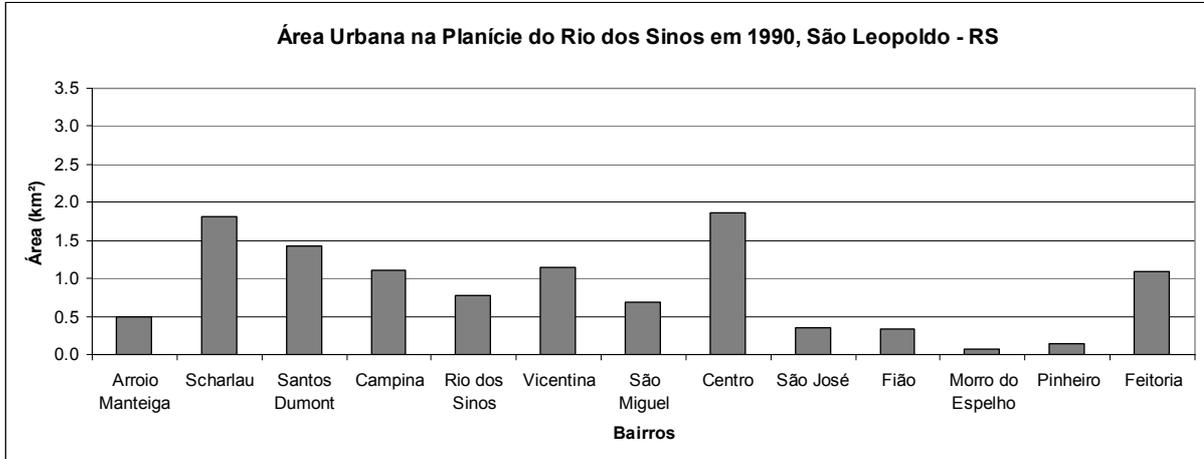


Figura 51: Área urbana dos bairros em 1990, na planície do rio dos Sinos, São Leopoldo - RS.

No início da década de 2000 a área com ocupação urbana na planície do rio dos Sinos totalizava 10 km<sup>2</sup>. No período entre 1990 e 2000 os bairros Santos Dumont, Campina, Arroio Manteiga e Vicentina apresentaram maior crescimento da área urbana, conforme mostra o gráfico da Figura 52. Destaca-se que neste período foram registradas inundações nos bairros Rio dos Sinos (Ilha), Pinheiro e Feitoria.

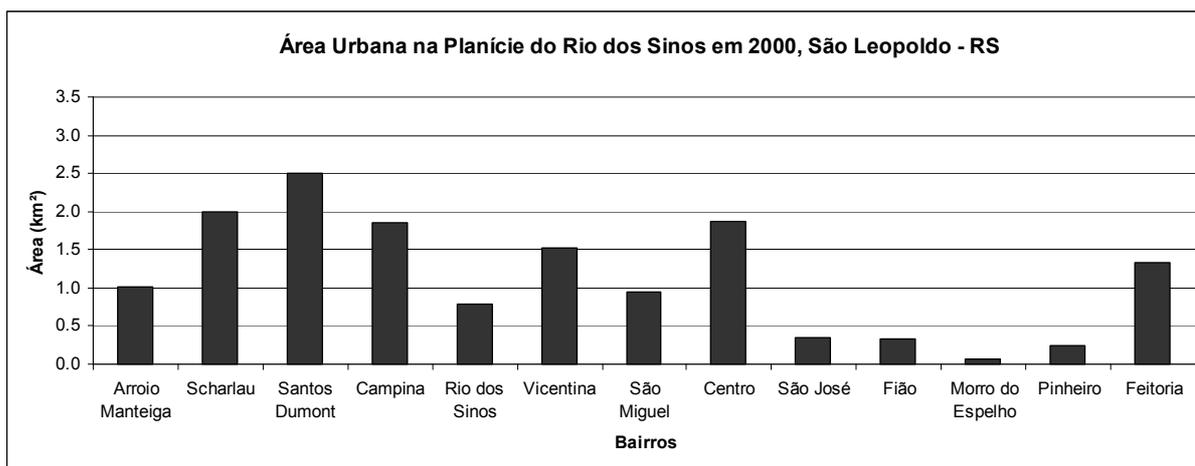


Figura 52: Área urbana dos bairros em 2000, na planície do rio dos Sinos, São Leopoldo - RS.

A área com ocupação urbana na planície do rio dos Sinos no ano de 2009 totalizava 10,9 km<sup>2</sup>. Os bairros com maior crescimento da área urbana na planície, no período entre 2000 e 2009 foram Santos Dumont, São Miguel, Vicentina, Campina e Feitoria, conforme mostra o gráfico da Figura 53. Destaca-se que neste período foram registradas inundações nos bairros Rio dos Sinos (Ilha), Pinheiro e Feitoria.

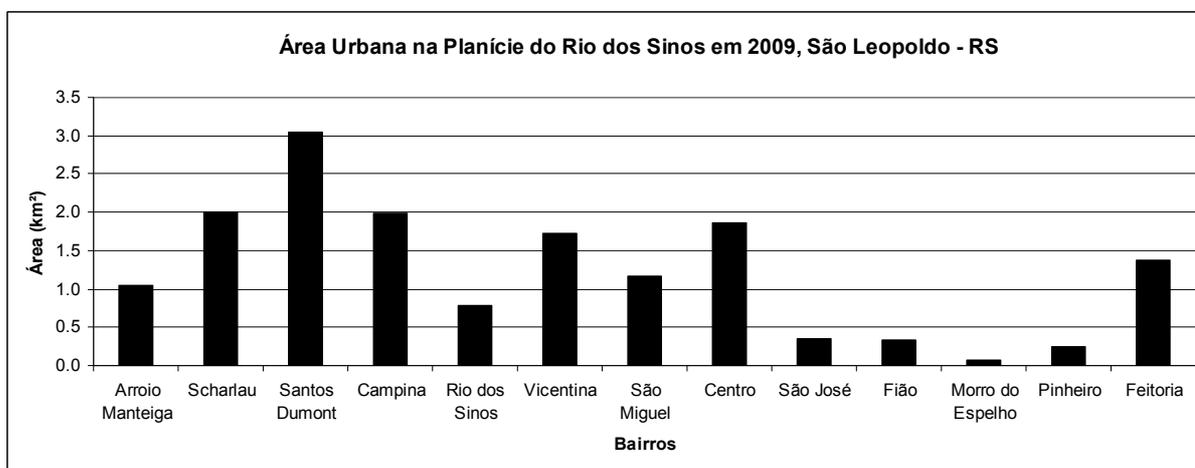


Figura 53: Área urbana dos bairros em 2009, na planície do rio dos Sinos, São Leopoldo - RS.

A evolução da área urbana dos bairros pode ser observada no gráfico da Figura 54 que apresenta o crescimento entre 1978 e 2009. Observa-se que os bairros que apresentaram maior área urbana na planície até o ano de 2009 foram Santos Dumont, Campina, Scharlau Vicentina, Centro e Feitoria.

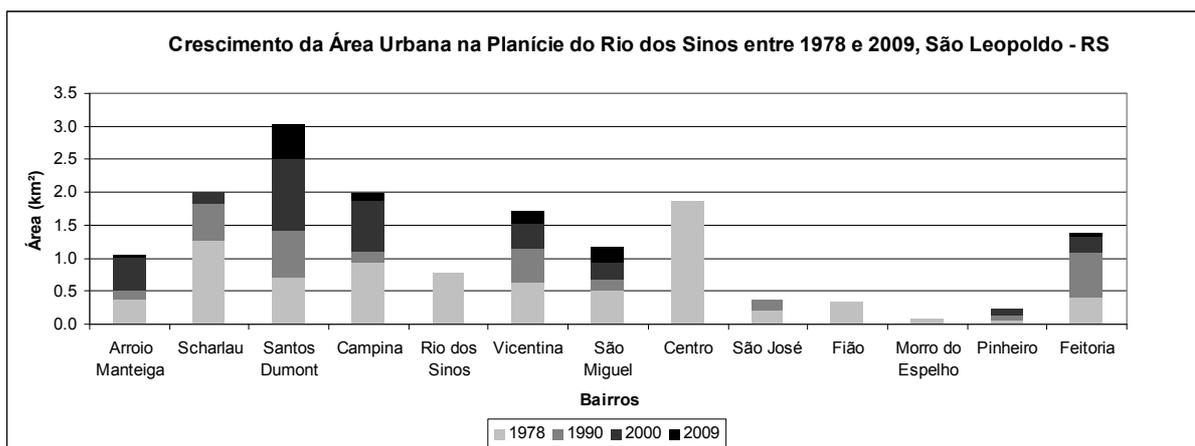


Figura 54: Área urbana entre 1978 e 2009, na planície do rio dos Sinos, São Leopoldo - RS.

O processo de urbanização ocorrido entre 1978 e 2009 representou um aumento de 50% da área com ocupação urbana, como pode ser observado no gráfico da Figura 55. No ano de 2009 a área urbana ocupa aproximadamente 30% da planície de inundação.

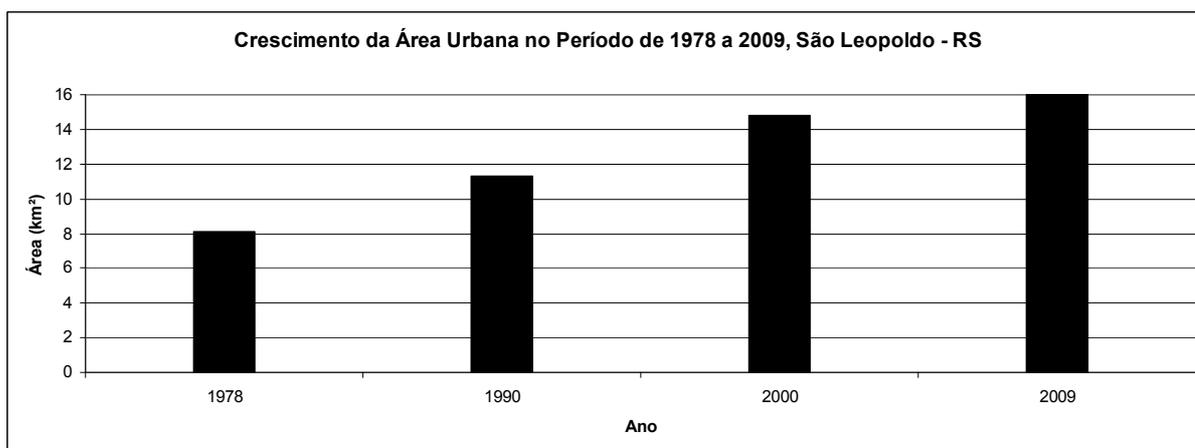


Figura 55: Área urbanizada entre 1978 e 2009, na planície do rio dos Sinos, São Leopoldo - RS.

O crescimento espacial da área e a ocupação urbana na planície do rio dos Sinos, em diferentes períodos, podem ser observados no mapa da Figura 56. O processo de crescimento urbano neste período proporcionou a ocupação de áreas mais próximas ao rio dos Sinos caracterizadas pela maior suscetibilidade de ocorrência de inundações.

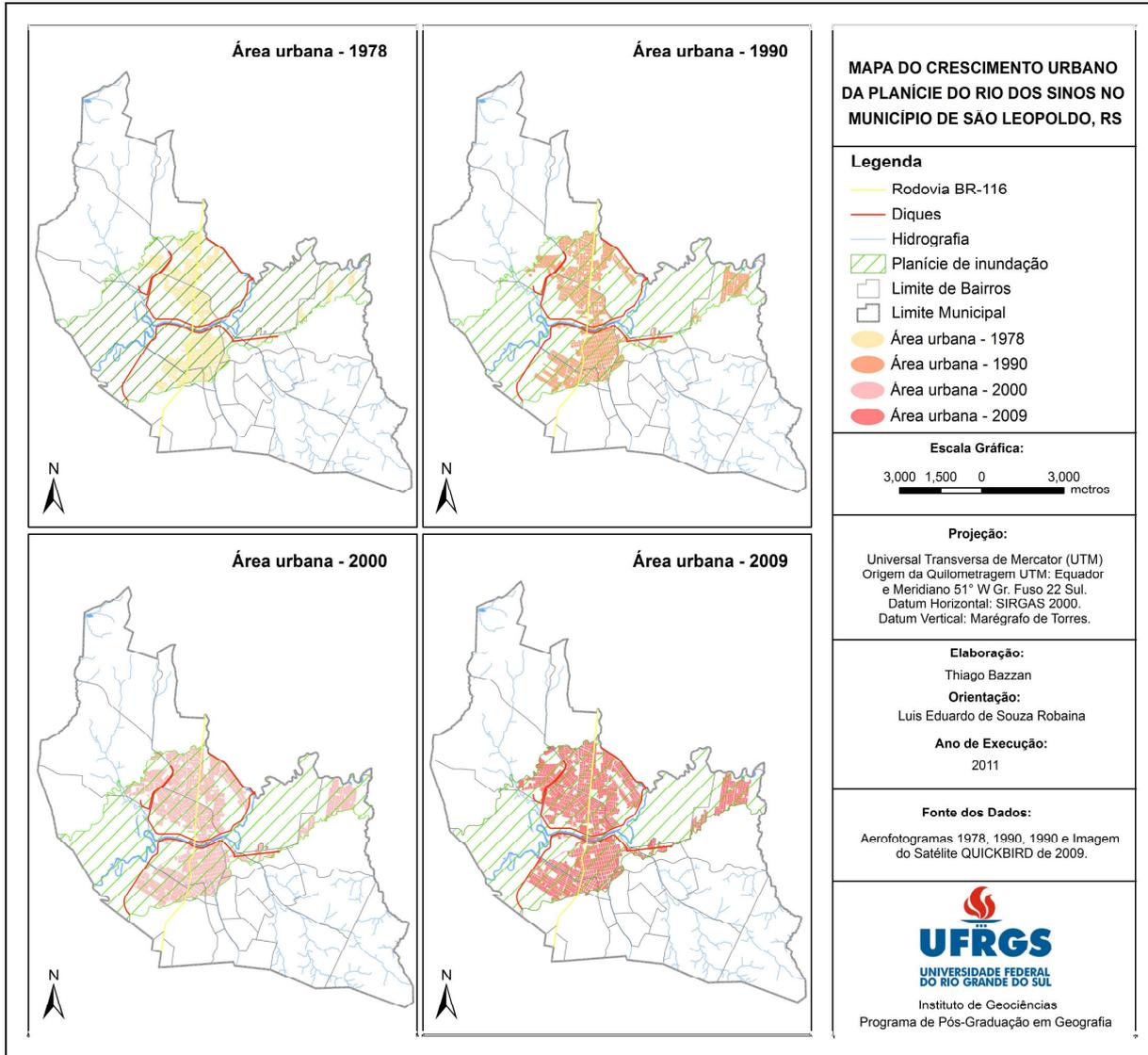


Figura 56: Áreas urbanas de 1978 a 2009, na planície do rio dos Sinos, São Leopoldo - RS.

