

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO**

PAOLA DE ASSIS DE SOUZA RAMOS

**PROPOSTA METODOLÓGICA PARA MAPEAMENTO DE VULNERABILIDADE À  
INUNDAÇÃO**

PORTO ALEGRE - RS  
2017

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO**

PAOLA DE ASSIS DE SOUZA RAMOS

**PROPOSTA METODOLÓGICA PARA MAPEAMENTO DE VULNERABILIDADE Á  
INUNDAÇÃO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento  
Remoto para obtenção do Título de Mestre em  
Sensoriamento Remoto

**Orientada:** Paola de Assis de Souza Ramos

**Orientador:** Dr. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho

PORTO ALEGRE - RS  
2017

## FOLHA DE APROVAÇÃO

PAOLA DE ASSIS DE SOUZA RAMOS

### PROPOSTA METODOLÓGICA PARA MAPEAMENTO DE VULNERABILIDADE Á INUNDAÇÃO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto para obtenção do Título de Mestre em Sensoriamento Remoto

**Orientada:** Paola de Assis de Souza Ramos

**Orientadores:** Dr. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho

Aprovada em: \_\_/\_\_/\_\_

---

Dr. Laurindo Antônio Guasselli  
(IGEO/UFRGS)

---

Dra. Ivana Almeida Figueiredo Jalowitzki  
(PPGEC/UFRGS)

---

Dra. Silvia Midori Saito  
(CEMADEN)

---

Dr. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho (Orientador)  
(Escola de Engenharia/UFRGS)

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao Pai Celestial por ter me dado a vida e por todos os momentos bons e ruins que me trouxeram até este momento.

À minha mãe, Jaqueline Assis Ramos, grande incentivadora. Um exemplo de ser humano, forte e guerreira. Sempre esteve junto comigo em todas as minhas vitórias e nas minhas derrotas.

Ao meu pai, Adilson de Souza Ramos. Sempre presente me apoiando e me incentivando até nas horas mais difíceis.

Aos meus orientadores, que me apoiaram, me incentivaram e expandiram meus horizontes durante o mestrado. Guilherme Garcia de Oliveira, muito obrigada pelas sugestões e o direcionamento desta pesquisa. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho, obrigada por ter acreditado em mim e ter me dado oportunidade de atuar como pesquisadora no GRID.

Ao professor Laurindo Antônio Guasselli, que me ajudou na construção da dissertação e me ajudou em diversos outros momentos durante o mestrado.

Aos meus colegas de Mestrado (Sensorientos). Em especial Gustavo Toniolo, Diniz Carvalho de Arruda e Adriana Moreira, que estiveram presentes em todos os momentos, me ajudando e me apoiando na construção da dissertação e em momentos tensos da minha vida.

Ao professor Clódis de Oliveira Andrades Filho, que me incentivou fortemente à entrar no mestrado em sensoriamento remoto. Um grande exemplo de professor.

Ao Grupo de Gestão de Riscos e Desastres (GRID), em especial para Alexandra Passuello, Eloisa Giazzon, Mariana Madruga Brito e Ivana A. F. Jalowitzki, que contribuíram significativamente para construção desta dissertação.

À Kika Freitas e a Juliana Fin, minhas grandes amigas, minhas grandes amigas e companheiras, que me ajudaram e apoiaram em muitos momentos difíceis da minha vida.

À Oficina Regional Permanente de Proteção e Defesa Civil, principalmente ao Cláudio Rocha e Alessandra Regina Azambuja, por todo o apoio dado na elaboração desta dissertação.

À Secretaria de Planejamento e Meio Ambiente, principalmente ao geólogo José Mauro Denardin, que juntamente com Alessandra R. Azambuja, fazem um trabalho extraordinário na gestão de riscos e desastres no município de Igrejinha.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro durante o mestrado.

Por fim quero agradecer à todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto e a UFRGS, pelo conhecimentos e pelas oportunidades que me proporcionaram.

## RESUMO

RAMOS, Paola de Assis de Souza, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Agosto de 2017. **Proposta Metodológica para Mapeamento de Vulnerabilidade à Inundação.** Orientador: Dr. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho.

A expansão dos centros urbanos, determinada pela demanda de áreas, está fortemente associada à vulnerabilidade da população. Este avanço, muitas vezes ocorre em direção a ambientes frágeis como margens de rios, encostas e mananciais. Desta maneira, as mudanças no ambiente, deflagradas pelas atividades antrópicas, têm contribuído fortemente para maior exposição da população e conseqüente impactos relacionados às inundações, em relação às inundações. Os mapeamentos de vulnerabilidade são medidas não estruturais muito importantes para avaliar as características de determinada população, que as tornam mais ou menos propensas aos impactos de uma inundação. Desta forma, o objetivo principal deste trabalho é propor uma metodologia, baseada na utilização de SIG, para mapeamento de vulnerabilidade à inundação a partir da integração de dados censitários e de outras fontes, usando como estudo de caso o município de Igrejinha, RS. Determinou-se como unidade de estudo a mancha urbana presente em cada setor censitário do IBGE. Foram elaborados 10 indicadores distribuídos em 3 dimensões que buscaram avaliar aspectos demográficos, sociais e de infraestrutura e saneamento. Os dados utilizados são provenientes do IBGE e também de outras pesquisas realizadas no município por outros autores. Compreende-se nesta pesquisa que cada indicador possui uma importância diferente e atribui-se um peso específico para cada indicador e dimensão pelo método Analytic Hierarchy Process (AHP). Os pesos foram atribuídos por especialistas da área e por agentes de Proteção e Defesa Civil. Os pesos foram atribuídos para duas fases distintas do gerenciamento de um desastre: resposta e recuperação. Através de ferramentas presente em SIG, foi utilizado o método dasimétrico para os dados à mancha urbana de cada setor censitário. Como resultado obteve-se um mapa de cada indicador e dimensão, bem como o mapa final de vulnerabilidade à inundação. Foram gerados mapas com pesos atribuídos para resposta e para recuperação. Em cada mapa gerado pode-se obter as áreas mais vulneráveis da área de estudo, que corresponderam as Zonas de Interesse Social de Igrejinha. Para observar certos aspectos que poderiam acarretar na vulnerabilidade, segundo o indicadores utilizados, foi empregada a ferramenta Google Street View. Devido ao seu baixo custo, bem como a facilidade da obtenção dos dados, a metodologia proposta pode ser replicada em qualquer município brasileiro.

Palavras-Chave: Método AHP, Indicadores de Vulnerabilidade, Setores Censitários

## ABSTRACT

RAMOS, Paola de Assis de Souza, Federal University of Rio Grande do Sul, August 2017. **Methodological Proposal for Vulnerability Mapping to Flood.** Advisor: Dr. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho.

The expansion of urban centers, determined by area demand, is strongly associated with the vulnerability of the population. This breakthrough often occurs toward fragile environments such as riverbanks, slopes and springs. In this way, environmental changes triggered by anthropic activity the changes in the environment, triggered by the anthropic activities, have contributed strongly to greater exposure of the population and consequent flood impacts. Vulnerability mappings are very important non-structural measures to assess the characteristics of a given population, which make them more or less prone to the impacts of a flood. Along these lines, the main objective of this work is to propose a methodology, based on the use of GIS, to map vulnerability to flood, from the integration of census data and other sources, using as a case study, the municipality of Igrejinha, RS. The urban spot present in each IBGE census tract was used as the unit of study. Ten indicators were elaborated in three dimensions that sought to evaluate demographic, social, and infrastructure and sanitation aspects. The data used come from IBGE and also from other surveys conducted in the municipality by other authors. It is understood in this research that each indicator has a different importance and is assigned a specific weight for each indicator and dimension by the Analytic Hierarchy Process (AHP) method. The weights were assigned by specialists in the area and by Civil Protection and Defense agents to two distinct phases of disaster management: response and recovery. By means of tools present in GIS, the dasymetric method was used for the data to the urban spot of each census sector. As a result, a map of each indicator and size was obtained, as well as the final map of vulnerability to flooding. Maps with weights assigned for response and retrieval were generated. In each generated map, it is possible to observe the most vulnerable areas of the study area, which corresponded to the Igrejinha Social Interest Zones. In order to observe certain aspects that could lead to vulnerability, according to the indicators used, the Google Street View tool was used. Due to its low cost, as well as the ease of obtaining the data, the proposed methodology can be replicated in any Brazilian municipality.

Keywords: AHP Method, Vulnerability Indicators, Census Sectors

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de enchentes e inundações.....	21
Figura 2: Vulnerabilidade e suas interações. ....	24
Figura 3: Parâmetros utilizados na determinação da qualidade de um indicador. ....	26
Figura 4: Fases da Gestão de Riscos e do Gerenciamento de Desastres. ....	30
Figura 5: Ciclo de gestão de risco e gerenciamento de desastres em Proteção e Defesa Civil. Fonte: CEPED-RS/UFRGS (2016a).....	31
Figura 6: Diferença entre mapas Coropléticos e os Dasimétricos.....	36
Figura 7: mapa de densidade populacional com método dasimétrico binário.....	37
Figura 8: Densidade populacional realizada pelo método CEDS. ....	38
Figura 9: Mapa do índice de Vulnerabilidade Social dos setores censitários de Porto Alegre.	39
Figura 10: Mapa de vulnerabilidade do município de Rio Negrinho – SC. ....	40
Figura 11: Indicador de Densidade das Construções.....	43
Figura 12: Escala de Criticidade.....	43
Figura 13: Mapa de Vulnerabilidade Efetiva .....	44
Figura 14: Resultados da avaliação de vulnerabilidade em Bangladesh. ....	45
Figura 15: Fluxograma das etapas metodológicas.....	47
Figura 16: Localização da Área de Estudo. Fonte: Ramos et al. (2016a). ....	48
Figura 17: Hidrografia do Município de Igrejinha e mancha urbana. ....	49
Figura 18: Mapa Hipsométrico do Município de Igrejinha. ....	49
Figura 19: Distribuição das ocorrências no período de 1982 a 2015. ....	51
Figura 20: Distribuição das ocorrências nos meses do ano. ....	52
Figura 21: Cota de Enchente. ....	53
Figura 22: Distribuição dos registros de inundação ou enxurradas por bairros. ....	53
Figura 23: Setores de Risco do Projeto Mapeamento de Vulnerabilidade.....	56
Figura 24: Espacialização das áreas suscetíveis às inundações em Igrejinha, RS, no vale do rio Paranhana. Fonte: Guasselli et al. (2016).....	57
Figura 25: Mapeamento das instituições Públicas em Relação à área de abrangência à Inundações .....	58
Figura 26: Setores Censitários Utilizados no Estudo. ....	61
Figura 27: Dimensões e seus respectivos indicadores de vulnerabilidade às inundações.....	62
Figura 28: Mancha urbana e setores censitários.....	64
Figura 29: Componentes do Indicador Exposição à inundação. ....	65

Figura 30: Escala de intensidade de importância relativa entre os fatores.....	71
Figura 31: Oficina experimental para aplicação do AHP.....	74
Figura 32: Reunião com a Oficina Regional Permanente de Proteção e Defesa Civil.....	74
Figura 33: Tabela de Atributos.....	77
Figura 34: Gráficos de dispersão dos pesos atribuídos por especialistas para os indicadores. A, C, E, G resposta e B, D, F, H recuperação .....	82
Figura 35: Média dos pesos dos indicadores de vulnerabilidade e das dimensões .....	83
Figura 36: Indicador de Número de Pessoas .....	85
Figura 37: Indicador de Adensamento Domiciliar .....	86
Figura 38: Indicador de Adensamento Domiciliar e as ZIS .....	87
Figura 39: Indicador de Exposição à inundação.....	89
Figura 40: Inundação ocorrida no ano de 1992. ....	90
Figura 41: Vulnerabilidade da Dimensão Características Demográficas.....	92
Figura 42: Contribuição dos indicadores para vulnerabilidade da dimensão.....	94
Figura 43: Indicador de Renda .....	95
Figura 44: Indicador de Existência de Crianças .....	96
Figura 45: Indicador de Pessoas Com Deficiência (PCD) .....	97
Figura 46: Indicador de Idosos .....	98
Figura 47: Vulnerabilidade da Dimensão Social.....	99
Figura 48: Contribuição dos indicadores para vulnerabilidade da dimensão social.....	101
Figura 49: Indicador de Domicílios sem Sistema de Drenagem .....	102
Figura 50: Ruas sem Drenagem ao Sul do Município.....	103
Figura 51: Localização e Enxurrada do Arroio Koetz.....	104
Figura 52: Indicador de Domicílios com Esgoto a Céu Aberto .....	105
Figura 53: Domicílio lançando efluentes domésticos no rio Paranhana em área de solapamento .....	106
Figura 54: Indicador de Domicílios com Lixo no Logradouro .....	107
Figura 55: Vulnerabilidade da Dimensão Saneamento e Infraestrutura.....	108
Figura 56: Contribuição dos Indicadores para Dimensão Saneamento e Infraestrutura .....	110
Figura 57: Mapa de Vulnerabilidade Final à inundação.....	112
Figura 58: Contribuição das Dimensões para Vulnerabilidade Final à Inundações.....	113

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Matriz de Comparação Pareada .....	72
Tabela 2: Índice de aleatoriedade (RI) conforme o número de fatores (n) utilizados. ....	73