A partir da análise do processo de urbanização, verifica-se que as principais áreas onde ocorreu o crescimento urbano correspondem às protegidas pelos diques, com exceção dos bairros Feitoria e Pinheiro que não apresentam sistema de proteção contra inundações. O mapa da Figura 57 apresenta o crescimento espacial da área urbana entre 1978 e 2009.

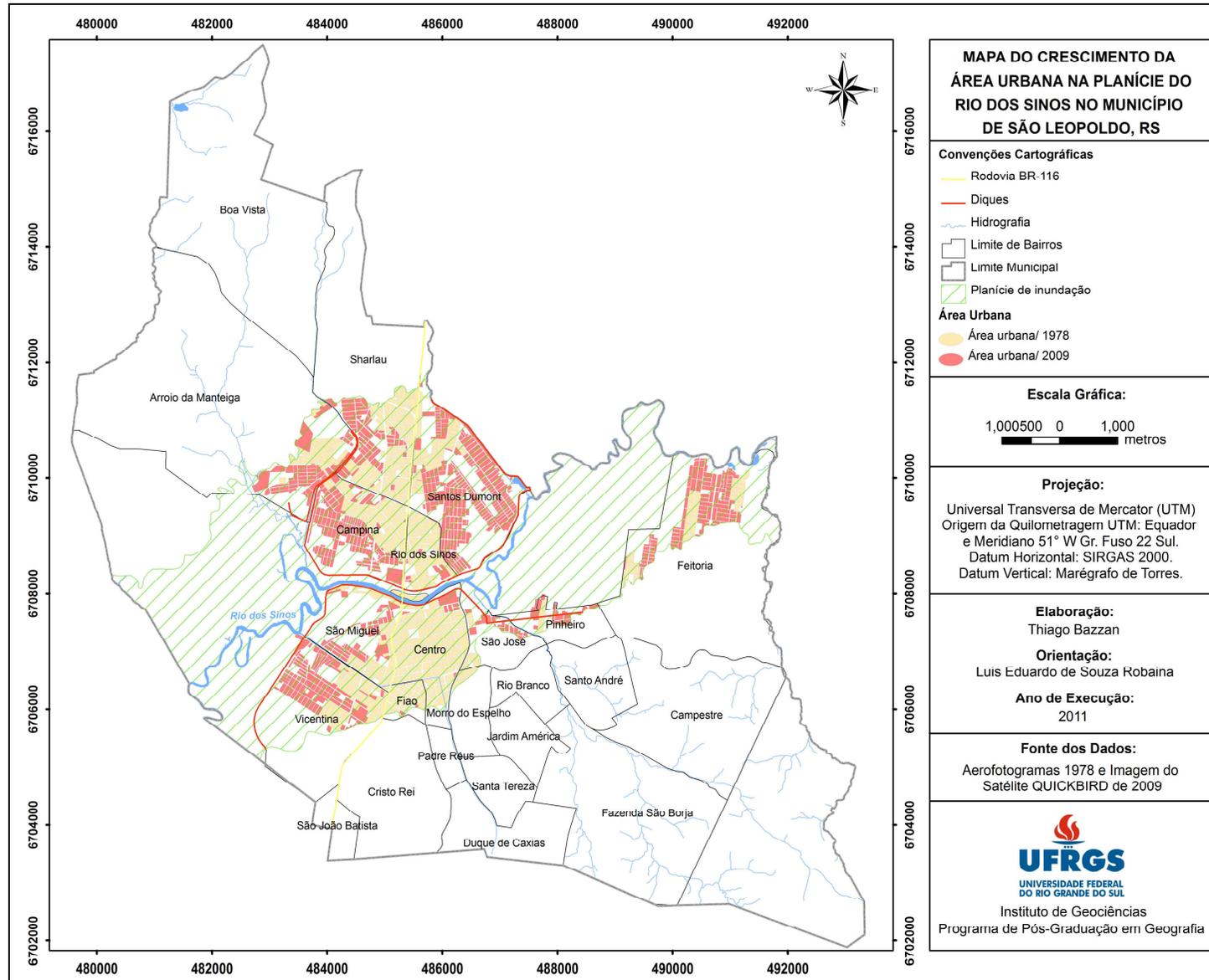


Figura 57: Mapa do crescimento urbano (1978-2009), planície do rio dos Sinos, São Leopoldo-RS.

### 4.3.2. Mapeamento do Uso e Padrão Urbano

Para o mapeamento do uso do solo e padrão urbano foram definidas 6 tipologias: áreas verdes e de lazer, residenciais de baixo padrão, residenciais de médio e alto padrão, comerciais, industriais e institucionais.

As áreas residenciais de médio e alto padrão urbano predominam e ocupam 7.7 km<sup>2</sup> da planície do rio dos Sinos. Ocorrem em todos os bairros localizados na planície de inundação, destacando-se os bairros Scharlau, Campina, Santos Dumont, Feitoria, Vicentina e Centro.

As áreas residenciais de baixo padrão urbano ocupam 1.6 km<sup>2</sup> da planície do rio dos Sinos. Ocorrem nos bairros Santos Dumont, Campina, Rio dos Sinos, Vicentina, São Miguel, Pinheiro e Feitoria. O bairro Santos Dumont é o que apresenta maior área residencial com baixo padrão urbano.

As áreas industriais ocupam 0.7 km<sup>2</sup> da planície do rio dos Sinos. Ocorrem nos bairros Arroio Manteiga, Scharlau, Campina, Rio dos Sinos, Vicentina e São Miguel. O bairro Arroio Manteiga é o que apresenta maior área industrial entre os bairros.

As áreas comerciais ocupam 0.6 km<sup>2</sup> da planície do rio dos Sinos. Ocorrem nos bairros Scharlau, Santos Dumont, Rio dos Sinos, Centro e São José. O bairro Centro é o que apresenta maior área comercial entre os bairros.

As áreas institucionais ocupam 0.3 km<sup>2</sup> da planície do rio dos Sinos. Ocorrem nos bairros Scharlau, Campina, Centro, São José, Fião e Feitoria. O bairro Centro é o que apresenta maior área institucional entre os bairros.

As áreas verdes ocupam 2.3 km<sup>2</sup> da planície do rio dos Sinos. Ocorrem na porção central da planície, nos bairros Arroio Manteiga, Scharlau, Santos Dumont, Campina, Rio dos Sinos, Vicentina, São Miguel, Centro, São José, Pinheiro e Feitoria. O bairro Santos Dumont é o que apresenta a maior área verde entre os bairros. O gráfico da Figura 58 apresenta as medidas de área do uso do solo e padrão urbano por bairro.

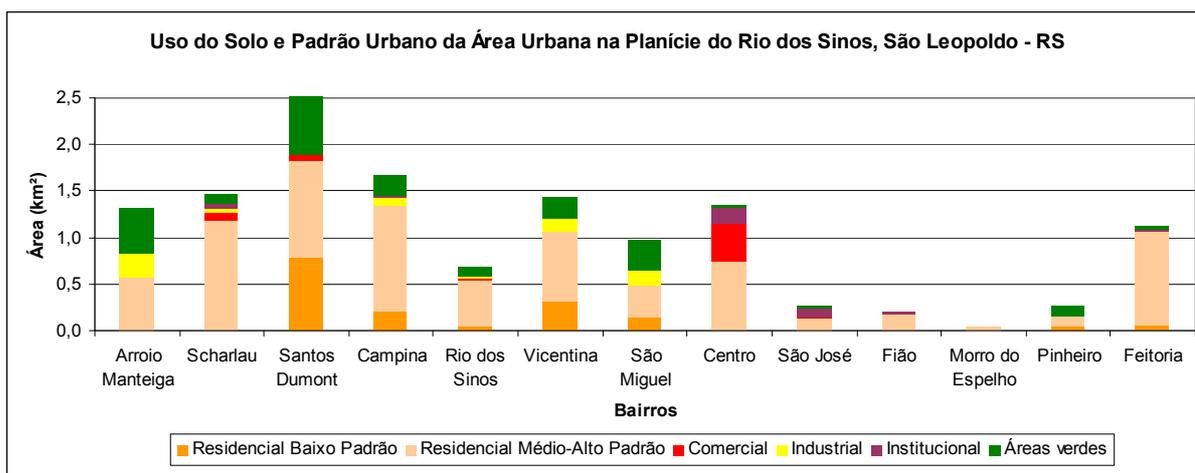


Figura 58: Uso do solo e padrão urbano da área urbana por bairro, São Leopoldo - RS.

A distribuição espacial das classes de uso do solo e do padrão urbano na área da planície de inundação do rio dos Sinos pode ser observada no mapa da Figura 59.

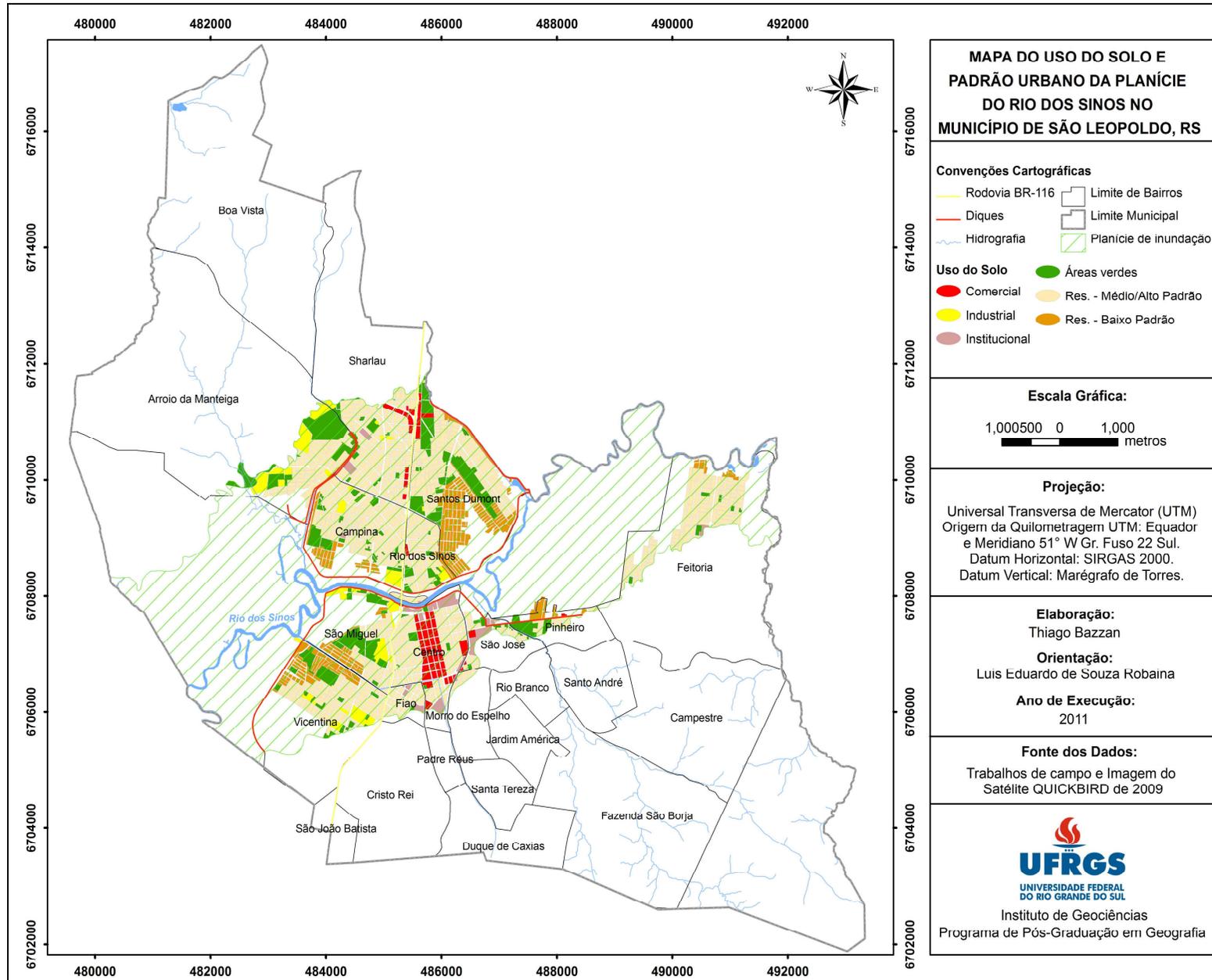


Figura 59: Mapa de uso do solo, planície de inundação do rio dos Sinos, São Leopoldo - RS.

### 4.3.3. Vulnerabilidade dos Elementos Expostos

A vulnerabilidade dos elementos expostos na área de estudo foi definida a partir da análise do uso do solo e padrão urbano. A partir disso, foram determinadas as classes de uso do solo que apresentam maior vulnerabilidade em relação às inundações.

As áreas com elementos expostos com baixa vulnerabilidade a inundações são mais expressivas nos bairros Centro, Arroio Manteiga e São Miguel. Estão representadas pelas áreas industriais e comerciais que totalizam 1,3 km<sup>2</sup>. O bairro Centro apresenta maior área de elementos expostos com baixa vulnerabilidade.

As áreas com elementos expostos com média vulnerabilidade a inundações ocorrem em todos os bairros da planície do rio dos Sinos. Estão representadas pelo uso do solo residencial de médio e alto padrão urbano que totalizam 7,7 km<sup>2</sup>. Destacam-se as áreas localizadas nos bairros Morro do Espelho, Feitoria, Scharlau, Rio dos Sinos, Fião e Campina.

As áreas com elementos expostos com alta vulnerabilidade a inundações são mais expressivas nos bairros Santos Dumont, São José, Pinheiro e Vicentina. São representadas pelo uso do solo residencial de baixo padrão urbano e áreas institucionais que totalizam 1,9 km<sup>2</sup>.

O gráfico da Figura 60 apresenta a proporção das classes de vulnerabilidade dos elementos expostos em relação à área do bairro. A distribuição espacial da vulnerabilidade dos elementos expostos é apresentada no mapa da Figura 61.

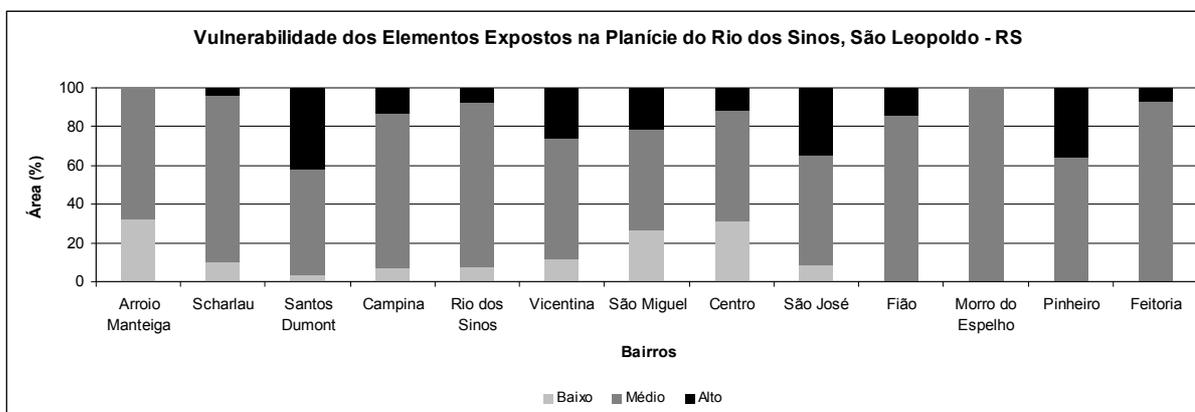


Figura 60: Vulnerabilidade dos elementos expostos das áreas urbanas, São Leopoldo - RS.

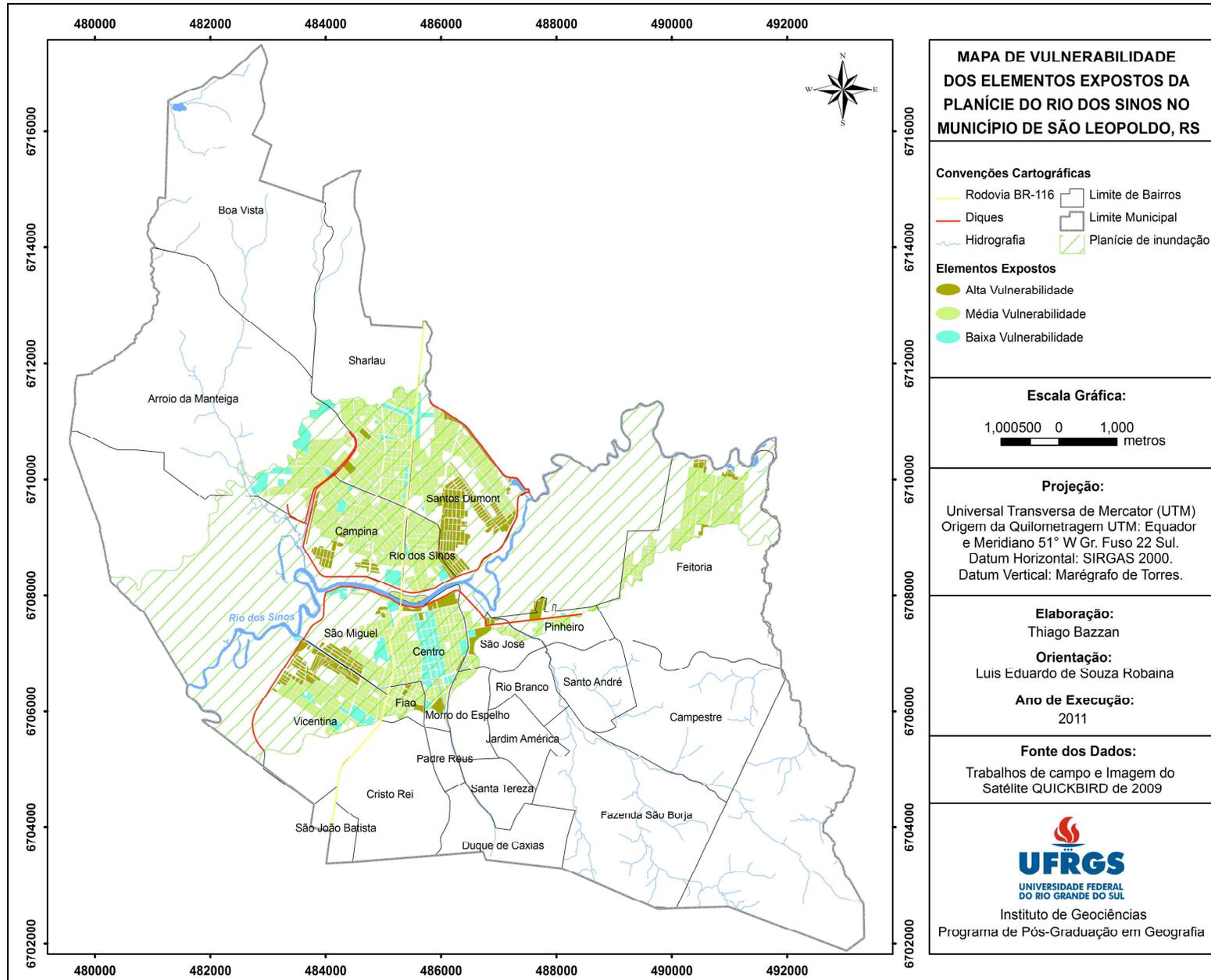


Figura 61: Mapa da vulnerabilidade dos elementos expostos, São Leopoldo - RS.

#### 4.3.4. Áreas com Recorrência de Inundações

As áreas com recorrência de inundações são caracterizadas pelo registro de inundações do rio dos Sinos nos últimos 5 anos, considerando como referência o ano de 2009. A análise e identificação destes locais permitem verificar as atuais relações estabelecidas pela vulnerabilidade e risco de inundações. As principais áreas que apresentaram recorrência de inundações estão localizadas nos bairros Rio dos Sinos, Pinheiro e Feitoria. Os locais com registros de inundação totalizam 0,2 km<sup>2</sup> e sem registros 10,8 km<sup>2</sup>.

As inundações que ocorrem no bairro Rio dos Sinos atingem a porção situada entre o leito normal do rio e o canal de extravasamento. Neste local ocorreram 4 inundações nos últimos cinco anos do período analisado. A imagem de satélite da Figura 62 mostra a inundação ocorrida em 16 de setembro de 2009, onde se pode observar a lâmina da água produzida pela cheia do rio dos Sinos atingindo as ocupações urbanas em especial aquelas situadas no prolongamento da Rua da Praia.



Figura 62: Inundação no bairro Rio dos Sinos, 16 de setembro de 2009, São Leopoldo - RS.  
Fonte: Google Earth.

No bairro Pinheiro, principalmente no prolongamento da Rua das Camélias, Travessa Jasmim e Rua João Alves Pereira, ocorreram 8 inundações nos últimos cinco anos do período analisado. A imagem de satélite da Figura 63 mostra a inundação ocorrida em 16 de setembro de 2009, onde se pode observar a lâmina da água produzida pela cheia do rio dos Sinos atingindo as residências.



Figura 63: Inundação no bairro Pinheiro em 16 de setembro 2009, São Leopoldo - RS.  
Fonte: Google Earth.

No bairro Feitoria, as principais áreas atingidas estão localizadas entre a Rua Eugênio Berger e o rio dos Sinos. Nesta área ocorreram 5 inundações nos últimos cinco anos do período analisado. A imagem de satélite da Figura 64 e Figura 65 mostra a inundação ocorrida em 16 de setembro de 2009, onde se pode observar a lâmina da água produzida pela cheia do rio dos Sinos atingindo as ocupações urbanas.



Figura 64: Inundação no bairro Feitoria em 16 de setembro 2009, São Leopoldo - RS.  
Fonte: Google Earth.

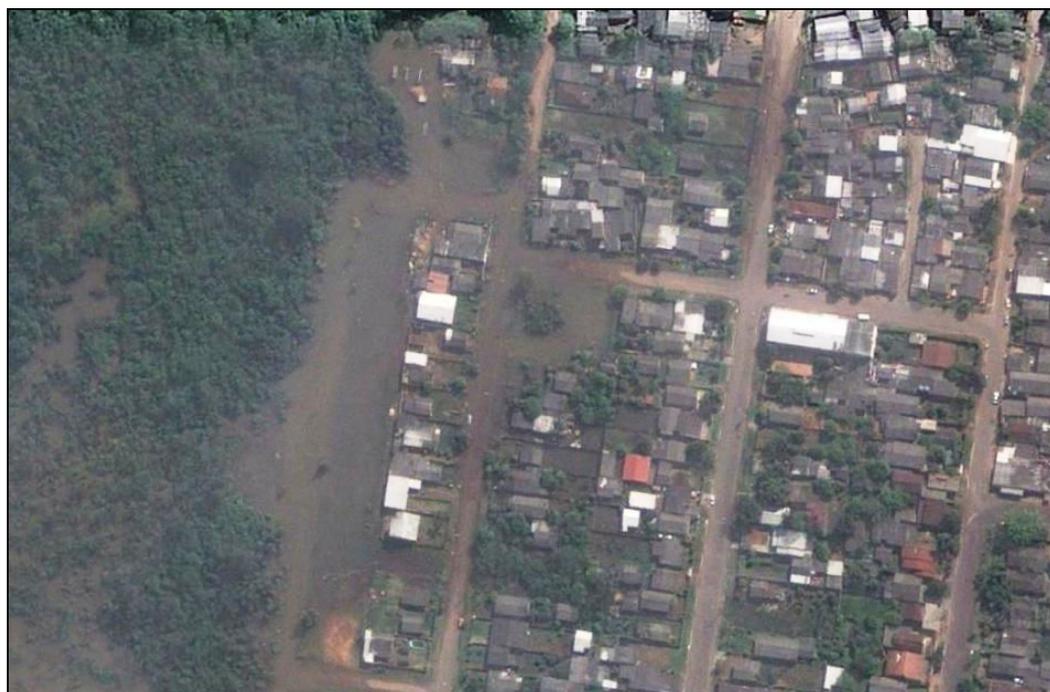


Figura 65: Inundação no bairro Feitoria em 16 de setembro 2009, São Leopoldo - RS.  
Fonte: Google Earth.