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Classificação dos desastres segundo o banco de dados EM-DAT. ....	20
Quadro 2: Classificação dos desastres naturais segundo o COBRADE.....	20
Quadro 3: Propriedades de um Índice .....	27
Quadro 4: Indicadores .....	42
Quadro 5: Principais transtornos causados pelas inundações e enxurradas em Igrejinha. ....	54
Quadro 6: Fonte dos dados utilizados. ....	59
Quadro 7: Faixa de Valores para Classificação da Vulnerabilidade .....	78
Quadro 8: Zonas de Interesse Social e seus Índices .....	88

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	Objetivos.....	18
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	19
2.1	Classificação de Desastres.....	19
2.1.1	Inundação.....	21
2.1.2	Enxurrada.....	22
2.2	Suscetibilidade.....	23
2.3	Ameaça e Perigo.....	23
2.4	Vulnerabilidade.....	23
2.4.1	Indicadores de Vulnerabilidade e Índices.....	25
2.5	Risco.....	27
2.6	Resiliência.....	29
2.7	gestão de riscos e gerenciamento de desastres.....	29
2.8	Métodos de avaliação multicritério.....	32
2.9	Geoprocessamento e Sistemas de informação geográficas.....	33
2.9.1	Mapeamento Temático.....	35
2.9.2	Metodologias para Mapeamento.....	37
3	METODOLOGIA.....	47
3.1	Área de estudo.....	47
3.1.1	Caracterização das Inundações no Município de Igrejinha.....	51
3.1.2	Estudos e Pesquisas realizadas no município de Igrejinha.....	55
3.2	Determinação da unidade de estudo para mapeamento de vulnerabilidades.....	58
3.3	Materiais utilizados para elaboração dos indicadores de vulnerabilidade.....	59

3.3.1	Dados do Censo Demográfico do IBGE e Malha Digital dos Setores Censitários ..	60
3.3.2	Mancha de Inundação .....	61
3.3.3	Mancha Urbana do Município de Igrejinha.....	61
3.4	Indicadores de vulnerabilidade .....	62
3.4.1	Dimensão Características Demográficas .....	63
3.4.1.1	Adensamento Domiciliar .....	64
3.4.1.2	Exposição às inundações .....	64
3.4.1.3	Número de Residentes no Setor.....	66
3.4.2	Dimensão Social .....	66
3.4.2.1	Renda .....	66
3.4.2.2	Existência de Crianças .....	67
3.4.2.3	Existência de Pessoas com Deficiência (PCD).....	67
3.4.2.4	Existência de Idosos .....	68
3.4.3	Dimensão Saneamento e Infraestrutura .....	69
3.4.3.1	Domicílios com Esgoto a Céu Aberto .....	69
3.4.3.2	Domicílios sem Sistema Adequado de Drenagem .....	69
3.4.3.3	Domicílios Com Lixo no Logradouro .....	70
3.5	CÁLCULO DE VULNERABILIDADE .....	70
3.5.1	Definição de Pesos pelo Método AHP .....	71
3.5.2	Elaboração e Aplicação do Questionário AHP.....	73
3.6	Cálculo dos Indicadores e Elaboração dos Mapas em Ambiente SIG .....	75
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	80
4.1	Indicadores de vulnerabilidade .....	80
4.2	Mapas de vulnerabilidade .....	84
4.2.1	Dimensão Características Demográficas .....	85
4.2.2	Dimensão Social.....	95
4.2.3	Dimensão Saneamento e Infraestrutura .....	102
4.2.4	Mapa de Vulnerabilidade Final à inundação .....	111
4.3	Observações e Recomendações .....	114

4.3.1	Indicadores de Vulnerabilidade .....	114
4.3.2	Método AHP .....	116
4.3.3	Mapas de Vulnerabilidade .....	117
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	119
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	121

## 1 INTRODUÇÃO

O aumento demográfico e a consequente expansão das cidades, bem como o desenvolvimento econômico e social, resultam em significativas modificações no espaço geográfico. Estas alterações são acompanhadas pelo crescimento urbano desordenado em áreas inadequadas para moradia, como encostas íngremes e planícies de inundação (CEPED/UFRGS-RS, 2016a).

A expansão dos centros urbanos, determinada pela demanda de áreas, está fortemente associada à vulnerabilidade da população. Este avanço, muitas vezes ocorre em direção a ambientes frágeis como margens de rios, encostas e mananciais. Desta maneira, as mudanças no ambiente, deflagradas pelas atividades antrópicas, têm contribuído fortemente para maior impacto das inundações sobre a população (NEGRÃO e SILVA, 2014).

A gestão de riscos e o gerenciamento de desastres são um conjunto de ações que visam reduzir estes impactos causados pelos eventos adversos. São diretrizes administrativas e estratégias políticas que se destinam a melhorar a capacidade de enfrentamento de uma comunidade. São compostas por etapas diferentes, mas que se inter-relacionam. Denominam-se prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação (COPOLA, 2015; UNISDR, 2009).

Dentro do conjunto de ações mitigatórias podemos citar as medidas estruturais e não estruturais. As estruturais são aquelas que modificam o sistema fluvial, como barragens e diques. As medidas não estruturais, por sua vez, visam a melhor convivência da população com as inundações, como instalação de sistema de monitoramento e alerta a inundações, regulamentação do uso da terra, mapeamento de risco, etc. (TUCCI; BERTONI, 2003). As medidas não estruturais são muito importantes e se sobressaem devido ao seu baixo custo de implantação e também porque procuram disciplinar a ocupação territorial.

Os mapeamentos de vulnerabilidade fazem parte do conjunto de medidas não estruturais e são importantes, pois permitem localizar e avaliar as características da população exposta a um determinado tipo de processo perigoso. A representação visual por meio de mapas ajuda na compreensão do fenômeno estudado. Desta forma, tais mapas podem subsidiar a adoção de medidas mitigadoras para reduzir a vulnerabilidade da população e aumentar a resiliência da sociedade em função dos eventos extremos hidrometeorológicos (EDWARDS et al., 2007).

Segundo França et al. (2014) as informações detalhadas sobre a estrutura e distribuição espacial das populações humanas, subsidiam a tomada de decisão para diversas finalidades. As informações oriundas de recenseamentos de população ou habitação são complexos levantamentos estatísticos realizado em diversos países, em intervalos regulares. No Brasil, o responsável pelo censo demográfico é o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que realizou seu último recenseamento em 2010.

Juntamente com a base cartográfica do zoneamento censitário, as variáveis censitárias podem ser estruturadas em um banco de dados geográficos, podendo ser tratadas e analisadas por meio dos Sistemas de Informação Geográfica (SIGs). Desta forma, os dados obtidos a partir de censo podem ser integrados a dados provenientes de outras fontes, podendo-se obter estimativas quantitativas, bem como análises espaciais, provenientes de cálculo de taxas e indicadores (FRANÇA et al., 2014).

Os mapas de vulnerabilidade, assim como de exposição da população, podem ser criados por meio de ferramentas presentes em SIGs, que facilitam a entrada, o armazenamento, a gestão, a análise, a integração e a produção de dados espaciais. Auxiliam na tomada de decisão e no planejamento estratégico, para a gestão de riscos e o gerenciamento de desastres (CEPED-RS/UFRGS, 2016a; CFCAS, 2007).

Dados relacionados à Suscetibilidade de uma área a um determinado processo podem ser integrados às informações sobre população em ambiente SIG, com o intuito de avaliar e monitorar a vulnerabilidade ao longo tempo e do espaço geográfico. Desta forma é possível identificar áreas prioritárias para realização de ações, com intuito de diminuir os impactos de um evento adverso sobre a população (CFCAS, 2007).

Desta forma torna-se indispensável adotar uma abordagem metodológica que permita avaliar os impactos sociais de uma comunidade exposta as inundações, definindo por meio de visualização gráfica as áreas de maior vulnerabilidade. Assim, o processo de mapeamento torna-se um instrumento indispensável de controle e prevenção.

O município de Igrejinha, RS, ao longo das últimas três décadas sofreu com diversas inundações e enxurradas. As consequências agravam-se devido à ocupação de áreas ambientalmente frágeis, especialmente nas margens do rio Paranhana e seus afluentes, na porção central do município. Foram 15 eventos de inundação no período de 1982 até 2016 (RAMOS et al. 2016a). Desta forma torna-se indispensável adotar uma abordagem metodológica que permita avaliar os impactos sociais da comunidade

exposta a estes processos, definindo por meio de visualização gráfica as áreas de maior vulnerabilidade.

Existem diversas metodologias para estimar a vulnerabilidade, que variam de acordo com a escala de trabalho e o tipo de perigo que a população é exposta. Diversos autores utilizam o setor censitário, bem como os dados de renda, número de domicílios, idade, entre outros, para criar indicadores e realizar mapeamentos de vulnerabilidade. No entanto, quando se refere às inundações, são necessárias adaptações destas metodologias, pois tanto o formato dos setores e os dados censitários não foram criados para tal finalidade. Desta forma, necessitam de tratamentos específicos e informações auxiliares para elaboração de um mapeamento às inundações.

Nesta pesquisa procurou-se desenvolver uma metodologia baseada na utilização de SIG para avaliação da vulnerabilidade a inundações em áreas urbanas. A partir da desagregação e redistribuição de dados censitários e de outras fontes, foram gerados indicadores que procuraram abordar a natureza multifacetada da vulnerabilidade. A abordagem adotada permitiu a inclusão da opinião de diversos especialistas da área de desastres na elaboração do mapeamento. A utilização de ferramentas SIG permitiu desenvolver uma metodologia aplicável em áreas propensas a desastres e sujeitas a escassez de dados sobre população e infraestrutura.

Além das considerações iniciais, bem como a exposição dos objetivos da pesquisa, o presente documento está dividido em: referencial teórico, materiais e métodos, resultados e discussões, considerações finais e referências bibliográficas.

O referencial teórico buscou abordar os conceitos norteadores desta pesquisa. São apresentados os conceitos ligados à gestão de riscos e desastres, métodos de avaliação multicritério, geoprocessamento e SIG e estudos já realizados na área de estudo, com temática semelhante.

Nos materiais e métodos buscou-se explicar as informações e dados utilizados para construção dos indicadores de vulnerabilidade, bem como o uso do método multicritério AHP para definição de pesos para cada um deles. Neste tópico também foram mostradas como os mapas de vulnerabilidade foram elaborados em ambiente SIG.

Nos resultados e discussões são mostrados os mapas de vulnerabilidade à inundações para cada indicador e dimensão proposta, bem como o mapa final. É realizada uma descrição da variação dos graus de vulnerabilidade no território municipal. Também é feita uma discussão sobre os aspectos relacionados ao método de

mapeamento proposto. Por último são feitas recomendações para a continuidade de questões que ficaram em aberto após o término desta pesquisa.

Nas considerações finais serão expostas as conclusões desta pesquisa. Por fim teremos as referências bibliográficas, em que constarão todos os autores consultados para elaboração desta dissertação.

## 1.1 OBJETIVOS

O objetivo principal desta dissertação é propor uma metodologia, baseada na utilização de SIG, para mapeamento de vulnerabilidade à inundação, a partir da integração de dados censitários e de outras fontes, utilizando como estudo de caso, o município de Igrejinha, RS.

Este trabalho compreende o seguinte objetivo específico:

- a) Propor indicadores de vulnerabilidade à inundação;

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico foi elaborado com o intuito de nortear a pesquisa, apresentando um embasamento para o cumprimento dos objetivos estabelecidos e discussão dos resultados. Desta forma serão apresentados os principais termos, bem como, o entendimento de cada conceito para esta dissertação.

### 2.1 CLASSIFICAÇÃO DE DESASTRES

Existem diversos tipos de desastres no mundo e seu conhecimento e classificação são importantes, pois, facilitam a tomada de decisão. Possibilita o direcionamento e encaminhamento eficiente de profissionais para atender a população no momento do desastre (SAITO et al., 2015). Em escala mundial existe a classificação adotada pelo banco de dados desenvolvido pelo *Center for Research on the Epidemiology of Disasters* (CRED, Centro de Pesquisa de Epidemiologia em Desastres), da Universidade de Louvain, conhecido como *Emergency Events Database* (EM-DAT). Este banco de dados organiza as ocorrências em âmbito mundial e para que um evento natural ou tecnológico seja caracterizado como desastre, precisa atender ao menos um dos seguintes critérios:

- dez ou mais pessoas mortas;
- cem ou mais pessoas afetadas;
- declaração de estado de emergência;
- pedido de assistência internacional.

A classificação internacional adotada pelo EM-DAT divide os desastres em duas grandes categorias, podendo ser naturais ou tecnológicos. Os desastres naturais provêm de fenômenos da natureza e se subdividem em biológicos, geofísicos, climatológicos, hidrológicos e meteorológicos. Os desastres tecnológicos são relacionados a incêndios urbanos, derramamento de produtos perigosos, etc. O quadro 1 mostra a classificação geral adotada pelo EM-DAT dos desastres naturais.

Quadro 1: Classificação dos desastres segundo o banco de dados EM-DAT.

<b>Subgrupo</b>	<b>Definição</b>	<b>Principais tipos de desastres</b>
Desastres geofísicos	Eventos originados na geosfera	Terremoto, erupção vulcânica, movimento de massa (seco)
Desastres meteorológicos	Eventos causados por processos atmosféricos de curta duração (de minutos a dias)	Tempestade
Desastres hidrológicos	Eventos causados por alterações no ciclo normal da água e/ou por transbordamento de sistemas hídricos por ação dos ventos	Inundação, movimento de massa (úmido)
Desastres climatológicos	Eventos causados por processos de longa duração (variabilidade climática de intrassazonal a multidecadal)	Temperaturas extremas, secas, incêndios espontâneos
Desastres biológicos	Eventos causados pela exposição de organismos vivos a germes e substâncias tóxicas	Epidemias, infestação de insetos, debanda de animais

Fonte: EM-DAT (s.d.-a) *apud* SAUSEN e LACRUZ (2015)

O Brasil utilizava como classificação a Codificação de Desastres, Ameaças e Riscos (CODAR). Em 2012, a partir da Instrução Normativa nº 01 de 24 de agosto, ficou determinado que o Brasil passasse a utilizar a classificação internacional. Após a publicação da normativa, adotou-se a Classificação Brasileira de Desastres (COBRADE), que é semelhante à utilizada pelo banco internacional EM-DAT (BRASIL, 2012b). O Quadro 2 mostra a classificação dos desastres naturais segundo o COBRADE.