A localização das áreas com recorrência de inundação pode ser observada na Figura 66.

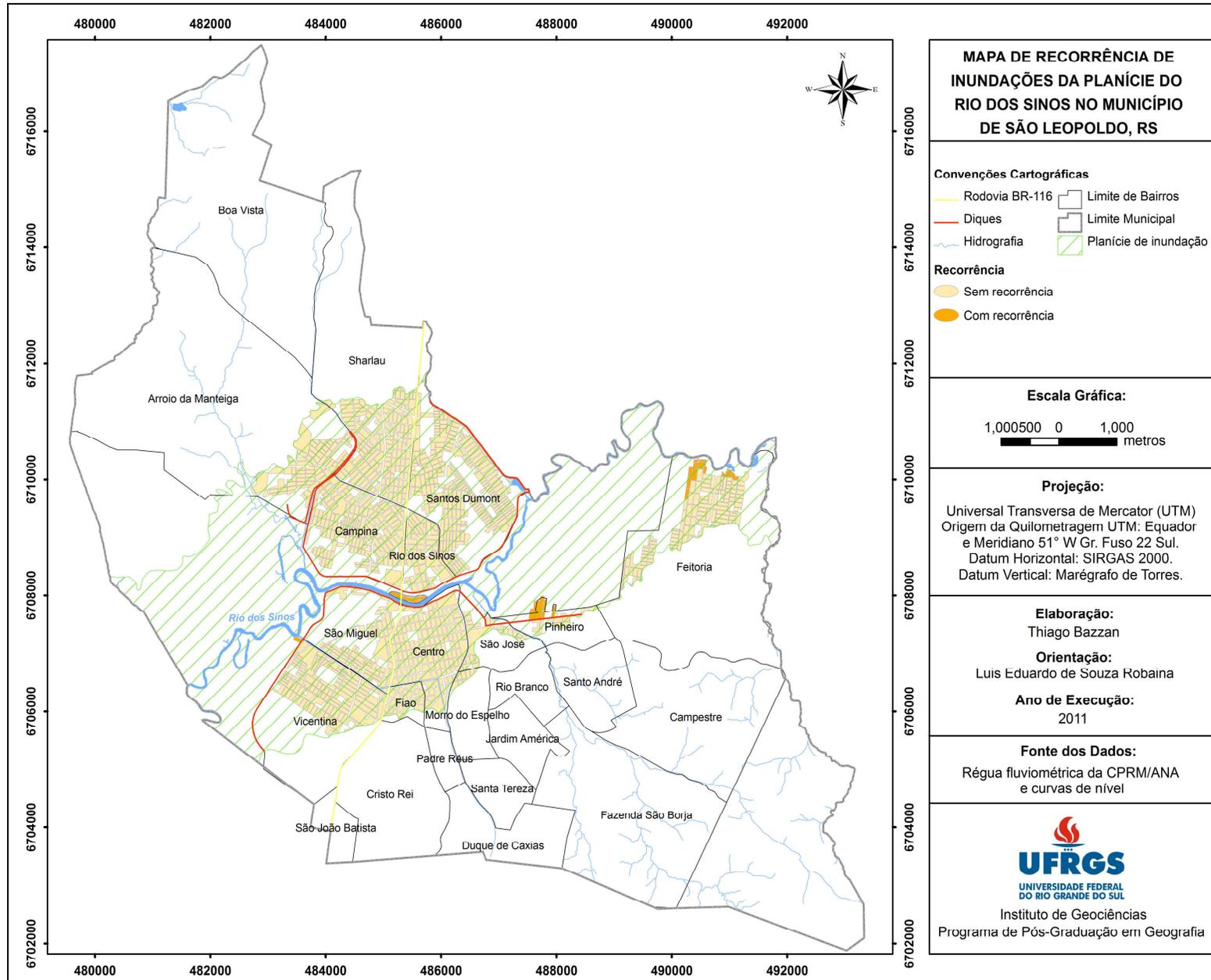


Figura 66: Mapa de recorrência de inundações do rio dos Sinos, São Leopoldo - RS.

### **4.3.5. Determinação da Vulnerabilidade às Inundações**

A definição das áreas com vulnerabilidade às inundações permitiu estabelecer 3 classes: baixa, média e alta vulnerabilidade a inundações que ocorrem no município de São Leopoldo.

As áreas com baixa vulnerabilidade às inundações encontram-se principalmente na porção norte e sul da planície e ocupam 10,7 km<sup>2</sup>. Os principais usos do solo estão relacionados a indústria, comércio, institucionais e residências. Com relação ao uso residencial destaca-se o predomínio de áreas residenciais de médio e alto padrão urbano, no entanto, nesta mesma área ocorre a maior concentração de uso residencial com baixo padrão urbano na planície do rio dos Sinos. As áreas de baixa vulnerabilidade ocorrem de forma expressiva em todos os bairros localizados na planície de inundação. Essas áreas não apresentaram registros de inundações nos últimos cinco anos do período analisado.

As áreas com média vulnerabilidade às inundações encontram-se principalmente na porção central e leste da planície e são menos expressivas ocupando 0,01 km<sup>2</sup>. São caracterizadas por não apresentarem medidas estruturais contra inundações. Estes locais registraram inundações nos últimos cinco anos do período analisado. Ocorrem usos do solo relacionados predominantemente a residências de médio e alto padrão urbano. Essas áreas de média vulnerabilidade são mais significativas nos bairros Rio dos Sinos e Feitoria.

As áreas com alta vulnerabilidade às inundações encontram-se principalmente na porção leste da planície também são pouco expressivas e ocupam 0,2 km<sup>2</sup>. Estes locais registraram inundações nos últimos cinco anos do período analisado. Ocorrem usos do solo relacionados predominantemente a residências de baixo padrão urbano. Essas áreas de alta vulnerabilidade são mais significativas no bairro Pinheiro, como mostra o gráfico da Figura 67 que apresenta a proporção das classes de vulnerabilidade em relação à área do bairro.

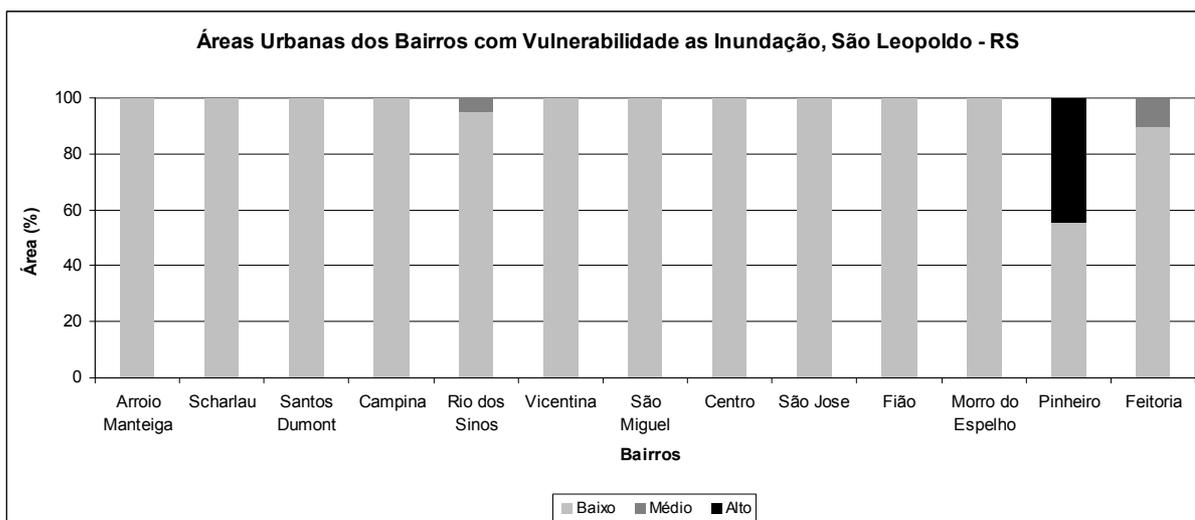


Figura 67: Vulnerabilidade às inundações nos bairros, São Leopoldo - RS.

A distribuição espacial das áreas com vulnerabilidade de inundação pode ser observada no mapa da Figura 68. As principais áreas com alta vulnerabilidade à inundações do rio dos Sinos nos bairros Rio dos Sinos, Pinheiro e Feitoria constam na Figura 69, Figura 70 e Figura 71.

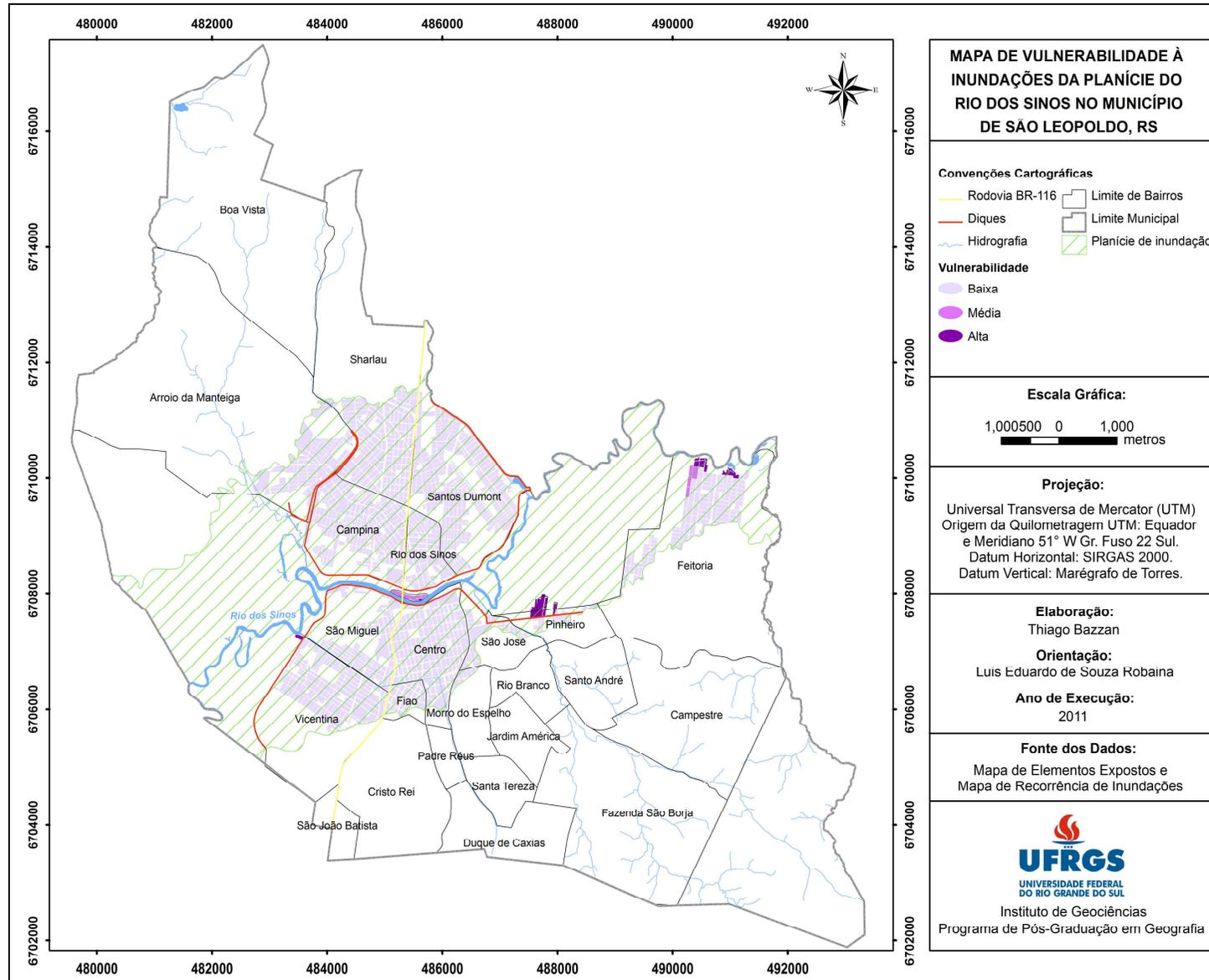


Figura 68: Mapa da vulnerabilidade a inundações do rio dos Sinos, São Leopoldo - RS.