Quadro 2: Classificação dos desastres naturais segundo o COBRADE.

<b>Grupo</b>	<b>Subgrupo</b>
Geológico	Terremoto, erupção vulcânica, movimento de massa, erosão
Hidrológico	Inundações, enxurradas, alagamentos
Meteorológicos	Sistemas de grande escala/escala regional, tempestades, temperaturas extremas
Climatológicos	Seca
Biológico	Epidemia, infestações/pragas

Fonte: BRASIL, 2012b.

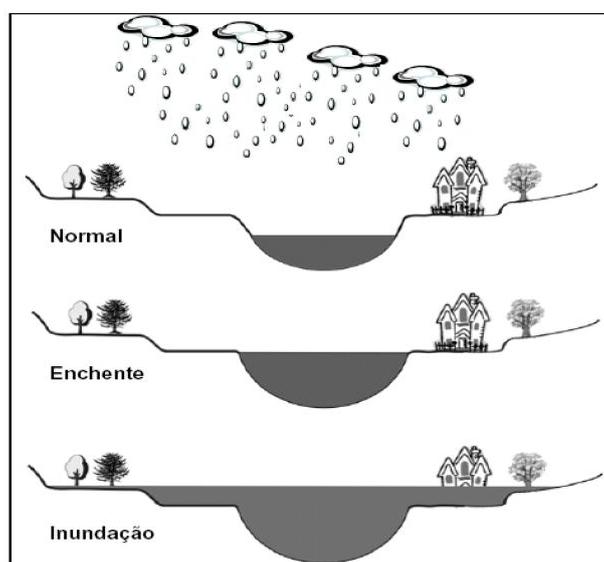
A Normativa nº 01 de 24 de agosto classifica os desastres de acordo com a origem, evolução e intensidade. Em relação à origem, os desastres podem ser classificados como antropogênicos, naturais ou mistos. Em relação à evolução, podem ser súbitos ou graduais. A intensidade é avaliada em quatro níveis, sendo que o nível I

se refere a desastres de pequeno porte e o IV se refere a desastres que não podem ser superados com recursos do próprio município (BRASIL, 2012b). Nesta pesquisa será adotado a nomenclatura, bem como os conceitos estabelecidos pelo COBRADE.

### 2.1.1 Inundação

As inundações são fenômenos naturais que ocorrem frequentemente nos cursos d'água. Devido à ação antrópica os impactos destes eventos tem se intensificado nos centros urbanos, pois muitas cidades se desenvolveram ao longo dos leitos rios, o que expôs a população ao risco (SEMAD - MG, 2013).

Como mencionado anteriormente, nesta pesquisa será adotado o conceito de inundação (Figura 11) descrito no COBRADE, sendo o termo designado para o transbordamento de um curso d'água em zonas que normalmente não se encontram submersas. O transbordamento ocorre gradualmente e geralmente em áreas de planície, devido a chuvas prolongadas.



**Figura 1:** Esquema de enchentes e inundações.  
Fonte: Kobyama et. al. (2005)

Para Tucci e Bertoni (2003) as inundações ocorrem quando a intensa precipitação supera a capacidade de infiltração do solo, escoando um grande volume de água para o sistema de drenagem, superando sua capacidade natural de escoamento. O volume de água excedente não consegue ser drenado, ocorrendo extravasamento para área várzea, inundando-a conforme a topografia.

A probabilidade e a ocorrência de uma inundação, segundo Amaral e Ribeiro (2012), estão associadas a condicionantes naturais e antrópicos. Entre os condicionantes naturais destacam-se a forma do relevo; características da rede de drenagem da bacia; intensidade, quantidade distribuição e frequência das chuvas; características do solo e teor de umidade; presença ou ausência de cobertura vegetal.

Os condicionantes antrópicos, ainda segundo os autores, referem-se ao uso e ocupação irregular das planícies e margens; acúmulo irregular de lixo em locais próximos aos cursos hídricos; retificação e canalização dos cursos hídricos; impermeabilização do solo da bacia; intensos processos erosivos e consequente assoreamento dos cursos hídricos.

### 2.1.2 Enxurrada

As enxurradas correspondem ao escoamento superficial de alta energia e velocidade, deflagradas por chuvas intensas e concentradas. Ocorrem normalmente em bacias pequenas, com relevo acidentado. Este tipo de evento é caracterizado pela elevação súbita das vazões de determinada drenagem e o brusco transbordamento da calha fluvial (BRASIL, 2012b).

Segundo Montz e Grunfest (2002), as enxurradas ocorrem de maneira súbita, com tempo limitado para alerta à população. O seu deslocamento é rápido e violento, causando danos à infraestrutura e propriedades, bem como a perda de vidas. Apesar de ter uma área de abrangência pequena, comparada às inundações, geralmente está associada ao transporte de materiais como lama e detritos.

A ocorrência de enxurradas está intimamente ligada à forma do relevo. De acordo com Amaral e Ribeiro (2012) as características do vale podem propiciar o aumento da velocidade do processo de inundação. Os vales encaixado, com formato de “v” e vertentes de alta declividade predispõe as águas a atingirem alta velocidade, em um pequeno período de tempo.

Além dos condicionantes naturais, assim como as inundações, as enxurradas podem ser potencializadas pelas atividades antrópicas. A redução da capacidade de infiltração, associada à urbanização irregular ou sem planejamento, vem tornando as enxurradas mais frequentes em ambientes urbanos (CEPED-SC/UFSC, 2012).

## 2.2 SUSCETIBILIDADE

A definição de suscetibilidade para esta dissertação é a mesma utilizada por Santos (2012) e Santangelo et al. (2011), conceitua-se como sendo a predisposição que uma área possui para ocorrência de um determinado processo. É baseada nas condições locais do terreno, não considerando probabilidade temporal do evento, como tempo de recorrência ou frequência. Desta forma, torna-se bastante útil quando não se tem disponibilidade de informações sobre uma determinada área.

A forma como a Suscetibilidade é mapeada depende intimamente das características naturais da área de estudo e deve ser determinada para cada um dos tipos de eventos naturais. Quando se pretende mapear inundações, a suscetibilidade expressa as condições que uma área possui para o desenvolvimento do referido processo. É avaliada por meio de indicadores geomorfológicos e climáticos (CEPED-RS/UFRGS, 2016a).

## 2.3 AMEAÇA E PERIGO

Ameaça nesta pesquisa é caracterizada por um evento físico, potencialmente prejudicial. Pode ser um fenômeno ou atividade humana que resulte em degradação do meio ambiente, morte, lesões, interrupção de atividades e danos materiais (UNISDR-ONU, 2009). São eventos adversos prejudiciais às atividades antrópicas, gerando consequências negativas (perdas e danos) aos elementos expostos. Assim como a Suscetibilidade, não é avaliada a probabilidade temporal ou frequência que ocorrem (CEPED-RS/UFRGS, 2016a).

Para conceito de perigo adota-se o que é descrito por Bressani e Costa (2013). Para estes autores o conceito de perigo, diferentemente da ameaça, incorpora a probabilidade quantitativa ou qualitativa da ocorrência de eventos adversos. Desta forma, o perigo possui o potencial de causar consequências indesejáveis, a qual é associada uma estimativa de intervalos de tempo de ocorrência (ISSMGE, 2004).

## 2.4 VULNERABILIDADE

Existem diversas definições de vulnerabilidade, que são determinadas pelas, características da área de estudo, escala temporal e espacial, resultados e análises

exigidos e do tipo de perigo associado (BARROCA, 2006). Existem definições mais restritas e outras mais abrangentes.

Assim, a definição de vulnerabilidade não possui aceitação universal, mas pode ser geralmente caracterizada em função da exposição da sociedade a perigos naturais e da Suscetibilidade de um indivíduo ou grupo social a sofrer danos, bem como sua capacidade de lidar ou absorver os efeitos dessas ameaças (RANKE, 2016).

Para CEPED-RS/UFRGS (2016a) a vulnerabilidade está relacionada às condições dos elementos expostos a determinado tipo de perigo ou ameaça, podendo ser avaliada por meio do grau esperado de danos e prejuízos. Deste modo, a vulnerabilidade é um indicativo de como as condições preexistentes dos elementos em exposição os tornam mais ou menos predispostos a serem impactados por um processo perigoso. Assim, para os autores um cenário vulnerável se constitui pela interação do tipo de evento, exposição e as características dos elementos expostos (Figura 2).

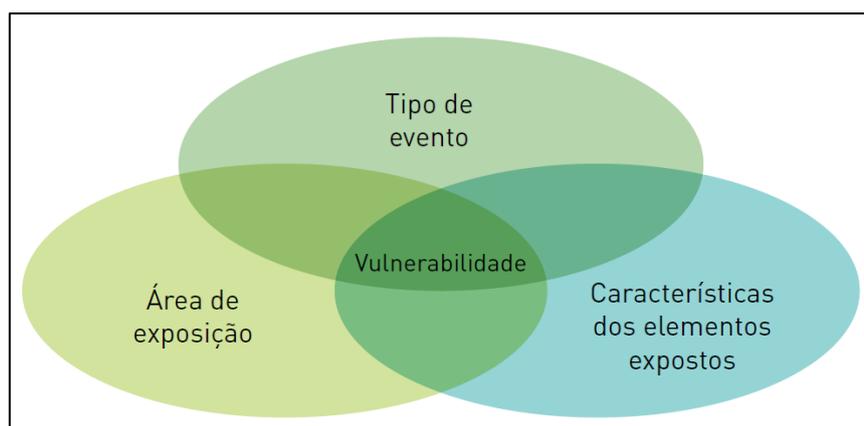


Figura 2: Vulnerabilidade e suas interações.

Fonte: CEPED-RS/UFRGS, 2016a

Para Wisner et al. (2003) a vulnerabilidade pode ser medida em relação aos danos e prejuízos sobre os meios de subsistência futuros. Não se considera somente os danos provenientes de um único evento. Desta forma, os grupos vulneráveis são também aqueles que têm dificuldades em reconstruir seus meios de subsistência após o desastre, tornando-os mais vulneráveis aos efeitos de eventos adversos subsequentes. O autor conclui que as zonas mais vulneráveis possuem fases de recuperação menores.

Hogan e Marandola (2007) incluem a capacidade de resposta ao conceito, explanando que a vulnerabilidade envolve condições, sejam elas sociais, econômicas, demográficas ou geográficas, que afetam a capacidade de uma comunidade em responder a um perigo.

O IPCC (2007) traz como definição que a vulnerabilidade é o grau em que um sistema é suscetível e incapaz de lidar com os efeitos adversos de um evento. Varia de acordo com as mudanças climáticas as quais um sistema é exposto, sua sensibilidade e capacidade de adaptação. Desta forma, para estes autores a comunidade ou indivíduo necessita ter a habilidade de se adaptar uma possível mudança de cenário em relação à magnitude e frequência do evento adverso a que é exposto.

Nota-se que alguns conceitos abordados englobam a exposição dos elementos. Segundo CEPED-RS/UFRGS (2016a) a exposição indica quanto uma comunidade ou sistema localizado em uma área susceptível estará sujeita a sofrer com um evento adverso. Desta forma a localização espacial se torna indispensável na avaliação da exposição de uma comunidade a determinado tipo de processo. Dentro do contexto de vulnerabilidade, a exposição torna-se importante, pois é o principal fator causador vítimas, embora que as características do elementos também seja importante.

O conceito de vulnerabilidade torna-se relativo e depende intimamente do que se tem pretensão de avaliar dentro de um sistema e a situação adversa a qual os elementos estão expostos. Deste modo, existem diversas características que podem ser identificadas em um indivíduo ou comunidade que podem indicar a vulnerabilidade (WISNER et al., 2003).

Nesta pesquisa a vulnerabilidade é entendida como sendo as características e situações de um indivíduo ou grupo, que influenciam na capacidade de antecipar, lidar, resistir e recuperar-se do impacto de um perigo (evento ou processo natural extremo) (WISNER et al., 2003).

#### 2.4.1 Indicadores de Vulnerabilidade e Índices

Segundo CEPED-RS/UFRGS (2016a), para avaliar a vulnerabilidade é necessário a identificação de características específicas e circunstâncias de uma comunidade, sistema ou bem exposto aos perigos de um processo. A vulnerabilidade pode ser classificada de diversas formas, podendo variar de acordo com as características demográficas. Leva-se em consideração fatores sociais como renda, idade, educação, naturalidade, etc. São consideradas questões sobre aspectos construtivos das residências, bem como as condições do saneamento e infraestrutura da comunidade. Também é identificado o quanto um local ou área é susceptível à ocorrência de um perigo natural.

Após se identificar as características de uma comunidade que a torna mais vulnerável a determinado tipo de processo, é possível estimar quantitativamente, por meio de indicadores, o quanto ela é vulnerável.

Os indicadores são parâmetros, que fornecem informações sobre um fenômeno, ambiente ou área. Ele pode ser entendido como um componente tangível de parte de um sistema, com capacidade de estimar quantitativamente sua condição e que seja representativo de um sistema completo. Deste modo, os indicadores são uma forma simples de medidas mais complexas (PRATT et al., 2004)

Os indicadores permitem medir o impacto de um evento adverso sobre diferentes grupos sociais, em distintas regiões. Desta forma tornam-se muito úteis para gestão de riscos, pois auxiliam os gestores públicos a identificar áreas prioritárias para realização de ações para diminuição da vulnerabilidade (RANKE, 2016).

Renke (2016) comenta que os indicadores possuem requisitos padrões para serem utilizados. Eles necessitam ser robustos, representativos, replicáveis e de fácil compreensão. O autor comenta que se deve admitir as limitações das metodologias, devido à complexidade dos fenômenos que se deseja mensurar. Também deve ser considerada a escassez de dados para compor os indicadores. Desta forma o autor também admite a necessidade de se buscar dados mais genéricos e abrangentes para se aferir vulnerabilidade de uma determinada área.

Para CEPED-RS/ UFRGS (2016a), a qualidade de um indicador é estimada de acordo com a relevância do conteúdo, credibilidade da fonte, atemporalidade e neutralidade. A Figura 3 caracteriza os parâmetros utilizados para determinação da qualidade de um indicador.

Relevância ao conteúdo	Credibilidade da fonte	Atemporalidade	Neutralidade
O indicador deve estar relacionado ao tema analisado e ser uma importante contribuição na sua composição.	Quanto mais reconhecida for a fonte dos dados, maior credibilidade terá o indicador.	Os indicadores devem refletir situações que poderão ser comparadas em momentos distintos.	Bons indicadores não excluem grupos de dados homogêneos.
<b>Exemplo:</b> Percentual de famílias com baixa renda como indicador de desenvolvimento social.	<b>Exemplo:</b> IBGE, instituições e agências governamentais, institutos de pesquisas.	<b>Exemplo:</b> Número de pessoas contaminadas com dengue ao longo dos anos em um município.	<b>Exemplo:</b> Total de moradias afetadas por inundações, independentemente da renda da família ou local.

Figura 3: Parâmetros utilizados na determinação da qualidade de um indicador.

Fonte: CEPED-RS/UFRGS (2016b)

Segundo OECD (2008) indicadores podem ser compostos, sendo formado por indicadores individuais, compilados em um único índice com base em um modelo. Medem conceitos multidimensionais que não podem ser capturados por um único indicador. Um índice agrega informações de diversos indicadores, com naturezas distintas, traduzindo-os em um único valor representativo. (BID, 2011; ZONENSEIN, 2007). O quadro a baixo mostra as propriedades, que segundo Zonensein (2007), são importantes para elaboração de um índice.

Quadro 3: Propriedades de um Índice

<b>Propriedade</b>	<b>Descrição</b>
Constituição	Grupo de indicadores que compõe o índice.
Domínio	Esfera espacial (local, regional, nacional ou global) de aplicabilidade do índice.
Formulação	Expressão matemática que representa a relação entre os indicadores considerados.
Escala	São extremos máximo e mínimo, entre os quais estão compreendidos todos os valores que o índice pode assumir.

Fonte: BID, 2011; ZONENSEIN, 2007

As propriedades dos índices influenciam diretamente a escolha dos indicadores e seus dados. Se um índice for regional, a escolha dos dados que compõe os indicadores devem ter no máximo este domínio. Se o pesquisador optar por utilizar dados com domínio superior (nacional), eles terão que ser redistribuídos ao mesmo nível espacial do índice, podendo gerar erros. O mesmo não se aplica a situação inversa. Se um indicador possuir um domínio inferior ao índice, a informação pode ser agregada. Neste caso, pode ocorrer a perda de informação (1

## 2.5 RISCO

Segundo a UNISDR (2004) o risco é a probabilidade da ocorrência de consequências prejudiciais ou perdas (como mortes, lesões, interrupção de serviços, prejuízos econômicos, etc) que são resultantes de interações entre perigos naturais e vulnerabilidades. Desta forma, além de expressar a possibilidade de dano físico,

reconhece-se que os riscos são inerentes ou se criam dentro dos sistemas sociais. Segundo o autor o risco é estimado por meio da seguinte equação:

$$R = P \times V \quad (1)$$

Em que:  $R$  é o risco;  $P$  é o perigo e  $V$  é a vulnerabilidade.

Este é o conceito básico, frequentemente utilizado por diversos pesquisadores para estimar os riscos. Porém, alguns autores ressaltam que esta fórmula não inclui os danos, que segundo CEPED-RS/UFRGS (2016a), são indispensáveis para eficiência da gestão de riscos. A ocorrência de um desastre natural está sempre associada às perdas econômicas, sociais ou ambientais. Deste modo, o termo risco pode ser utilizado como probabilidade de consequências prejudiciais ou perdas (econômicas, sociais ou ambientais) resultantes da relação entre perigos naturais e os sistemas humanos (UNDP, 2004).

Para CEPED-RS/UFRGS (2016a) o conceito mais adequado e completo para o exercício da gestão de risco é o abordado por Macedo e Bressani (2013) e Fell et al. (2008). Para estes autores o risco representa uma “estimativa do dano potencial a que pessoas, bens ou atividades econômicas estarão sujeitas, levando em consideração a probabilidade de ocorrência de um evento adverso nesse período (um ano, por exemplo) e a vulnerabilidade dos elementos expostos”. Sendo assim, o risco pode ser expresso pelas seguintes fórmulas:

$$Risco = Ameaça \times Probabilidade \times Consequências \quad (2)$$

$$Consequências = Vulnerabilidade \times Valor dos Elementos \quad (3)$$

Analisando a fórmula podemos concluir que é importante primeiramente saber o tipo de processo (por exemplo: inundação ou enxurrada), identificando espacialmente a sua área de abrangência e verificando se ele é uma possível ameaça para atividades humanas, estimando também a probabilidade que esta ameaça ocorra, chegando ao perigo. Posteriormente são avaliadas as consequências deste evento, estimando a vulnerabilidade dos elementos expostos e também o valor dos elementos, que diz respeito aos danos e prejuízos.

Assim, observa-se que o risco é um conceito complexo e que para estima-lo é necessário obter dados de diversas naturezas. Os eventos naturais ocorrem

independentemente da ação do homem e tornam-se adversos por conta da interação com as atividades antrópicas. Não é possível impedir um evento natural, mas é possível diminuir os impactos dos eventos adversos por meio de medidas que visem a diminuição da vulnerabilidade dos elementos expostos. Sendo assim, a vulnerabilidade é um importante componente dentro da fórmula de risco.

## 2.6 RESILIÊNCIA

Segundo a UNISDR (2009) resiliência é a capacidade de um sistema, comunidade ou sociedade exposta algum tipo de risco, para resistir, absorver, acomodar e recuperar dos efeitos de um perigo em tempo útil e eficiente, inclusive através da preservação e reestruturação de suas estruturas e funções básicas essenciais. Os autores incluem que a resiliência de uma comunidade é determinada pelos recursos disponíveis e a capacidade de se organizar antes e durante os momentos de necessidade.

Para Turnbull et al. (2013) a resiliência não é um estágio final fixo, mas é um conjunto mutável de condições e processos. Neste sentido, uma comunidade resiliente é aquela que possui a capacidade de aprender e adaptar-se a mudanças incrementais e choques repentinos.

A capacidade que uma comunidade ou indivíduo possui de aprender com desastres já ocorrido, influencia diretamente a resiliência. O histórico ajuda a orientar as adaptações necessárias para se obter uma proteção futura melhor, por meio da identificação e redução de riscos e desastres.

## 2.7 GESTÃO DE RISCOS E GERENCIAMENTO DE DESASTRES

Segundo a terminologia sobre redução do risco de desastres (UNISDR-ONU, 2009), a gestão dos riscos de desastres pode ser caracterizada por um processo sistemático de utilização de diretrizes administrativas, de organizações e de conhecimentos operacionais, para a implementação de estratégias políticas e melhorar a capacidade de enfrentamento de uma comunidade, com finalidade de reduzir os impactos adversos de um perigo e, por conseguinte, a ocorrência de um desastre. Desta forma, pode-se dizer que a gestão do risco de desastres está intimamente ligada a ações e medidas estruturais e não estruturais cujo principal objetivo é reduzir os danos e prejuízos ocasionados por um desastre.

Já o gerenciamento de um desastre envolve a organização e a gestão eficiente de recursos e responsabilidades para o manejo de todos os aspectos de uma emergência. Esta etapa envolve planos e arranjos institucionais, com a finalidade de orientar as atividades e esforços do governo, ONGS, organizações de voluntários, agências privadas. O objetivo é obter uma resposta coordenada e abrangente para sanar as necessidades que surgem durante o evento adverso. Deste modo, uma ação de emergência eficaz pode evitar o aumento da gravidade, a ponto de se configurar um cenário de desastre (UNISDR-ONU, 2009).

Os dois conceitos supracitados estão implícitos no Artigo 3º da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (Lei 12.608, de 10 de Abril de 2012). Esta legislação prevê as seguintes ações distintas e inter-relacionadas:

- Prevenção;
- Mitigação;
- Preparação;
- Resposta;
- Recuperação.

Segundo o CEPED-RS/UFRGS (2016a), essas ações ocorrem de forma multissetorial nas esferas federal, estadual e municipal, exigindo uma participação ativa e articulada da sociedade. A Figura 4 sintetiza as ações, conforme a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil, acrescentando os conceitos utilizados pela EIRD/ONU (2009).

Gestão de Riscos			Gerenciamento de Desastre	
<p><b>Prevenção</b></p> <p>Ações destinadas a reduzir a ocorrência e a intensidade de desastres, por meio da identificação, mapeamento e monitoramento de riscos, ameaças e vulnerabilidades, bem como a capacitação da sociedade</p>	<p><b>Mitigação</b></p> <p>Medidas estruturais e não estruturais para limitar os danos e prejuízos visto que não é possível prevenir todos os impactos adversos das ameaças</p>	<p><b>Preparação</b></p> <p>Medidas tomadas antecipadamente para assegurar uma resposta eficaz aos desastres, como planos de contingência, simulações, monitoramento, emissão de alertas e a evacuação da população</p>	<p><b>Resposta</b></p> <p>Ações de socorro, assistência à população afetada e reabilitação do cenário de desastre com o objetivo de salvar vidas e reduzir os danos e prejuízos</p>	<p><b>Recuperação</b></p> <p>Medidas tomadas logo após o desastre para reestabelecer a normalidade da comunidade afetada, como a recuperação de serviços essenciais, a realocação de pessoas e ações de reconstrução</p>

Figura 4:Fases da Gestão de Riscos e do Gerenciamento de Desastres.  
Fonte: CEPED-RS/UFRGS apud BRASIL (2012); UNISDR - ONU (2009)

Segundo Maesterson et. al. (2014) e CEPED-RS/UFRGS (2016a), a gestão de risco e o gerenciamento de desastres devem ser entendidos como um ciclo contínuo de ações que ocorrem tanto durante quanto entre as ocorrências de um desastre. A Figura 5 mostra o Ciclo de gestão de risco e gerenciamento de desastres.

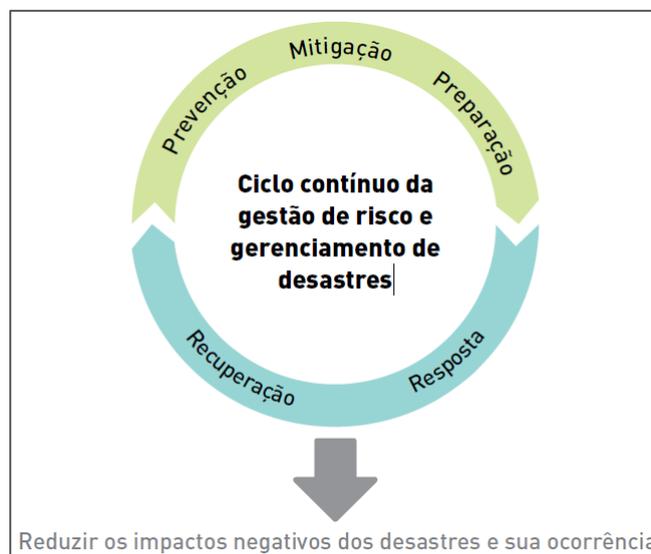


Figura 5: Ciclo de gestão de risco e gerenciamento de desastres em Proteção e Defesa Civil. Fonte: CEPED-RS/UFRGS (2016a)

Os conceitos anteriormente mencionados de susceptibilidade, vulnerabilidade, perigo e risco, servem de base à gestão de riscos e o gerenciamento de desastre. Saber e entender os tipos de desastres que ocorrem, bem como seus condicionantes, subsidiam os mapeamentos que deverão ser realizados em uma determinada área. Estes mapeamentos por sua vez, tornam-se o início de todas as medidas subsequentes descritas pelo ciclo.

Os mapeamentos de risco, por exemplo, enquadram-se como uma ferramenta de prevenção. São eles que irão direcionar a implementação de medidas mitigadoras, ditas estruturais e não estruturais. Estas medidas, por sua vez, podem subsidiar a criação e elaboração de planos de contingência, sistema de monitoramento, alerta e evacuação da população, na fase de preparação. Durante a resposta a desastres, os planos de contingência bem como os mapeamentos são importantes norteadores para ações de socorro e redução de danos e prejuízos. Por fim, a fase de recuperação é altamente influenciada pela eficácia das etapas anteriores do ciclo. Com base nestas ações e na magnitude do evento, as necessidades de recuperação podem ser provenientes de um desastre ou não (CEPED-RS/UFRGS 2016; MAESTERSON et. al., 2014).