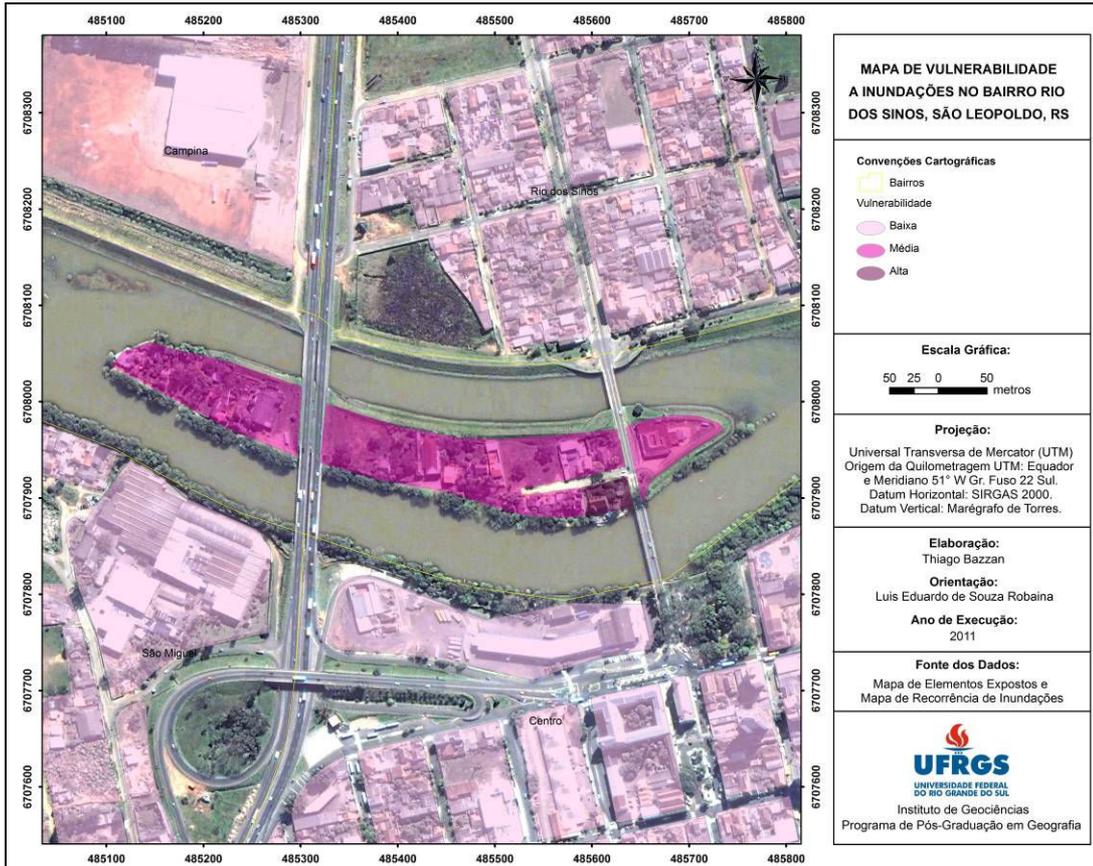


Figura 69: Áreas com vulnerabilidade a inundações no bairro Rio dos Sinos, São Leopoldo - RS.

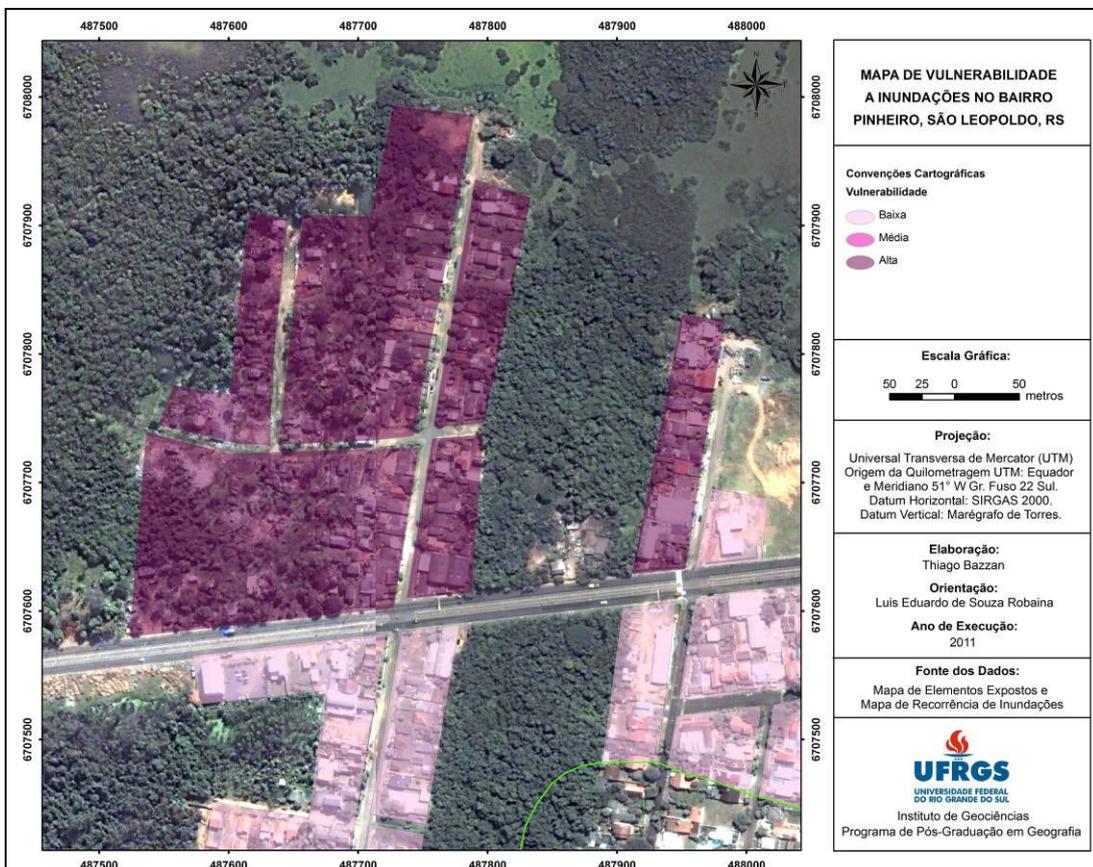


Figura 70: Áreas com vulnerabilidade a inundações no bairro Pinheiro, São Leopoldo - RS.

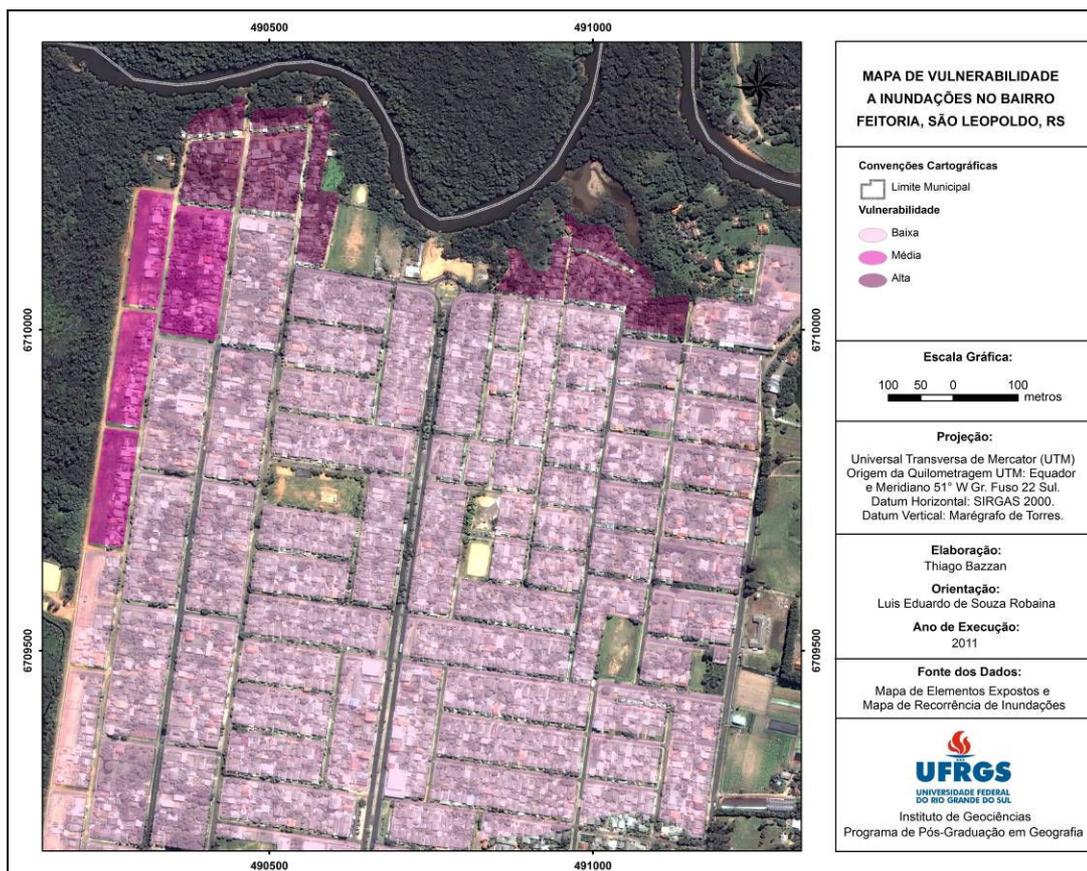


Figura 71: Áreas com vulnerabilidade a inundações no bairro Feitoria, São Leopoldo - RS.

#### 4.4. Áreas de Risco de Inundação

A partir da relação entre as áreas de perigo e vulnerabilidade foram definidas 3 classes de risco de inundação que ocorrem no município de São Leopoldo: baixo, médio e alto.

As áreas com baixo risco de inundação encontram-se principalmente na porção norte e sul da planície e ocupam 10,8 km<sup>2</sup>. São caracterizadas pela presença do sistema de proteção contra inundações na porção central da planície. Correspondem a áreas com tempos de retorno superiores a 30 anos. Essas áreas não apresentaram registros de inundações nos últimos cinco anos. Ocorrem usos do solo relacionados à indústria, comércio, institucional e residencial de alto, médio e baixo padrão urbano. Os locais com baixo risco ocorrem de forma expressiva em todos os bairros localizados na planície de inundação.

As áreas com médio risco à inundações encontram-se principalmente na porção leste da planície, são menos expressivas e ocupam 0,1 km<sup>2</sup>. São caracterizadas por não apresentarem medidas estruturais contra inundações. Estão

situadas em áreas com tempo de retorno entre 10 e 30 anos. Predominam usos do solo residenciais de médio e alto padrão urbano. Os locais com médio risco de inundações são mais significativos nos bairros Pinheiro e Feitoria.

As áreas com alto risco a inundações encontram-se principalmente na porção leste e central da planície, são pouco expressivas e ocupam 0,2 km<sup>2</sup>. São caracterizadas por não apresentarem medidas estruturais contra inundações. Estes locais registraram inundações nos últimos cinco anos do período analisado. Estão situadas em áreas com tempo de retorno inferior a 10 anos. Predominam usos do solo relacionados a residências de baixo padrão urbano que apresentam alta probabilidade de perdas ou danos. As áreas com alto risco de inundações são mais significativas nos bairros Pinheiro, Rio dos Sinos (Ilha) e Feitoria, como mostra o gráfico da Figura 72 que apresenta a proporção das classes de risco de inundação em relação à área do bairro.

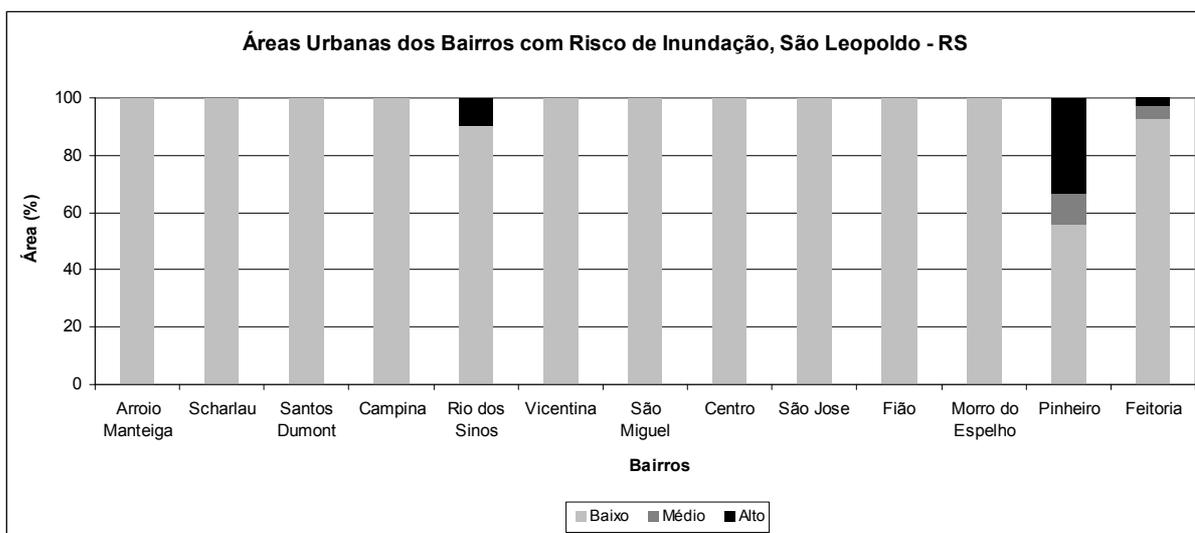


Figura 72: Áreas urbanas com risco de inundações do rio dos Sinos, São Leopoldo - RS.

A localização das áreas com risco de inundação pode ser observada no mapa da Figura 73.