Como mencionado anteriormente, o gerenciamento de um desastre compreende as etapas de resposta e recuperação. Para Copolla (2015) a resposta inclui ações destinadas a limitar lesões, perda de vidas e danos. É uma das fases mais complexas, pois é conduzida sob condições de alto estresse, com tempo limitado para realização das atividades. A prioridade, segundo o autor é o salvamento de vidas, que dependendo do tipo e magnitude do evento pode durar semanas.

Além dos salvamentos, são realizadas ações de assistência às vítimas, que tem por finalidade garantir condições dignas aos atingidos como, por exemplo, o suprimento de alimentos, material de abrigo, vestuário, limpeza, higiene pessoal, etc. (CEPED-RS/UFRGS, 2016a).

Após as ações de respostas, são realizadas ações de recuperação em que países, comunidades, famílias e indivíduos reparam, reconstróem ou recuperam o que foi perdido durante a ocorrência de um desastre e, idealmente adquirem experiência, para reduzir os riscos de futuros eventos adversos. As ações de recuperação são as mais diversas e dispendiosas e envolvem ações mais abrangentes do que substituir o que já existiu. Os desastres desestabilizam a sociedade por eventuais mortes, danos estruturais e perda dos valores monetários da sociedade (COPPOLA, 2015).

Conclui-se, baseado nos trabalhos dos autores citados que as fases, não compõem necessariamente um ciclo. Podem ser descritas como ações ou etapas que se inter-relacionam e se sobrepõe no tempo e no espaço. Podemos tomar como exemplo a fase de mitigação, que fala sobre medidas não estruturais. Observamos também que medidas não estruturais também são aplicadas na fase de prevenção, por meio dos mapeamentos realizados.

## 2.8 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO

A gestão de riscos e o gerenciamento de desastres são processos compostos por diferentes etapas, que correspondem a um ciclo contínuo de ações, cujo objetivo principal é a redução dos impactos de um evento adverso (CEPED-RS/UFRGS, 2016b). Sua eficiência está ligada a um complexo e incerto processo decisório, pois é articulado por diversos autores, cada um com visões, conhecimentos e interesses distintos (EVERS, 2008; AKTER e SIMONOVIC, 2005; KENYON, 2007). Desta forma, a gestão dos riscos, bem como o gerenciamento de desastres, necessita de ferramentas de

apoio aos processos decisórios, para considerar os diferentes pontos de vista, objetivos, alternativas viáveis e os critérios de avaliação das partes interessadas (BRITO, 2016).

Assim, a gestão de riscos e o gerenciamento de desastres podem se beneficiar com o a utilização de ferramentas de decisão multicritério. Segundo Voogd (1982) os métodos de decisão multicritério são utilizados para avaliar e estruturar alternativas com base em múltiplos critérios e objetivos. Durante o processo são atribuídos pesos específicos para cada critério, quantificando a importância relativa de cada um. Desta forma, um critério pode ter diferentes graus de importância.

Não existe um único método para definição de pesos e encontra-se na literatura diversos métodos para este fim. Segundo Hajkovicz e Collins (2007) os métodos de decisão multicritérios podem ser classificados nos seguintes grupos: ordenamento de critérios, escalas de pontos, distribuição de pontos e comparação de critérios par a par. Cada um destes métodos engloba uma infinidade de técnicas diferentes, que foram desenvolvidas para estudos de diversas finalidades.

O método *Analytic Hierarchy Process* AHP é uma metodologia de comparação de critérios par a par. Foi desenvolvida por Thomas Saaty e consiste na comparação de critérios, questionando quanto um é mais ou menos que importante que o outro, por meio de uma escala pré-definida. Segundo Brito e Evers (2016) esta técnica é a mais aplicada, devido a sua simplicidade e flexibilidade.

Segundo Saaty (1980), no método AHP um problema é estruturado na forma de hierarquia. Posteriormente ocorre um processo de priorização, que envolve aplicar julgamentos de questões de dominância de um elemento sobre o outro, quando comparados a uma prioridade.

O AHP facilita a compreensão do problema por parte do tomador de decisão, pois o decompõe em uma série de comparações simples, para posteriormente estruturá-lo hierarquicamente. Este método também possibilita realizar uma avaliação do grau de inconsistência dos julgamentos realizados. Deste modo, é possível assegurar a coerência das avaliações realizadas (SAATY, 1980).

## 2.9 GEOPROCESSAMENTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICAS

Segundo Carvalho et al. (2000), o geoprocessamento é um termo amplo, que engloba diversas tecnologias de tratamento e manipulação de dados geográficos, por meio de programas computacionais. Como exemplo destas tecnologias o autor destaca:

o sensoriamento remoto, a digitalização de dados, a automação de tarefas geográficas, utilização de Sistemas de Posicionamento Global (GPS) e os Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

Segundo Jansen e Jansen (2013) os SIGs são utilizados por diversos grupos multidisciplinares de pessoas para uma infinidade de aplicações. Desta forma, existem diversas definições do que constitui um SIG. Konecny (2003) os define como um sistema digital para aquisição, gerenciamento, análise e visualização de dados espaciais, para fins de planejamento, administração e monitoramento do ambiente natural e socioeconômico.

Para Fitz (2008) os SIGs são sistemas constituídos por um conjunto de programas computacionais, que integra dados, equipamentos e pessoas, cujo objetivos são armazenar, recuperar, manipular, visualizar e analisar dados espacialmente referenciados a um sistema de coordenadas conhecido.

Hanigan (1988) *apud* Silva (2003) possui um conceito mais abrangente e define SIG como qualquer sistema de gerenciamento de informação, que possui as seguintes funcionalidades: capacidade de coletar, armazenar e recuperar informações baseadas em sua localização espacial; identificar locais dentro de um ambiente que tenha sido selecionado a partir de critérios específicos; explorar relações entre os dados de um certo ambiente; analisar dados espaciais, utilizando-os como subsídio para toma de decisões; facilitar a exportação de modelos de análises, com capacidade de avaliar alternativas de impactos no meio ambiente; exibir e selecionar áreas, graficamente e numericamente, antes e/ou depois das análises.

Os SIGs realizam a integração de operações convencionais de base de dados (como captura, armazenamento, manipulação, análise e apresentação de dados), com a visualização e análise geográfica propiciada pelos mapas. Neste sentido, os SIGs se tornam muito úteis para compreensão de eventos, simulações de situações e planejamento estratégico. São ferramentas importantes para os planejadores e tomadores de decisão, pois propiciam a realização de complexas análises espaciais. A utilização desta tecnologia melhora a eficiência operacional, permitindo uma boa administração das informações estratégicas, tanto para minimizar o custo, quanto para tornar mais ágil processo decisório (SCHOLTEN, 1991)

### 2.9.1 Mapeamento Temático

Segundo Longley et al. (2013), os mapas são uma maneira muito eficiente de resumir e comunicar os resultados de operações em ambiente SIG para público em geral. Cumprem duas funções muito úteis, servindo como mecanismos de armazenamento e comunicação da informação geográfica. Segundo os autores, um apoio eficaz à tomada de decisão requer que a mensagem do mapa seja facilmente compreendida pelo decisor. Além de organizar e transmitir informações, os mapas criam ou reforçam uma mensagem específica.

Além da utilização de mapas diversos para a condução dos trabalhos com o uso de SIG, existem tipos específicos de mapas que podem ser obtidos como produtos que derivam destes sistemas. Estes mapas caracterizam-se por representar um tema específico, sendo assim, são denominados de mapas temáticos (FITZ, 2008).

Os mapeamentos temáticos são realizados sempre a partir de um mapa que serve como base, da área que está sendo estudada ou do que se pretende abordar. Abrange a coleta, a análise e a interpretação de dados e informações e sua consequente representação. Nos mapeamentos temáticos é mais importante entender o conteúdo do tema a ser representado do que a precisão do mapa base, bem como suas dimensões e seus componentes de localização (CARVALHO e ARAUJO, 2008).

Segundo Slocum et al. (2009) os mapas temáticos são utilizados para enfatizar um padrão espacial de um mais atributos geográficos, como densidade populacional, renda familiar e máximos diários de temperatura. O tipo mais comum de mapa temático é o coroplético, que é utilizado para representar dados por meio do preenchimento de unidades de áreas, com cores ou valores, que estão associados a variações da magnitude de um atributo.

Os mapas coropléticos consideram que a ocorrência de um fenômeno é uniforme dentro de uma de uma unidade de área. Desta forma o tamanho e as formas das unidades de enumeração se tornam importantes, pois pode causar grande generalização. Cita-se como exemplo os mapas de densidade populacional, que possuem forte relação com o tamanho das unidades de estudo. Desta forma Slocum et al. (2009) esclarece que este método é mais eficaz em estudos em que não exista variação significativa do tamanho e formato das áreas. É importante levar em consideração que a maior parte da atividade humana, incluindo a distribuição populacional, é espacialmente heterogênea devido a variações na topografia e no desenvolvimento regional (SU, et al., 2010).

Uma alternativa mais eficiente em relação aos mapas coropléticos, são os dasimétricos. O mapeamento dasimétrico é definido segundo Eicher e Brewer (2001), como sendo uma metodologia de refinamento de informações espaciais, que por meio de dados auxiliares, desagrega informações contidas em uma área, em unidades menores e homogêneas. Permite um nível melhor de detalhamento. Esta técnica é frequentemente utilizada em estudos de densidade e distribuição da população. A Figura 6 mostra a diferença entre os métodos coropléticos e dasimétricos.

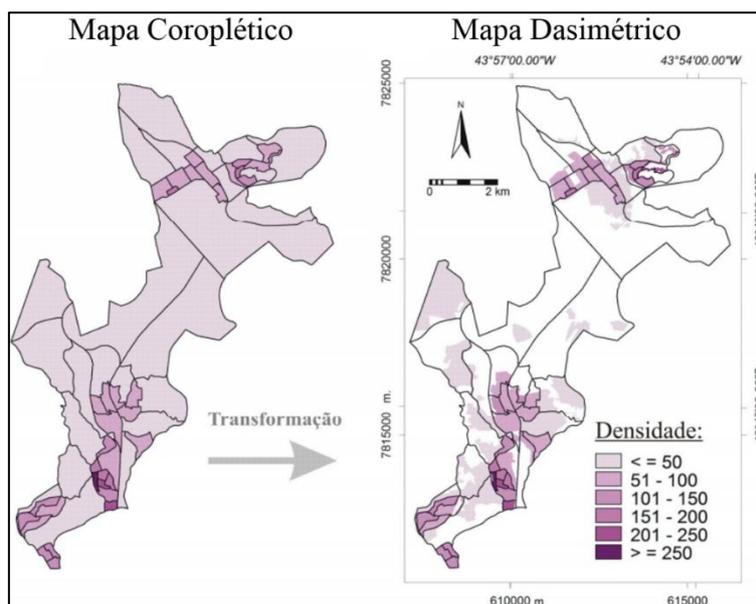


Figura 6: Diferença entre mapas Coropléticos e os Dasimétricos  
Fonte: Adaptado de Silva (2013)

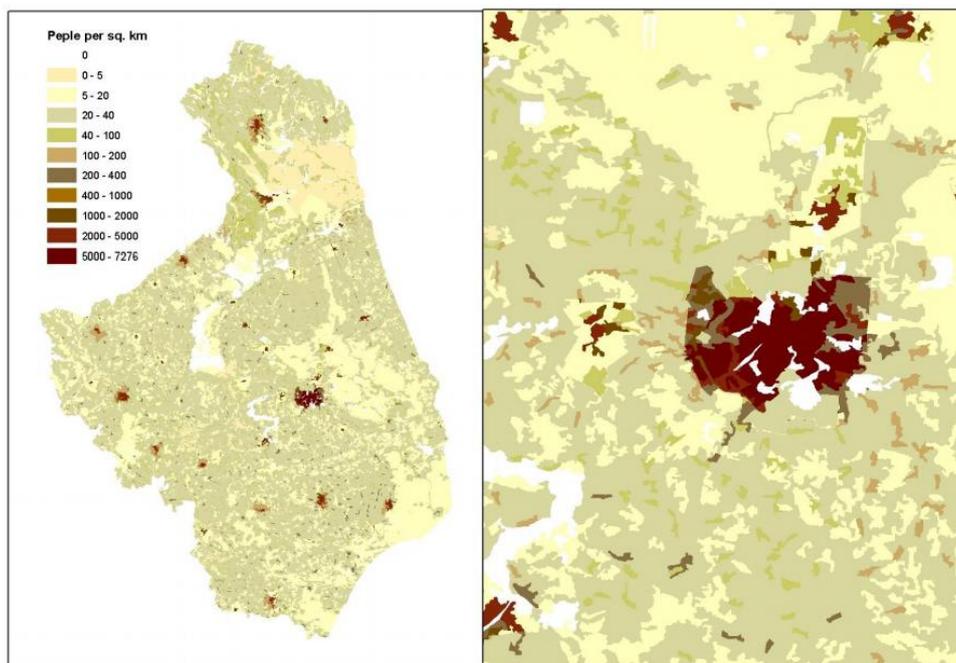
Segundo França et al. (2014) a técnica dasimétrica possui diversas abordagens e pode ser realizada com diferentes fontes de informação auxiliar. Os métodos mais convencionais são baseados na informação sobre o uso e cobertura da terra. Como exemplo cita-se método dasimétrico binário, considerado o mais simples de todos. Consiste separar as classes de uso da terra em relação à presença ou ausência de população redistribuí-las em classes habitáveis. Estas informações são obtidas por meio do uso de sensoriamento remoto, técnicas de geoprocessamento e SIG.

Segundo a pesquisa realizada por Fischer e Langford (1995) o método dasimétrico binário é amplamente empregado em diversos estudos e pode ser utilizado juntamente com outras metodologias. Sua maior limitação é que não considera as variações de densidade populacional dentro das áreas habitadas.

## 2.9.2 Metodologias para Mapeamento

Existem diversos tipos de metodologias para mapeamento. Elas se diferenciam de acordo com o que se pretende mapear, a escala de trabalho, local, etc. No que se refere a vulnerabilidade as metodologias variam também a que tipo de perigo os elementos estão expostos. Neste item serão apresentadas algumas metodologias de mapeamento que foram utilizadas como principal fonte para elaboração desta pesquisa.

Bielecka (2005) realizou um mapeamento de densidade populacional da Polônia, utilizando o método dasimétrico binário. Primeiramente o autor utilizou imagens do satélite Landsat 5, sensor TM e também imagens de fotogrametria para realizar a classificação temática. A densidade foi calculada dividindo o número de habitantes de uma unidade censitária, pela área que foi considerada habitada pela classificação (Figura 7).



**Figura 7:** mapa de densidade populacional com método dasimétrico binário.  
Fonte: Bielecka (2005).

Existem métodos mais complexos envolvendo técnicas dasimétricas. Maantay et al. (2007) e Maantay et al. (2010) realizaram um estudo que buscou demonstrar a eficácia do modelo *Cadastral-based Expert Dasymetric System* (CEDS) para estimar com mais precisão distribuição da população de um determinado local, a partir de dados censitários, na cidade de Nova Iorque- EUA. Os autores comentam que a utilização de técnicas dasimétricas permite melhorar a estimativa da população, buscando uma

compreensão mais completa da localização geográfica e a exposição da população a diversos tipos de ameaças.

Segundo os autores o CEDS, que realiza um mapeamento dasimétrico, desagregando os dados populacionais (como dados obtidos a partir de censos), em dados de resolução mais alta. Isto proporciona uma descrição mais realista da localização e densidades populacionais.

O CEDS utiliza um conjunto de dados que mascaram as áreas onde as pessoas tendem a não viver, como parques e cursos de água. Posteriormente redistribui as populações do recenseamento em áreas conhecidas e habitadas, desconsiderando as demais áreas do setor. Em seguida, o CEDS usa dados do lote fiscal, para desagregar ainda mais os dados da população. Em outras palavras, esta metodologia desagrega as contagens totais de um setor censitário, para o nível do lote de imposto, utilizando dados cadastrais.

Por meio da utilização de recursos presentes em programas SIG, os autores utilizaram informações do número de unidades residenciais dentro de cada lote, realizando cálculos com o intuito de desagregar as informações do censo. A aplicação do CEDS resultou então na densidade da população por área construída de um lote e também a distribuição absoluta da população, como pode ser observado na Figura 8.

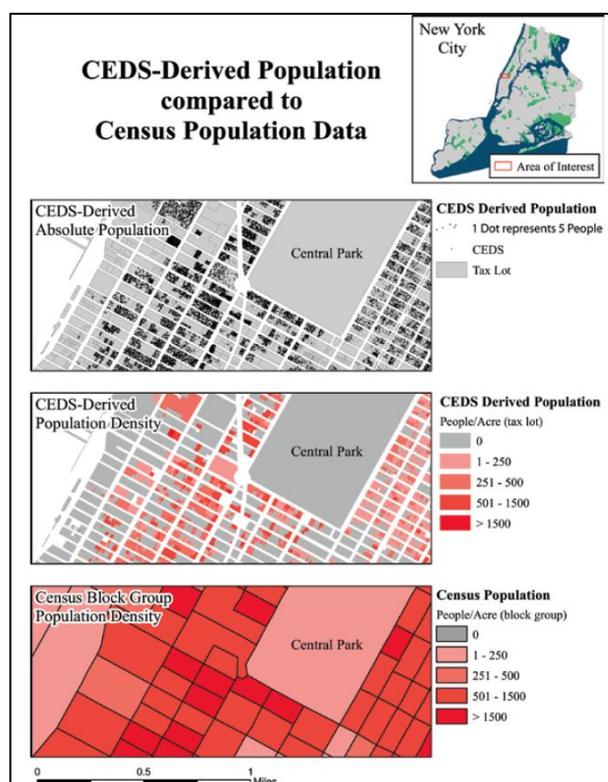


Figura 8: Densidade populacional realizada pelo método CEDS.

Fonte: Maantay et al. (2010).

Observa-se por meio da figura 10, que além de demonstrar os resultados da aplicação do CEDS, faz um comparativo com mapeamento utilizando a unidade do setor censitário. Nota-se a diferença na precisão da distribuição e da densidade populacional das duas imagens.

Maantay et al. (2010) ressaltam que além de estimar a densidade, com este método é possível estimar a distribuição de subpopulações e caracterizá-la de acordo com o rendimento, raça, gênero, idade, etc. Desta forma, pode-se melhorar a gestão de emergências, com planejamento de rotas de fuga, seleção de locais adequados para abrigos e priorização de atendimento das populações mais vulneráveis a determinado tipo de processo.

Com o intuito de estimar a vulnerabilidade social na cidade de Porto Alegre, Silva (2014) desenvolveu o Índice de Vulnerabilidade Social (IVS). A escala de estudo adotada foi a do setor censitário. O índice é composto por seis indicadores, distribuídos em quatro dimensões: renda, educação, características demográficas e infraestrutura. Devido às diferentes unidades o autor realizou a padronização dos dados censitários utilizados, que variou de 0 a 1, sendo que 1 representa a vulnerabilidade máxima no indicador. Por fim o autor agrupou os valores em quatro faixas iguais gerando os níveis ou graus de vulnerabilidade diferentes. A Figura 9 mostra o resultado deste mapeamento.

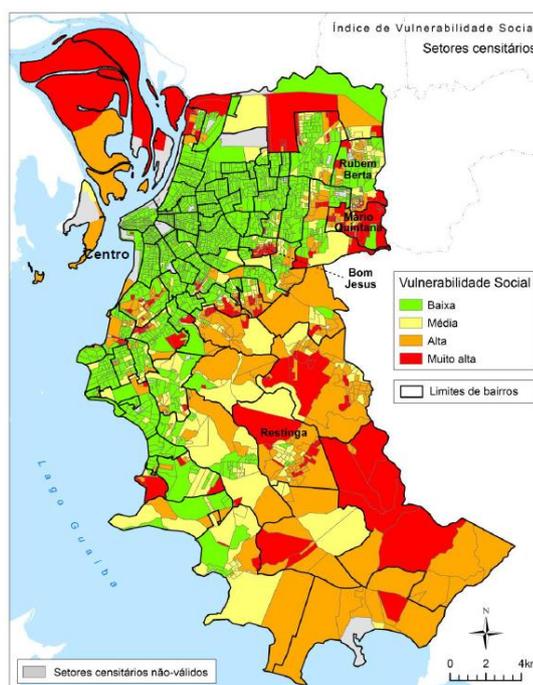


Figura 9: Mapa do índice de Vulnerabilidade Social dos setores censitários de Porto Alegre.

Fonte: SILVA (2014).

Goerl et al. (2012) realizou um mapeamento que denominou de risco às inundações no município de Rio Negrinho – SC. Os autores também trabalharam com a escala de setor censitário e utilizaram os dados do censo do IBGE e a delimitação das áreas inundáveis, disponíveis no plano diretor da cidade, para estimar o risco.

A vulnerabilidade foi estimada por meio de seis indicadores, que correspondem à densidade demográfica, rendimento, idade, educação, média de moradores por domicílios e número de moradores por setor. Os autores escalonaram os valores das variáveis censitárias de 0 a 1, sendo que 1 corresponde ao valor máximo de vulnerabilidade. Posteriormente, os valores foram agrupados em quatro faixas por meio do desvio quartílico, que correspondem à baixa, média, alta e muito alta vulnerabilidade. O resultado do mapeamento está elucidado na Figura 10.

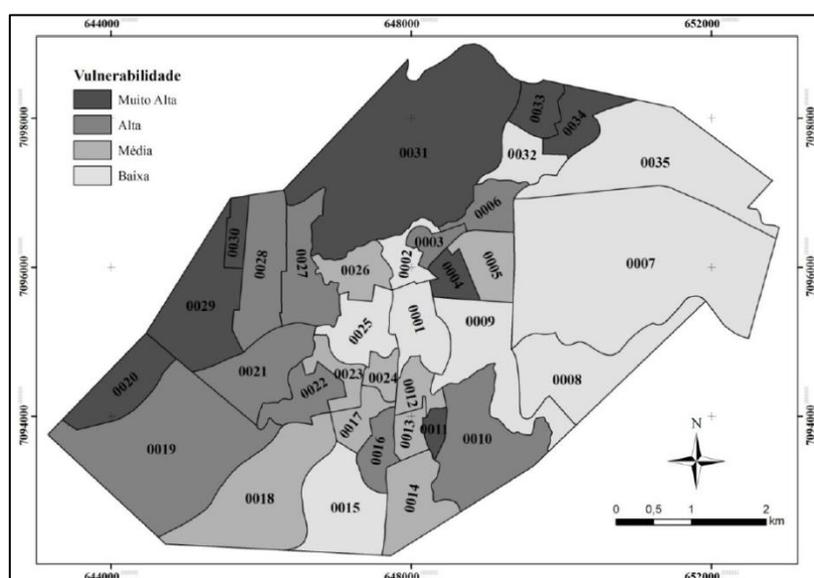


Figura 10: Mapa de vulnerabilidade do município de Rio Negrinho – SC.  
Fonte: Goerl et al. (2012).

Observa-se que os trabalhos de Silva (2014) e Goerl et al. (2012), fizeram o uso de métodos coropléticos para mapear a vulnerabilidade. Este tipo e método, no entanto, não leva em consideração a localização da população dentro do setor censitário. A alternativa para esta questão é a utilização de técnicas dasimétricas.

Nota-se que no trabalho de Goerl et al. (2012), que o conceito de risco utilizado para o mapeamento se difere do que foi exposto neste trabalho e em outras pesquisas. Os autores esclarecessem que isso ocorre devido a falta de dados para área de estudo.

O CEPED-RS/UFRGS (2016b), executou um projeto chamado “Mapeamento de Vulnerabilidade de Áreas Suscetíveis a Deslizamento e Inundação em 8 Municípios do

estado do Rio Grande do Sul”. Os municípios estudados foram: Novo Hamburgo, Rolante, Igrejinha, Encantado, Estrela, São Lourenço do Sul, Capão do Leão e Sapucaia do Sul.

Estes municípios estão entre os 821 selecionados e considerados prioritários pelo governo federal para mapeamento, devido aos seus históricos relacionados aos desastres naturais. Desta forma, a Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais (CPRM), o Serviço Geológico do Brasil, realizou uma setorização de risco, que tinha como objetivo a delimitação e caracterização de áreas sujeitas aos processos de inundação, enxurrada e movimento de massa (CPRM, 2011).

Assim, o projeto executado pelo CEPED-RS/UFRGS (2016b) tinha como objetivo principal levantar dados, aplicar instrumentos de mobilização social, formular e aplicar uma metodologia para avaliação e mapeamento de vulnerabilidade de áreas suscetíveis a deslizamentos e inundações. O estudo foi aplicado dentro dos setores previamente delimitados pela CPRM em 2011.

A metodologia desenvolvida pelos autores é dividida em 4 grandes etapas que são: a) metodologia elaboração dos mapas de vulnerabilidade; b) levantamento de dados; c) Elaboração da base cartográfica; d) análise dos resultados.

Através de uma ampla pesquisa bibliográfica o CEPED-RS/UFRGS (2016b), desenvolveu indicadores de vulnerabilidade e também um modelo matemático para hierarquização e ponderação dos indicadores. Foram elaborados então 11 indicadores e 35 sub indicadores, distribuídos em 5 dimensões: Física, Social, Infraestrutura, Capacidade de Resposta e Perigo.

A pesquisa considerou alguns indicadores específicos para cada um dos processos perigosos existentes dentro dos setores de risco apontados pela CPRM (inundação, enxurrada, movimento de massa). Isto pode ser observado no Quadro 4.

Quadro 4: Indicadores

Código	Indicador de Vulnerabilidade	*Tipo de processo		
		IN	EX	MM
IV01	Aspectos construtivos			
IV02	Capacidade de Mobilidade / Autonomia de Pessoas			
IV03	Nível de Pobreza			
IV04	Alocação de Serviços Públicos			
IV05	Saneamento Básico			
IV06	Acessos			
IV07	Capacidade de Resposta Local			
IV08	Capacidade de Resposta Institucional			
IV09	Distância do Perigo			
IV10	Cota de Inundação			
IV11	Área de Abrangência da Enxurrada			
*Tipo de Processo: Inundação (IN), Enxurrada (EX) e Movimento de Massa (MM)				

Fonte: CEPED-RS/UFRGS (2016b)

Após a definição dos indicadores e do modelo matemático, os pesquisadores foram a campo e avaliaram a vulnerabilidade de cada edificação, dentro dos setores preestabelecidos pelas CPRM. As informações que não puderam ser coletadas em campo, foram solicitadas as prefeituras de cada município. Os pesquisadores utilizaram também informações do IBGE, referente a idade e renda. Neste caso transferiram as informações da escala de setor censitário, para as edificações. Pode-se dizer que de certa forma fizeram o uso de uma técnica dasimétrica.