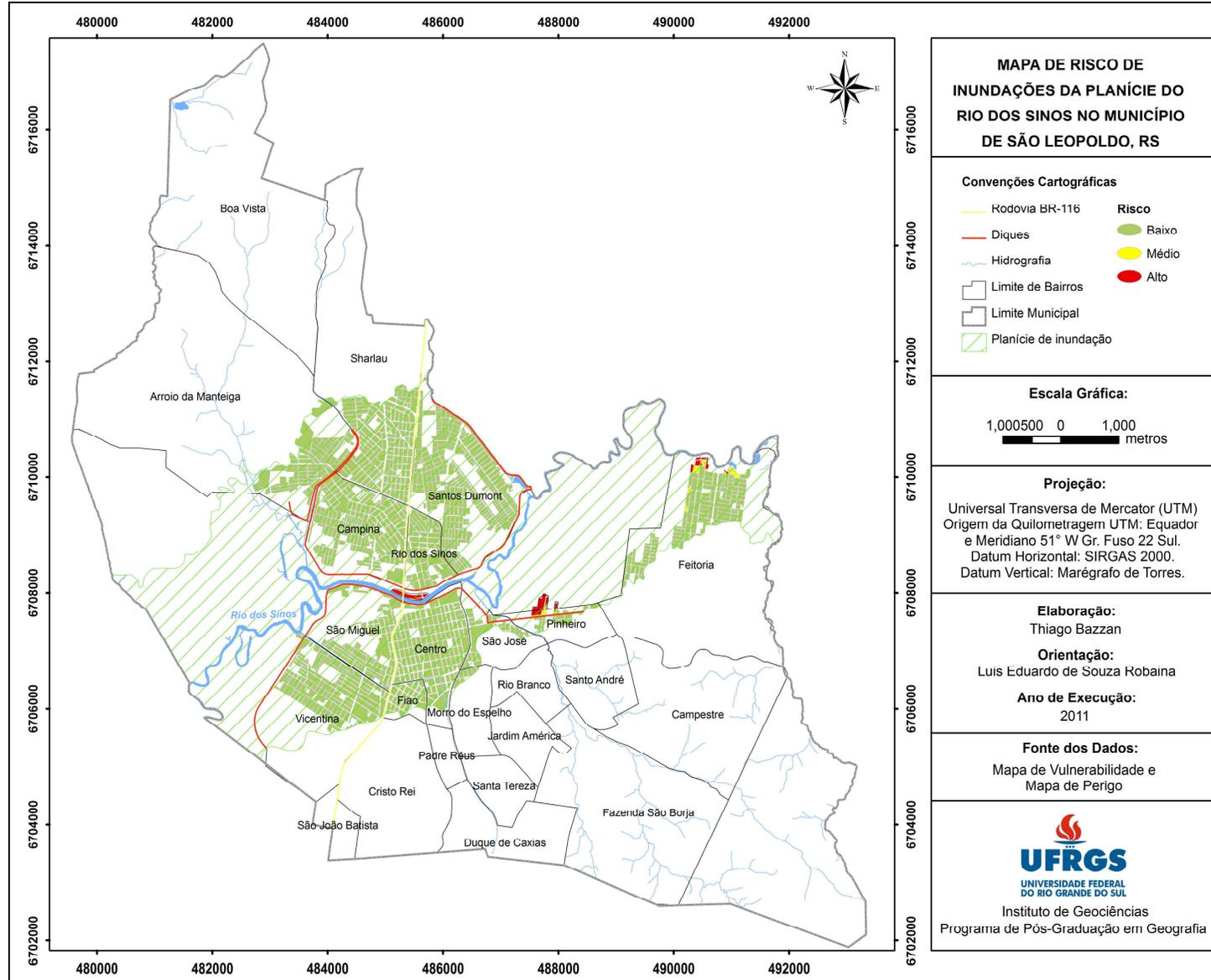


Figura 73: Mapa das áreas de risco de inundações do rio dos Sinos, São Leopoldo - RS.

As principais áreas com alto risco de inundação estão localizadas no bairro Rio dos Sinos, Pinheiro e Feitoria. A Figura 74 mostra a porção entre o canal principal do rio dos Sinos e do canal de extravasamento no bairro Rio dos Sinos com alto risco de inundação.

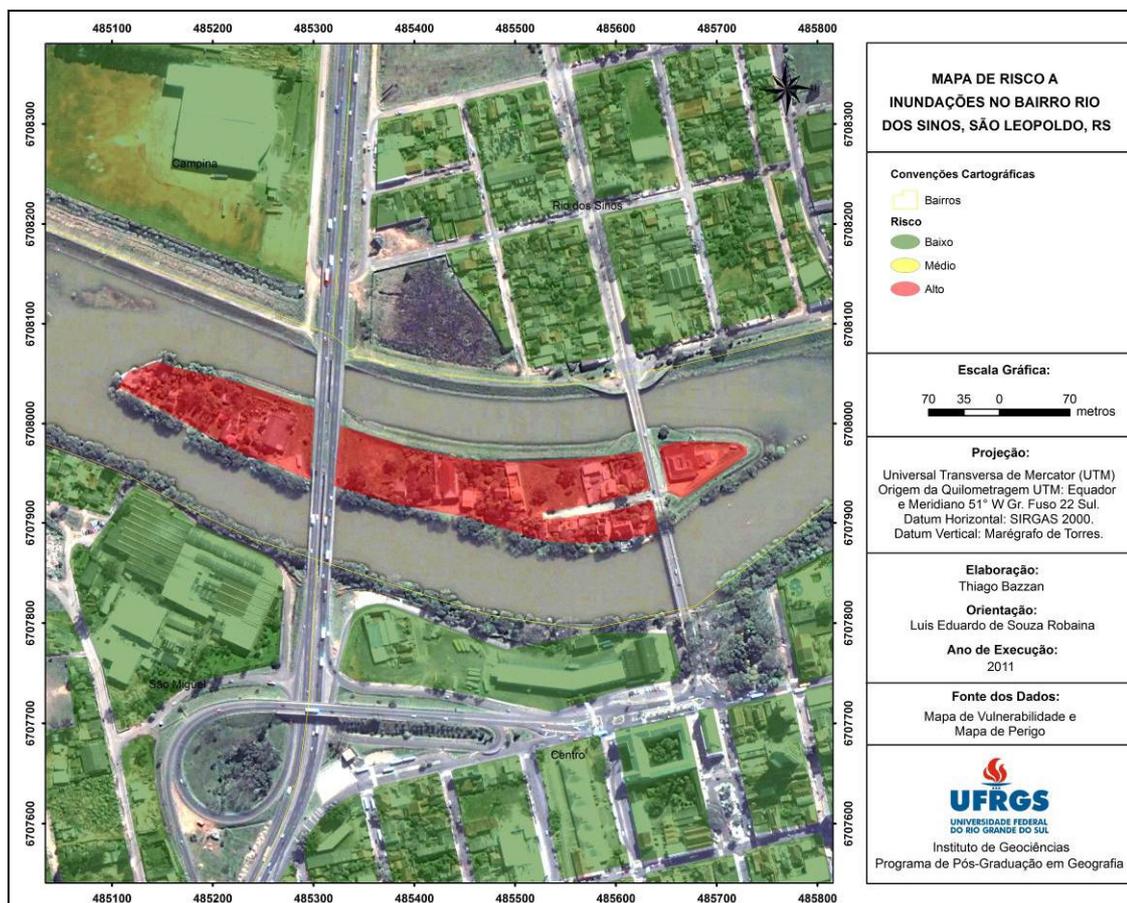


Figura 74: Áreas com risco de inundação no bairro Rio dos Sinos, São Leopoldo - RS.

A Figura 75 destaca as áreas com alto risco de inundação no bairro Pinheiro. Na Figura 76 observa-se a Rua das Camélias e o predomínio de residências de baixo padrão urbano em áreas com risco de inundação.

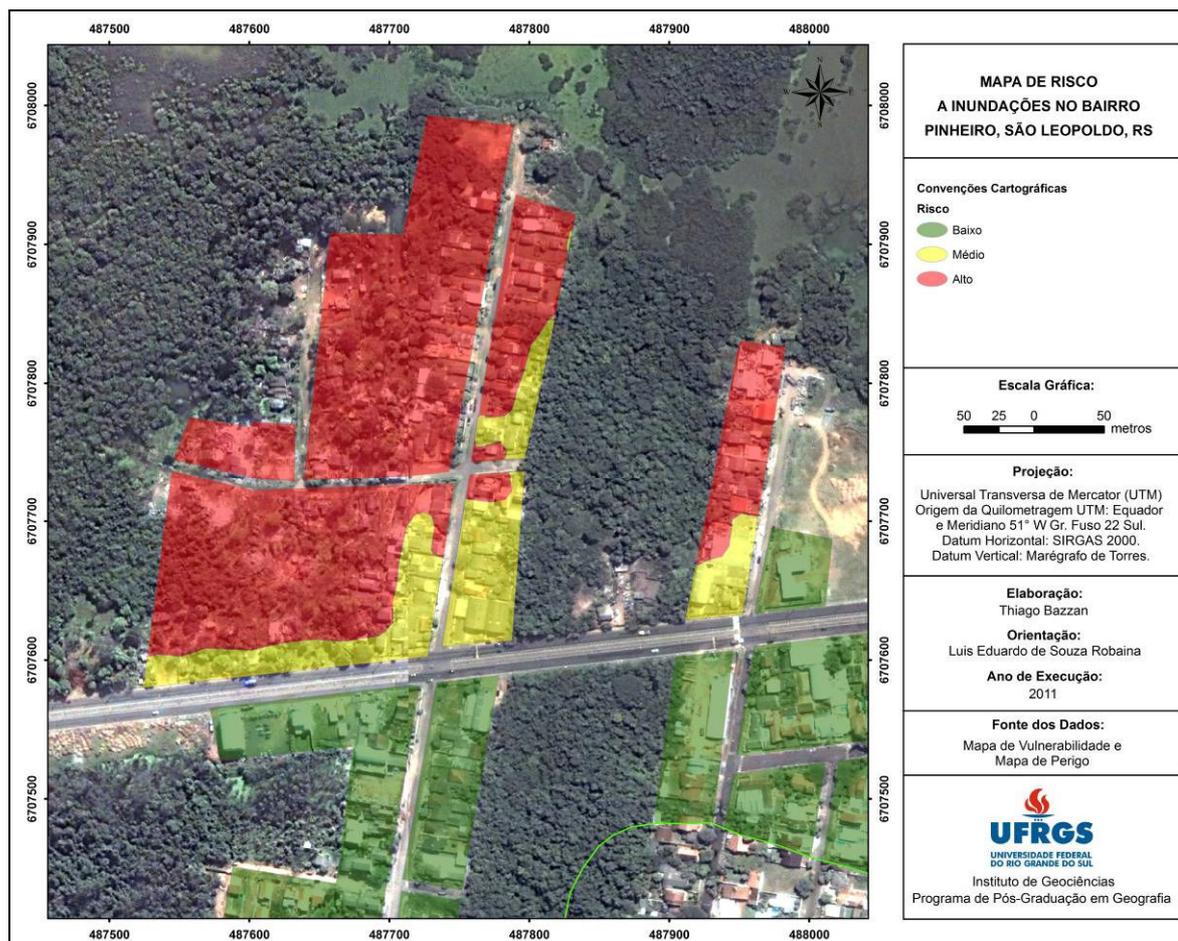


Figura 75: Áreas com risco de inundação no bairro Pinheiro, São Leopoldo - RS.



Figura 76: Área com alto risco de inundação no bairro Pinheiro, São Leopoldo - RS.  
Fonte: Trabalho de Campo (2010).

A Figura 77 apresenta e destaca as áreas com alto risco de inundação no bairro Feitoria.