A vulnerabilidade é avaliada em baixa, média ou alta, por meio de uma escala previamente estabelecida. Para cada indicador (IV) ou subindicador (sub-IV) os autores estabeleceram um padrão a ser considerado, para cada classe de vulnerabilidade. O modelo matemático utilizado para esta classificação, foi feito para garantir que cada indicador (IV) e subindicador (sub-IV) sejam avaliados separadamente e traduzidos em um único índice. A Figura 11 é o sub-IV de Densidade das Construções, do IV de Aspectos Construtivos, que pode ser utilizada como exemplo do que foi mencionado anteriormente.

Vulnerabilidade Baixa	Vulnerabilidade Média	Vulnerabilidade Alta
<b>Construções espaçadas:</b> construções que estejam bem espaçadas umas das outras, permitindo uma generosa ventilação, permeabilidade do solo e movimentação por pedestres e veículos.	<b>Construções aglomeradas:</b> construções que estejam alocadas próximas umas das outras, com baixa permeabilidade do solo e dificultando um pouco a movimentação de pedestres e veículos.	<b>Construções extremamente aglomeradas:</b> número elevado de construções, extremamente próximas umas das outras, com elevada diminuição da permeabilidade do solo e extrema dificuldade de circulação de pessoas
Exemplos de referência:	Exemplos de referência:	Exemplos de referência:
		
		

Figura 11: Indicador de Densidade das Construções

Para estes autores, alguns IVs e sub-IVs são mais relevantes que outros e variam de acordo com cada situação. Desta forma foi incorporado ao modelo uma forma de hierarquização ou ponderação. Isto foi realizado por uma escala de criticidade, que em para alguns IVs e sub-IVs considerados menos importantes, a escala varia de 0 a 1 e nos considerados mais importantes varia de 0,5 a 2. Os menores valores das escalas representam a menor criticidade em relação a vulnerabilidade, enquanto os maiores valores indicam a máxima vulnerabilidade. A Figura 12 apresenta as faixa de valores das classes de vulnerabilidade para as escalas utilizadas.

Escala de Criticidade	Faixa de valores das Escalas		
	Vulnerabilidade Baixa	Vulnerabilidade Média	Vulnerabilidade Alta
0 a 1	0 – 0,33	> 0,33 - 0,66	> 0,66 – 1
0,5 a 2	0,5 – 1,00	>1,00– 1,50	> 1,50 - 2

Figura 12: Escala de Criticidade

Deste modo, cada edificação presente dentro da área de estudo foi avaliada de acordo com o que foi estabelecido para classes de vulnerabilidade, para cada sub indicador, dentro de sua escala de criticidade. Posteriormente foram reunidas por meio de uma fórmula para compor o indicador. Cada indicador também possui uma escala de criticidade e foram reunidos para compor a vulnerabilidade da dimensão, denominadas de fragilidade física, estrutural, social e capacidade de resposta.

Cada dimensão, por sua vez, também possui uma escala de criticidade. O modelo proposto por CEPED-RS/UFRGS (2016b) divide a vulnerabilidade sobre dois aspectos: 1) Vulnerabilidade Inerente; e 2) Vulnerabilidade Efetiva. A inerente está relacionada as fragilidades física, social, estrutural e capacidade de resposta. Em outras palavras, são inerentes às condições dos elementos expostos. A efetiva incorpora também indicadores relacionados à dimensão perigo. Esta divisão foi feita devido aos diferentes tipos de perigo estudados.

Após a coleta de dados no campo e em outras fontes, foram transferidos para ambiente SIG as avaliações de vulnerabilidade de cada IV e sub-IV, para inserção nas formulas e geração dos mapas de vulnerabilidade. A Figura 13 mostra um exemplo de mapa final gerado para este projeto.

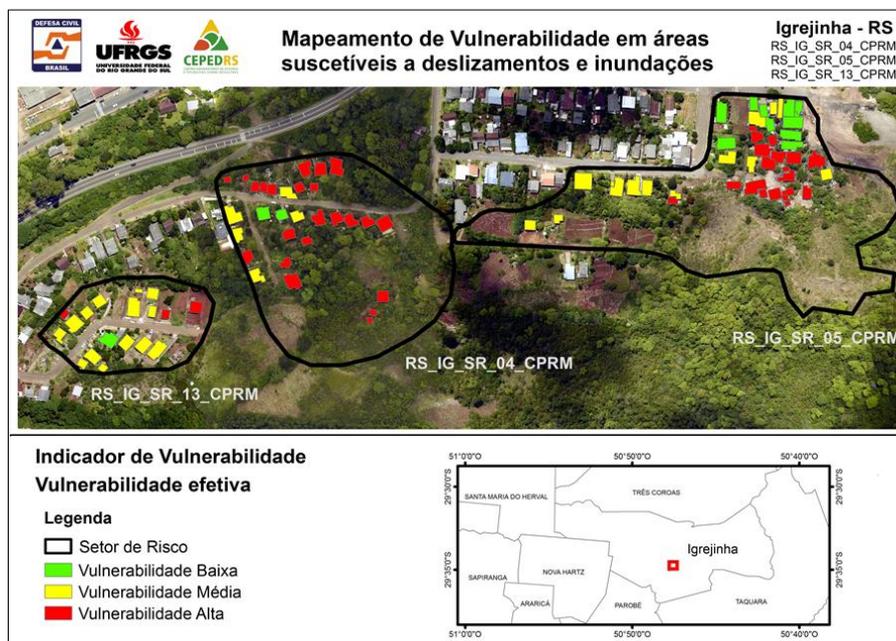


Figura 13: Mapa de Vulnerabilidade Efetiva

Fonte: CEPED-RS/UFRGS (2016b)

Roy e Blaschke (2013) realizaram um estudo em Bangladesh, sobre mapeamento de vulnerabilidade a inundações costeiras. Os autores elaboraram 44 indicadores, divididos em 12 dimensões diferentes. Como fonte de dados para avaliação da vulnerabilidade os autores utilizaram dados censitários provenientes da Agência de Estatística de Bangladesh e dados do Departamento de Engenharia. Também utilizaram imagens do satélite Landsat 7.

As fontes de dados utilizados pelos autores possuem escalas diferentes havendo a necessidade de compatibilização das informações utilizadas. Todas as fontes de dados foram reorganizadas para uma grade de 100x100m por meio de técnicas em ambiente

SIG. Desta forma, dados que possuíam resolução de 1km e 30m foram interpolados para grade anteriormente mencionada.

Roy e Blaschke (2013), diferentemente de CEPED-RS/UFRGS (2016b), solicitaram aos especialistas da área de desastres para julgar a importância de cada dimensão pelo método AHP. Em outras palavras, os autores não definiram a importância de cada dimensão. Consideraram o processo de escolha dos pesos muito pessoal e subjetivo. Desta forma pediram auxílio a outros pesquisadores para hierarquização das dimensões, que foi feita por média simples dos pesos atribuídos.

O método AHP possui uma escala que varia de 0 a 1 . A dimensão que recebeu maior peso nesta pesquisa foi a dimensão meio de subsistência e pobreza, seguido por habitação, infraestrutura das estradas, meio ambiente, saúde, água e saneamento, uso e cobertura da terra, alternativas econômicas, educação e por último gênero. Os pesos foram multiplicados por suas respectivas dimensões. Posteriormente todos os valores foram somados e classificados em 5 classes de vulnerabilidade. O resultado do mapeamento está presente na Figura 14.

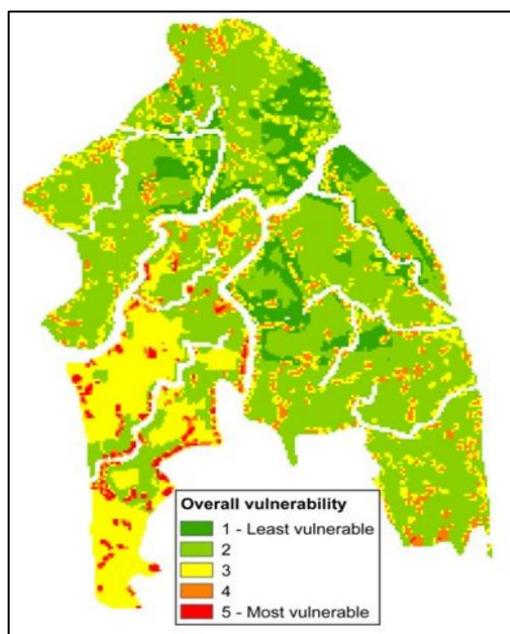


Figura 14: Resultados da avaliação de vulnerabilidade em Bangladesh.  
Fonte: Roy e Blaschke (2013).

Fazendo um breve comparativo entre as metodologias apresentadas podemos constatar diferenças importantes quanto a escala de trabalho e dados utilizados. O mapeamento apresentado por CEPED-RS/UFRGS (2016b), utilizou dados levantados em saídas de campo e avaliou cada edificação dentro de um setor de risco previamente

estabelecido. Enquanto Roy e Blaschke (2013) mapearam toda área costeira de Bangladesh. Utilizaram informações mais genéricas, havendo a necessidade compatibilizar as escalas para viabilizar o uso destes dados para mapeamento.

Goerl et al. (2012) e Silva (2013), utilizaram a escala de setor censitário que é um pouco mais refinada do que escala utilizada por Roy e Blaschke (2013). No entanto, ainda se tem um pouco de dificuldade em se localizar a população dentro do setor censitário, pois o IBGE utiliza a técnica coroplética.

A metodologia desenvolvida pelo CEPED-RS/UFRGS (2016b), é completa e bastante refinada, no entanto mostra-se onerosa devido à todo o trabalho de campo envolvido. O elevado número de indicadores pode generalizar o resultado e dificultar a interpretação dos mapas finais. No entanto os mapas dos IVs e sub-ives se tornam importantes diagnósticos da situação da população residente no setor de risco delimitado pela CPRM.

### 3 METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho consiste inicialmente na definição da escala para o mapeamento de vulnerabilidades. A etapa seguinte corresponde na definição das fontes de coleta de dados, que foram coletados e organizados com finalidade de se elaborar indicadores. A etapa seguinte foi a aplicação do método AHP com especialistas da área de desastres, para definição dos pesos de indicador e dimensão da vulnerabilidade. Por último foi realizado o cálculo dos indicadores e a geração dos mapas de vulnerabilidade à inundação em ambiente SIG. A Figura 15 mostra o fluxograma das etapas metodológicas desta dissertação.

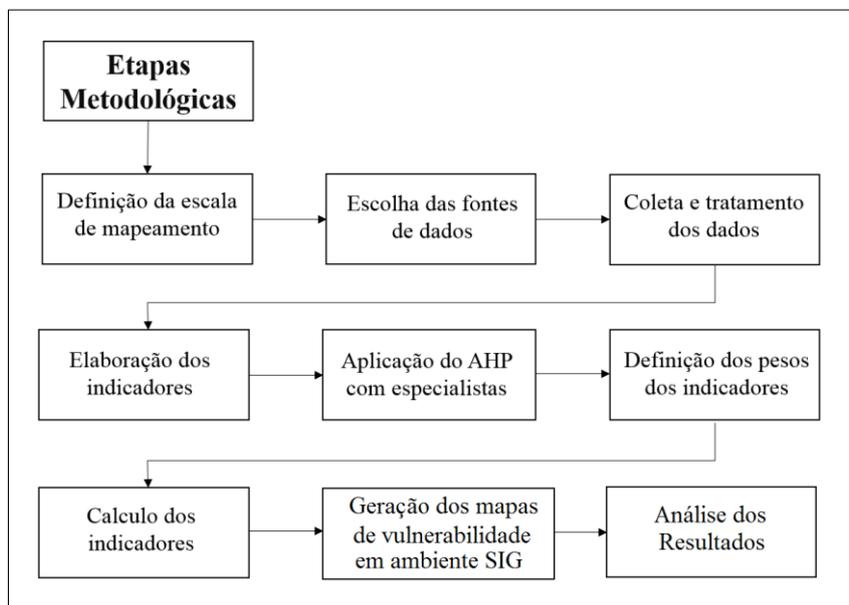


Figura 15: Fluxograma das etapas metodológicas.

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

O rio Paranhana é um dos principais afluentes do rio dos Sinos. As suas nascentes se localizam nos municípios de Canela e Gramado e possui uma área de 577,22 km<sup>2</sup>, com cerca de 65 mil habitantes (PRÓ-SINOS, 2014).

O município de Igrejinha localiza-se no baixo curso da bacia do rio Paranhana e sua extensão territorial é de 136 km<sup>2</sup>. Segundo o censo do IBGE de 2010, o município conta com uma população de 31.660 habitantes. Toda sua área urbana localiza-se na bacia do Paranhana, no entanto, 7% da sua área rural está localizada na bacia

hidrográfica do rio Caf (CEPED-RS/UFRGS, 2016). A Figura 16 mostra a localização de Igrejinha na bacia dos Sinos e Paranhana.