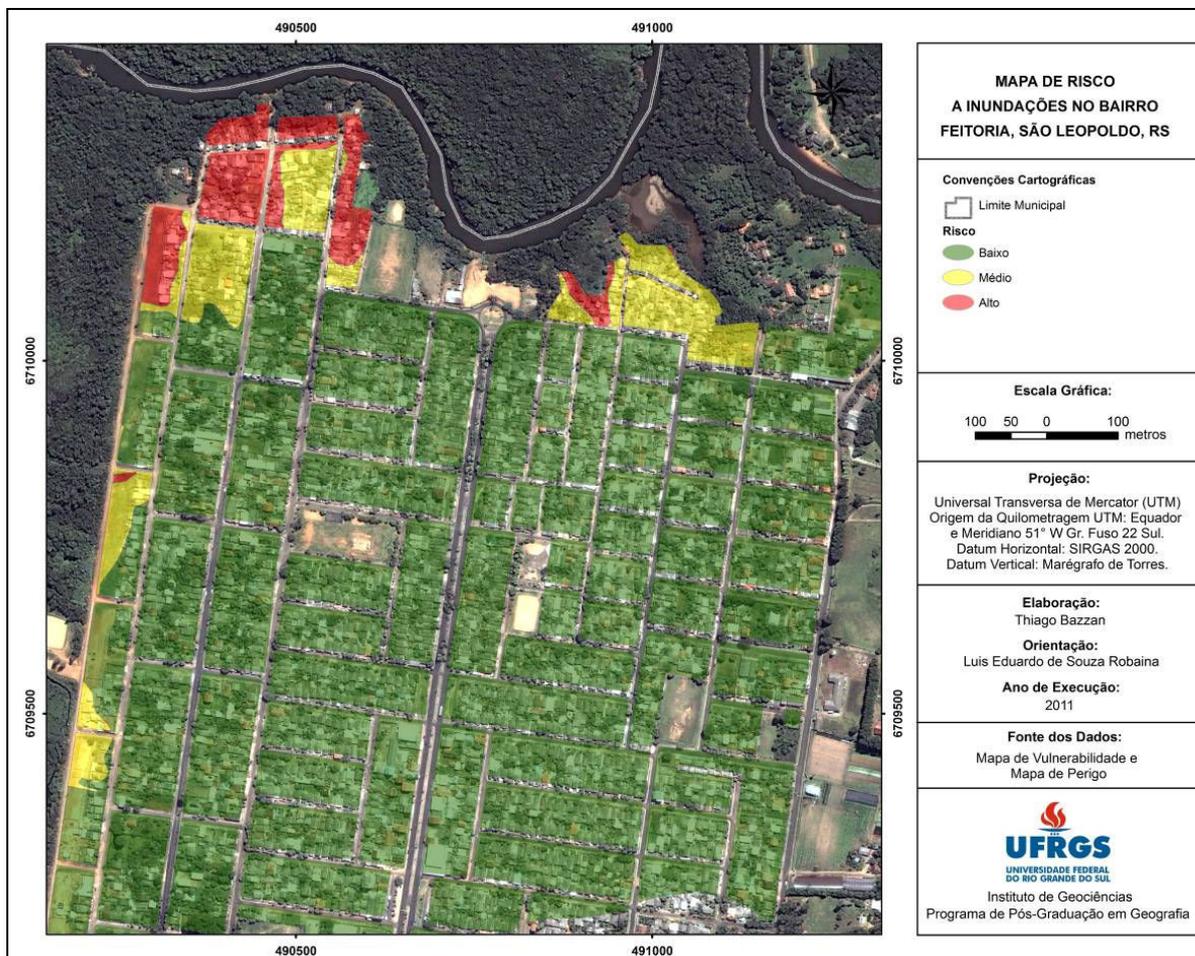


Figura 77: Áreas com risco de inundação no bairro Feitoria, São Leopoldo - RS.

Na Figura 78 observa-se o predomínio de residências de baixo padrão urbano em áreas com risco de inundação no bairro Feitoria.



Figura 78: Área com alto risco de inundação no bairro Feitoria, São Leopoldo - RS.  
Fonte: Trabalho de Campo (2010).

## 5. CONCLUSÕES

A análise da série histórica de 30 anos das inundações do rio dos Sinos que ocorreram no município de São Leopoldo no período entre 1980 e 2009, permitiu o levantamento de 37 registros de inundações.

A pesquisa documental, base para o levantamento dos registros de inundação, por meio de jornais, constituiu-se em uma importante ferramenta para compreensão da dinâmica das inundações e os principais bairros que apresentam essa problemática.

Verificou-se que as inundações apresentaram uma significativa variabilidade espacial e temporal de ocorrência e recorrência devido as modificações antrópicas realizadas na planície, principalmente, pela implantação do sistema de proteção contra inundações que modificou a dinâmica das inundações ao longo do período analisado.

A suscetibilidade natural às inundações do rio dos Sinos mostra que as áreas inundáveis estão associadas a relevos predominantemente planos situados em baixas altitudes representados pela planície de inundação do rio dos Sinos que apresenta uma transição gradual para áreas constituídas por colinas suavemente onduladas.

Uma característica que marca a suscetibilidade é a presença de áreas úmidas, principalmente, ao longo do rio dos Sinos. Nestas áreas, é fundamental restringir a ocupação do solo devido aos grandes impactos ambientais sobre ecossistemas frágeis e estabelecimento de novas áreas com risco de inundação.

A análise das inundações nas imagens de satélite foi fundamental para a identificação das áreas inundáveis e para a validação dos registros de ocorrências obtidos na pesquisa documental.

A frequência e a magnitude das inundações são determinadas pelos diferentes períodos de retorno das inundações. Com isso, foi possível verificar a probabilidade temporal e espacial de ocorrência das inundações do rio dos Sinos no município de São Leopoldo. Verificou-se que as áreas com tempos de retorno superiores a 30 anos são predominantes na planície do rio dos Sinos.

O perigo de inundações do rio dos Sinos mostra que os locais com médio e alto perigo estão localizados em áreas urbanas ocupadas com alta suscetibilidade,

sem sistemas de proteção contra inundações e onde ocorrem eventos com períodos de retorno inferiores a 10 anos e entre 10 e 30 anos. As principais áreas com médio e alto perigo estão localizadas nos bairros Rio dos Sinos, Pinheiro e Feitoria onde ocorrem inundações de baixa intensidade, porém com alta frequência. Nestes locais é necessário o monitoramento e sistemas de alerta contra inundações.

A vulnerabilidade às inundações do rio dos Sinos mostra que os elementos expostos estão representados por diferentes tipos de uso de solo e padrões urbanos. Ao considerar na análise o sistema de proteção verifica-se que a vulnerabilidade dos elementos expostos diminui. Ao contrário, quando se desconsidera a presença do sistema de proteção, ocorrem significativas áreas com alta vulnerabilidade às inundações.

As principais áreas com alta vulnerabilidade estão situadas a leste da planície do rio dos Sinos nos bairros Rio dos Sinos, Pinheiro e Feitoria que apresentaram registros de ocorrência e recorrência de inundações nos últimos cinco anos. Estas áreas requerem atenção especial em relação a políticas de habitação.

As relações estabelecidas entre a vulnerabilidade e o perigo definem as áreas de risco de inundação. As áreas com médio e alto risco de inundação estão localizadas nos bairros Rio dos Sinos, Feitoria e Pinheiro.

A partir da identificação, análise e mapeamento das áreas de risco de inundação do rio dos Sinos, por meio do cruzamento dos mapas em Sistemas de Informações Geográficas, foi possível identificar os locais onde são necessárias ações prioritárias de prevenção e gerenciamento. Nestas áreas, são necessárias ações de resposta direta aos aspectos relacionados ao perigo de inundação e a vulnerabilidade dos elementos expostos.

O uso das informações produzidas nesta pesquisa, principalmente, as cartográficas, podem contribuir para a tomada de decisões ligadas a trabalhos, planos de prevenção de desastres, direcionamento de políticas de planejamento e ordenamento territorial na gestão de riscos de inundações no município de São Leopoldo.

Destaca-se que a realização desta pesquisa possibilitou o desenvolvimento de procedimentos que permitiram identificar e estabelecer os fatores que condicionam os riscos de inundação no município de São Leopoldo. A elaboração de estudos com base nas análises e mapeamentos apresentados nesta pesquisa torna-

se necessários para avançar, atualizar e acompanhar a evolução espacial e temporal das áreas com de risco de inundação.

## 6. REFERÊNCIAS

ALCÁNTARA-AYALA, I. Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. **Geomorphology**, v. 47, n. 2-4, p. 107-124, 2002.

ANA. **Hidroweb**: Sistema de Informações Hidrológicas. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>.

ANDRÉ, G. Cartographie du risque naturel dans le monde. Etude comparative entre une approche d'ordre social et une approche d'ordre économique de la vulnérabilité, Cybergeog: **European Journal of Geography** [En ligne], Environnement, Nature, Paysage, document 286, mis en ligne le 16 septembre 2004.

ARAUJO, L. M. N.; FERREIRA, R. S.; MOREIRA, D. M.; TAVARES, J. C.; PINTO, R. C.; BENTO, V. G.; ALMEIDA, I. S.; PIRES, G. J. Cadastro de Ocorrências de Inundações. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2005, João Pessoa - PB. **XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Anais. Porto Alegre: ABRH - Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2005.

BARETTA, L. Análise ambiental para implantação de distritos industriais com o uso do geoprocessamento no município de São Leopoldo - RS. **Dissertação de Mestrado** (Programa de Pós-Graduação em Geologia). Universidade do Vale dos Sinos. Unisinos. São Leopoldo. 2007.

BARROCA, B.; BERNARDARA, P.; J. M. MOUCHEL; HUBERT, G. Indicators for identification of urban flooding vulnerability. **Natural Hazards Earth Syst. Sci.**, 6, 553-561, 2006.

BAZZAN, T. Análise dos Eventos Adversos de Inundação do Rio dos Sinos, RS, no período de 1980 a 2005. **Trabalho de Graduação** (Geografia). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2008. 61 p.

BERTOLUCI, V. D. M. Inventário, biodiversidade e conservação de áreas úmidas do município de São Leopoldo. **Dissertação de Mestrado** (Programa de Pós-Graduação em Biologia). Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 2004.

BRUBACHER, J. P.; OLIVEIRA, G. G.; GUASSELLI, L. A. Suscetibilidade de enchentes a partir da análise das variáveis morfométricas na bacia hidrográfica do rio dos Sinos/RS. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.1279.

BUSEKE, F. J. Risco social, risco ambiental, risco individual. **Ambiente & Sociedade**. Ano I - N° I - 2° semestre de 1997.

CAMARA G; SOUZA R. C. M; FREITAS U. M; GARRIDO J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling". **Computers & Graphics**, 20: (3) 395-403, May - Jun. 1996.

CARVALHO, A. B. P.; OZÓRIO, C. P. Avaliação sobre os Banhados do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista de Ciências Ambientais**, Canoas, v.1, n.2, p. 83 a 95, 2007.

CARVALHO, C. S.; MACEDO, E. S.; OGURA, A. T. (org.). **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios**. Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT, 2007.

CASTILHO, A. S.; PINTO, É. J. A.; NUNES, H. M. T. N. **Definição da Planície de Inundação da Cidade de Governador Valadares**. Relatório Técnico Final. Belo Horizonte, 2004.

CASTRO, A. L. C. de. **Glossário de defesa civil estudos de riscos e medicina de desastres**. Ministério do Planejamento e Orçamento. Brasília. 1998.

CASTRO, A. L. C. **Manual de desastres: desastres naturais**. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2003. 174 p.

CASTRO, C. M. C.; PEIXOTO, M. N. O.; RIO, G. A. Pires. **Riscos Ambientais e Geografia: Conceituações, Abordagens e Escalas**. Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ. Vol. 28 - 2. 2005 p. 11-30.

CASTRO, S. D. A. Riesgos y peligros: una visión desde la geografía. **Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales**. Universidad de Barcelona. Nº 60, 15 de marzo de 2000.

CERRI, L. E. da S.; AMARAL, C. P. do. Riscos Geológicos. In: OLIVEIRA, A. M. dos S.; BRITO, S. N. A. **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998, p.301-310.

CERRI, L. E. S. 2006. **Mapeamento de Riscos nos Municípios**. In: Brasil. CARVALHO, C. S. e GALVÃO, T. (orgs). **Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia para Elaboração de Políticas Municipais**. Brasília: Ministério das Cidades. 2006.

CHAPMAN, David. **Natural Hazards**. Melbourne: Oxford University Press, 1994, 174p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial**. Ed. Edgard Blucher. São Paulo. 1981.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. Ed. Edgard Blucher. São Paulo. 1974.

CPRM. **Mapa Geológico da RMPA**. 2006.

CUTTER, S. The Changing Nature of Risks and Hazards. **American Hazardscapes. The regionalization of Hazards and Disasters**. Washington, D.C. Joseph Henry Press. 179 p. 2001.

CUTTER, S. Vulnerability to environmental hazards. **Progress in Human Geography**, v.20, n.4, p. 529-539, dec., 1996.

CUTTER, S.; BORUFF, B. J.; SHIRLEY, W. L. Social Vulnerability to Environmental Hazards. **Social Science Quarterly**, Volume 84, Number 2, June 2003.

DEFESA CIVIL DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. Disponível em: <http://www.defesacivil.rs.gov.br/>.

DESCHAMPS, M. V. Vulnerabilidade Socioambiental na Região Metropolitana de Curitiba/PR. Curitiba. **Tese** (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) - Universidade Federal do Paraná. 2004

DEYLE, R. E.; FRENCH, S. P.; OLSHANSKY, R. B.; PATERSON, R. G. Hazard Assessment: The Factual Basis for Planning and Mitigation. In: Burby, R. J. (ed.) **Cooperating with Nature. Confronting Natural Hazards with Land-Use Planning for Sustainable Communities**. Washington, D.C. Joseph Henry Press. 1998.

DGEDGE, G. S. Metodologia para a elaboração de cartografia de risco de inundações mediante GIS: Aplicação ao Baixo Limpopo, Moçambique. 1ª **Jornadas Científicas e Tecnológicas de Moçambique**. Maputo, 2008.

ECKHARDT, R. R. Geração de Modelo Cartográfico Aplicado ao Mapeamento das Áreas Sujeitas as Inundações Urbanas na Cidade de Lajeado / RS. **Dissertação** (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2008.

EGLER, C. A. G. Risco Ambiental como critério de Gestão do Território: uma aplicação à Zona Costeira Brasileira. **Território**, RIO DE JANEIRO, v. 1, n. 1, p. 31-41, 1996.

EM-DAT - Emergency Events Database. **The OFDA/CRED International Disaster Database**. Disponível em: <<http://www.em-dat.net/>>.

FEPAM. **Bacia hidrográfica do rio dos Sinos**. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br>. Acesso em: 15 jun. 2008.

GUASSELLI, L. A. Dinâmica da vegetação no Banhado do Taim, RS. **Tese**. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. 2005. 176 p.

GUHA-SAPIR, D. Disaster Data: A Balanced Perspective. **Cred Crunch**. Issue No. 11. January 2008.

HÉTU, B. Uma Geomorfologia Socialmente Útil: Os Riscos Naturais em Evidência. Mercator - **Revista de Geografia da UFC**. Ano 02, n. 03, 2003.

HOGAN, D. J.; CUNHA, J. M. P.; CARMO, R. L.; OLIVEIRA A. A. B. Urbanização e vulnerabilidade sócio-ambiental: o caso de Campinas. In: HOGAN, D. J.; BAENINGER, R.; CUNHA, J.M.P.; CARMO, R. L. (org.) **Migração e ambiente nas aglomerações urbanas**. Campinas: NEPO/UNICAMP, 2001. p. 395-418.

HOGAN, D. J.; MARANDOLA JR., E. Vulnerabilidade a Perigos Naturais nos Estudos de População e Ambiente. In: HOGAN, D. J. (Org.). **Dinâmica populacional e mudança ambiental: cenários para o desenvolvimento brasileiro**. Campinas: Núcleo de Estudos de População-Nepo/Unicamp, 2007. p. 73-86.

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. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, 21 (2): 57-75, ago. 2009.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sinopse do Censo Demográfico 2010**. Disponível em <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em 15 de agosto de 2010.

INPE. **Catálogo de Imagens**. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>.

INPE. **Divisão de Processamento de Imagens**. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring>.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers.** Disponível em: <<http://www.ipcc.ch /SPM2feb07.pdf>>.

IPT. **Material de Treinamento de Técnicos Municipais para o Mapeamento e Gerenciamento de Áreas Urbanas com Risco de Escorregamentos, Enchentes e Inundações.** Ministério das Cidades. 2004.

ISDR. **Living with risk:** a global review of disaster reduction initiatives. 2004.

ISDR. **Living with risk:** a global review of disaster reduction initiatives. 2002.

Jornal Vale dos Sinos. Disponível em: <http://www.jornalvs.com.br/>.

JULIÃO, R. P.; NERY, F.; RIBEIRO, J. L.; BRANCO, M. C.; ZÊZERE, J. L. **Guia Metodológico para a Produção de Cartografia Municipal de Risco e para Criação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) de base municipal.** 2009.

KNIGHT, A. W.; TINDALL, D. R.; WILSON, B. A. A multitemporal multiple density slice method for wetland mapping across the state of Queensland, Australia. **International Journal of Remote Sensing.** Vol. 30, nº 13-14, Jul. 2009, p. 3365-3392.

KOBIYAMA, M (org). **Prevenção de desastres naturais:** conceitos básicos. Curitiba: Ed. Organic Trading , 2006. 109p.

KUMPULAINEN, S. **Vulnerability concepts in hazard and risk assessment.** Natural an technological hazards and risks affecting the spatial development of Eupean regions. Geological Survey of Finland, Special Paper 42, 65-74. 2006.

LACRUZ, M. S. P.; SOUSA JUNIOR, M. A.; SAUSEN, T. M., SAITO, S. M., COSSETIN, C. Ciclone Extratropical ocorrido em 2 e 3 de Maio de 2008 em Santa Catarina e Rio Grande do Sul: Gênese e Danos. **Nota Técnica.** 2008.

LEDOUX, B. Les études de vulnérabilité dans la cartographie réglementaire des inondations à la Réunion: approche méthodologique, études de cas et réflexion sur leur finalité. **Revue de Géographie Alpine**, Année 1994, Volume 82, Numéro 4. p. 167 - 177.

LOPEZ, M. F. P.; CANTOS, J. O. Riesgos naturales, disciplina geográfica de futuro. **Boletín de la A. G. E. N.º 30 - 2000**, p. 3-6.

LUERCE, T. D.; OLIVEIRA, G. G.; GUASSELLI, L. A. Análise da distribuição espacial e temporal das chuvas aplicada ao estudo de cheias na bacia hidrográfica do rio dos Sinos/RS. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.5410.

MACEDO, D. R.; UMBELINO, G. J. de. M. **Análises do Risco e Vulnerabilidade para Ocupação Urbana: Aplicação Metodológica na Bacia Hidrográfica do Ribeirão da Onça - Região Metropolitana de Belo Horizonte**. 2007.

MAIA, L. P. Geomorfologia Aplicada: Teoria e Prática. Mercator - **Revista de Geografia da UFC**, ano 01, número 02, 2002.

MALTCHICK, L. (org.). **Biodiversidade e conservação de áreas úmidas da bacia do rio dos Sinos**. Universidade do Vale dos Sinos. Editora UNISINOS. 2003. 79 p.

MARANDOLA JR., E.; HOGAN, D. J. Natural hazards: o estudo geográfico dos riscos e perigos. **Ambiente & Sociedade** - Ano VII - n. 2, jul.-dez. 2004.

MARCELINO, E. V. **Desastres Naturais e Geotecnologias: Conceitos básicos**. INPE. Santa Maria. 2007.

MATTEDI, M. A.; BUTZKE, I. C. A Relação entre o Social e o Natural nas Abordagens de Hazards e de Desastres. **Ambiente & Sociedade** - ano IV - n. 9 - jul. - dez. 2001.

MCFEETERS, S. K. The use of Normalised Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. **International Journal Remote Sensing** 17(7), 1425-1432. 1996.

MENDONÇA, F.; LEITÃO, S. Riscos e vulnerabilidade socioambiental urbana: uma perspectiva a partir dos recursos hídricos. **GeoTextos**, vol. 4, n. 1 e 2, p. 145-163, 2008.

METROPLAN. **Os Rios na Cidade**: as enchentes na evolução urbana da região metropolitana de Porto Alegre. Porto Alegre, 2001. 96p.

MEURER, M. Regime de Cheias e Cartografia de Áreas Inundáveis no Alto Rio Paraná, na Região de Porto Rico - PR. **Dissertação** (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2004.

MOEHLECKE, G. O. **São Leopoldo era assim**: o passado pela imagem. São Leopoldo. 1982.

MOURA, R.; SILVA, L. A. A. Desastres naturais ou negligência humana? **Revista Eletrônica Geografar**. Curitiba, v.3, n.1, p.58-72, Jan./jun. 2008.

NOGUEIRA, F. R. Gestão dos Riscos nos Municípios. In: **Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas**: Guia para Elaboração de Políticas Municipais. CARVALHO, C. S.; GALVÃO, T. (org.). Brasília: Ministério das Cidades; Cities Alliance, 2006.

NOVO, E. M. L. de M. **Metodologia de Interpretação Visual de Imagens MSS/LANDSAT para caracterização da Rede de Drenagem**. INPE - 3618 - MD/028. 1985.

OJEDA, A. O. Crecidas e inundaciones como riesgo hidrológico Un planteamiento didáctico. **Revista Lurralde Inves. Esp.** 20 (1997). p. 261-283.

OLIVEIRA, E. L. A. Áreas de risco geomorfológico na bacia Hidrográfica do arroio Cadena, Santa Maria/RS: Zoneamento e hierarquização. **Dissertação de Mestrado**.

Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2004.

OLIVEIRA, G. G. Modelos para previsão, espacialização e análise das áreas inundáveis na Bacia Hidrográfica do Rio Caí, RS. **Dissertação de Mestrado** (Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2010. 149 p.

OLIVEIRA, G. G.; PENTEADO, A. F.; SALDANHA, D. L.; ROSS, J. L. S. Mapeamento e análise da distribuição das áreas inundáveis na bacia do rio dos Sinos/RS. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 4173-4180.

PENTEADO, A. F. Análise Ambiental da Bacia Hidrográfica do Arroio Kruze - Região Metropolitana de Porto Alegre. **Dissertação de Mestrado** (Programa de Pós-Graduação em Geografia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2006. 210 p.

RECKZIEGEL, B. W. (2007). Levantamento dos Desastres desencadeados por Eventos Naturais Adversos no Estado do Rio Grande do Sul no Período de 1980 a 2005. **Dissertação** (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

RIO GRANDE DO SUL. **Planejamento Hidrológico do Rio dos Sinos**. Secretaria de Obras Públicas do Estado do Rio Grande do Sul. Agrar und Hidrotechnik. Porto Alegre, RS. 1969.

RISSO, A.; GIUGNO, N. B. **Áreas de Inundação, Alagamentos e Banhados da Região Metropolitana de Porto Alegre - RS**. 1v. Porto Alegre: CPRM/METROPLAN. 1994.

ROBAINA, L. E. S. Análise Ambiental da região de Influência do rio dos Sinos entre o Arroio Campo Bom e o Canal João Correa, com ênfase a metais pesados, RS. 1999. 281f. **Tese** (Doutorado em Ciências) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

ROBAINA, L. E. S.; CARVALHO, L. C.; BERGER, M. G.; BERTEI, S. Caracterização do meio físico na região que compreende os municípios de Novo Hamburgo, São Leopoldo e Campo Bom, Vale dos Sinos, RS. **Geociências**. São Paulo, 16(2): p. 381-397. 1997.

ROLON, A. S.; OLIVA, T. D.; MALTCHICK, L. Bacia do Rio dos Sinos. In.: MALTCHICK, L. (org.). **Biodiversidade e conservação de áreas úmidas da bacia do rio dos Sinos**. Universidade do Vale dos Sinos. Editora UNISINOS. 2003. 79 p.

SALDANHA, D.; VERDUM, R.; CARRARO, C. C.; KUPLICH, T. M.; OBARA, M. L. Mapeamento e avaliação das áreas inundáveis do rio dos Sinos através da utilização de imagens TM-Landsat 5. **Revista de Geografia da UNESP**, v. 13/14, 1996.

SAUSEN, T. M.; FERREIRA, C. C.; SOUSA JÚNIOR, M. A.; HANSEN, M. A. F.; LACRUZ, M. S. P.; SAITO, S. M. **Ciclone extratropical ocorrido em maio de 2008 (SC e RS): gênese, evolução e avaliação das conseqüentes inundações com o auxílio de geotecnologias**. São José dos Campos: INPE, 2009. 171 p.

SEPLAN. **Leitura da Cidade**. São Leopoldo. 2006.

SILVA, C. R. Dinâmica das cheias nas áreas de risco no setor nordeste do município de Eladorado do Sul, às margens do Rio Jacuí - RS. **Trabalho de Graduação (Geografia)**. 2001.

SOUZA, C. R. G. Risco a inundações, enchentes e alagamentos em regiões costeiras. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 1. 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004. p. 231-247. (CD-ROM).

TAVARES, A. O; CUNHA, L. **Riscos Naturais e Ordenamento do Território Espaços-Risco e Interfaces Territoriais na Região Centro**. VI Congresso da Geografia Portuguesa. Lisboa, 17-20 de outubro de 2007.

THOURET, J. C. Avaliação, prevenção e gestão dos riscos naturais nas cidades da América Latina. In. VEYRET, Y. (org.). **Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente**. São Paulo: Contexto, 2007.

THOURET, J. C.; D'ERCOLE, R. Vulnérabilité aux risques naturels en milieu urbain: effets, facteurs et réponses sociales. **Cah. Sci. hum.** 32 (2) 96: 407-422. 1996.

TORRES, H. G.; MARQUES, E. FERREIRA, M. P.; BITAR, S. Pobreza e espaço: padrões de segregação em São Paulo. **Estudos Avançados**, 17 (47), 2003.

TUCCI, C. E. M. **Curso de Gestão das Inundações urbanas**. 2005.

UMBELINO, G. J. M. Proposta metodológica para avaliação da população residente em áreas de risco ambiental: o caso da bacia hidrográfica do Córrego do Onça/MG. **Dissertação** (Mestrado em Demografia). Belo Horizonte, MG. UFMG/Cedeplar. 2006.

UNDRO. Office of the United Nations Disaster Relief Coordinator. **Bulletin d'information**. Genebra, Suíça: 1976-1980. 11 n. 1979.

UNEP. **Cities and Urban Vulnerability in the context of Urban Environmental Management**. 2005.

UNEP. Flood plain management. **Environmental management**. Nairobi: United Nations Environment Programme, 1988. vii,19 p.: il. Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente.

UNISDR **Terminology on Disaster Risk reduction**. International Strategy for Disaster Reduction. 2009.

UNU. Two Billion People Vulnerable to Floods by 2050. **News Release, 2004**. Disponível em: <<http://www.unu.edu/news/ehs/floods.doc>>. Acesso em: 20 set. 2009.

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

XU, H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. **International Journal of Remote Sensing**. Vol. 27, No. 14, 20 July 2006.

ZÊZERE, J. L.; PEREIRA, A. R.; MORGADO, P. **Perigos naturais e tecnológicos no território de Portugal continental**. Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa. 2006.

ZUQUETTE, L. V.; PEJON, O. J.; GANDOLFI, N.; PARAGUASSU, A. B. Considerações básicas sobre a elaboração de cartas de zoneamentos de probabilidade ou possibilidade de ocorrer eventos perigosos e de riscos associados. **Geociências**, São Paulo, v.14, n.2, p.9-39. 1995.