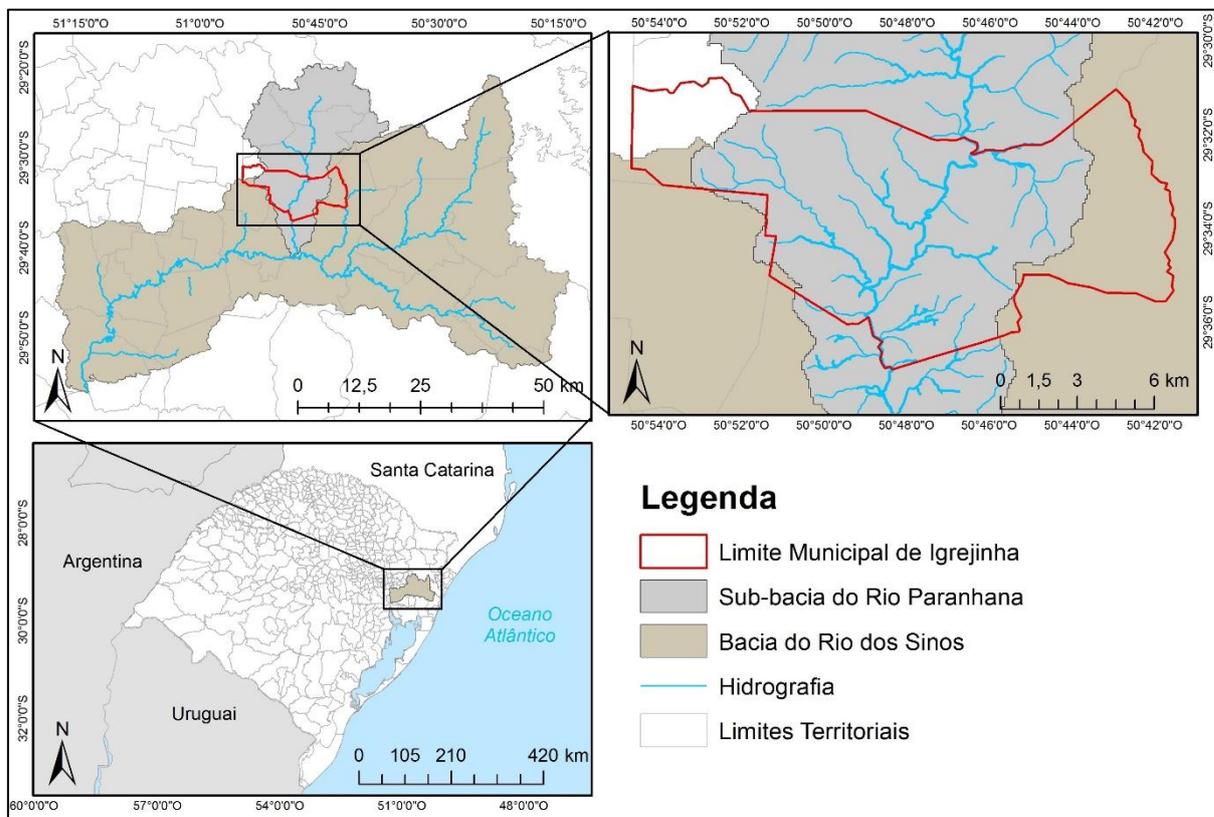


Figura 16: Localização da Área de Estudo. Fonte: Ramos et al. (2016a).

O rio Paranhana possui como afluentes na margem esquerda os arroios Kamph, Koetz, e Arroio Além. Na margem direita os afluentes são os arroios Renck, Voluntária, Nicolau, Solitária e Sanga Funda. A Figura 17 representa a hidrografia da parte considerada urbana do município de Igrejinha.

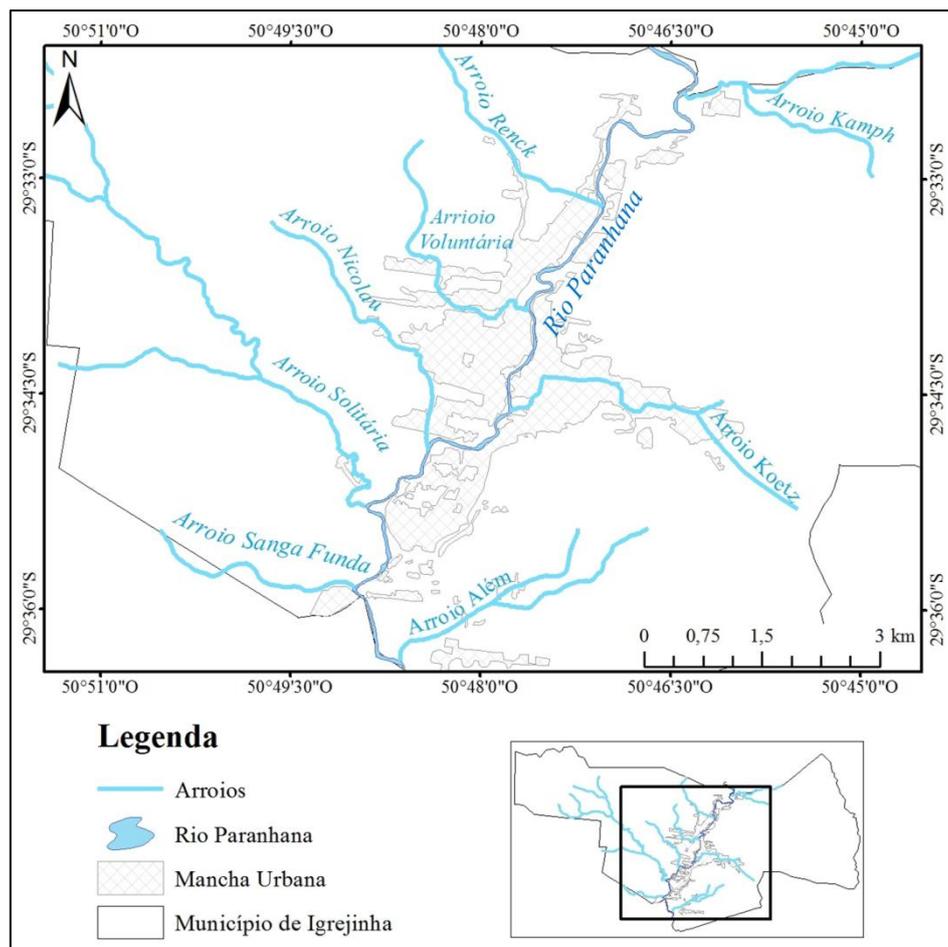


Figura 17: Hidrografia do Município de Igrejinha e mancha urbana.

O território do município de Igrejinha tem uma grande variação altimétrica (Figura 18). Na área urbana, existem locais com cerca de 20 m acima do nível mar, enquanto na área rural, a noroeste, as altitudes chegam a 770 m (BRESSANI, 2014).

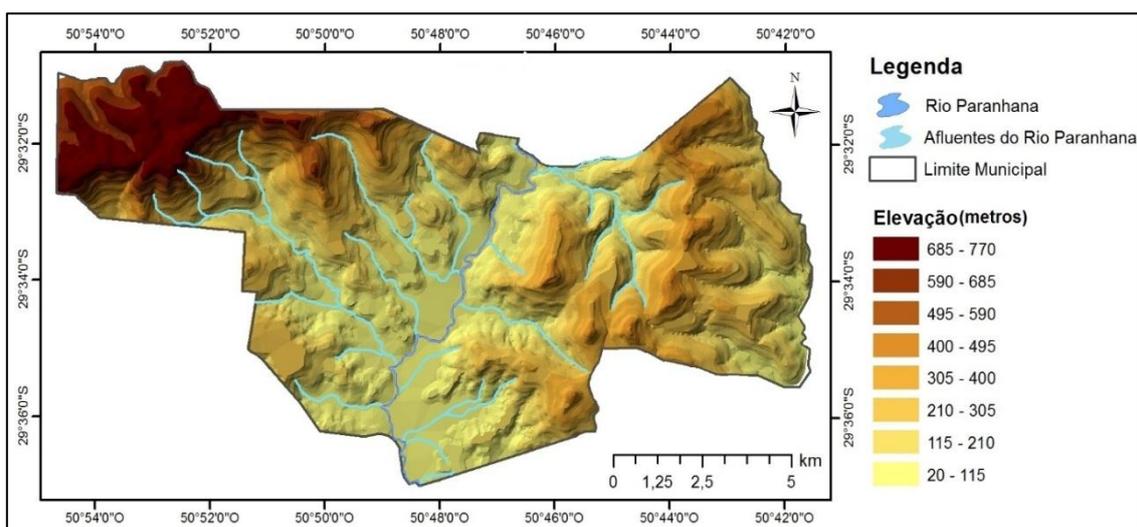


Figura 18: Mapa Hipsométrico do Município de Igrejinha.

São encontradas no município, Segundo o Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica (PMI, 2012), vegetação composta por remanescentes dos ecossistemas Floresta Ombrófila Mista (Mata de Araucária), Floresta Estacional Semidecidual Submontana e Floresta Estacional Semidecidual Submontana. No entanto, a vegetação original foi bastante devastada, devido a exploração de madeira e agricultura. O abandono das atividades agrícolas resultou, em algumas áreas, no crescimento de uma vegetação secundária. Desta forma a paisagem é formada por um mosaico de vegetação em diferentes estágios sucessão.

O município de Igrejinha, não apresenta Unidades de Conservação, sendo que alguns pontos das margens do rio Paranhana e seus afluentes, a vegetação é densa. Nos topos de morro, a vegetação também é bastante desenvolvida (PMI, 2012).

Em relação ao clima, segundo a classificação de Köppen, o município possui um clima subtropical úmido, com verão quente (Cfa). Ao norte da bacia do Paranhana, nas cotas mais elevadas, o clima é subtropical úmido, com verão temperado (Cfb).

Rossato (2011) classifica o clima da região como Subtropical IVb, que caracteriza-se por chuvas anuais bem distribuídas, variando de 130 à 150 dias de chuva por ano. Anualmente a temperatura média possui variação de 14 a 17°C, sendo que a temperatura média do mês mais quente pode variar de 17 a 23°C. A média do mês mais frio varia entre 8 e 14°C.

Em relação à precipitação, Brubacher et al. (2012) concluiu em sua pesquisa que a bacia hidrográfica do rio Paranhana possui precipitação anual de aproximadamente 1650 mm por ano. O mês mais chuvoso compreende o período entre os meses de junho e outubro. O mês que apresenta maior precipitação é setembro, com 166 mm. O período supracitado é marcado por chuvas frontais de longa duração, provenientes das octantes sul ou sudoeste. São consideradas típicas dos meses mais frios, enquanto nos meses mais quentes, de novembro a março, a precipitação é menor. Este período é marcado por chuvas localizadas e torrenciais, apresentando o acúmulo de precipitação em um curto período de tempo.

### 3.1.1 Caracterização das Inundações no Município de Igrejinha

Ramos et al. (2016a) realizaram um estudo cujo o objetivo era realizar o levantamento do número de inundações e enxurradas no município de Igrejinha. Para este estudo foram utilizadas diversas fontes, incluindo jornais locais e regionais.

Este levantamento resultou em 35 registros ao longo do período de 1982 até 2015. Os autores observaram que juntamente com as inundações do rio Paranhana, ocorrem enxurradas nos arroios. Desta forma, houve 14 eventos com estas características e 15 eventos em que foram registrados somente enxurradas dos arroios. Foram encontrados somente seis eventos com registros relacionados somente ao curso principal. Nota-se que o ano em que mais se obteve ocorrências foi 2013, com cinco registros, seguido pelos anos de 1996, 2001 e 2007 com três registros cada (Figura 19).

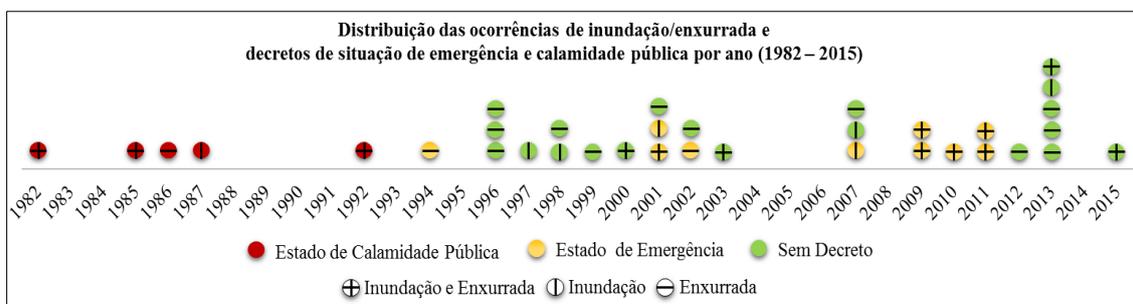


Figura 19: Distribuição das ocorrências no período de 1982 a 2015.

Fonte: Ramos et al. (2016a)

A maioria dos eventos relacionados ao rio Paranhana são caracterizadas como rápidos e destrutivos, no entanto a área de abrangência é ampla. Estas características se modificam de acordo com o regime de chuvas e sua distribuição na bacia do Paranhana.

O estudo de Guasselli et al. (2016) levanta a hipótese de que as ocorrências relativas ao rio Paranhana são inundações e a dos arroios são enxurradas. Por meio de modelagem hidrológica os autores mostraram as diferenças na dinâmica de escoamento entre os trechos relativos ao curso principal e seus afluentes. Deste modo, este estudo concluiu que existe um período curto entre o pico de chuva e o pico de vazão, nos trechos de contribuição do curso principal. No que se refere ao rio Paranhana, o tempo de escoamento é superior, assim como o tempo entre o pico da precipitação e o pico da vazão, propiciando uma elevação mais gradual do nível das águas.

Ramos et al. (2016) realizaram a distribuição dos eventos em relação aos meses do ano (Figura 20) relevou que os meses em que mais se apresentaram registros foram julho, agosto e novembro, com seis ocorrências. Desta forma cerca de 70 % das

ocorrências se concentram entre os meses de julho a novembro, período que corresponde à primavera e ao inverno.

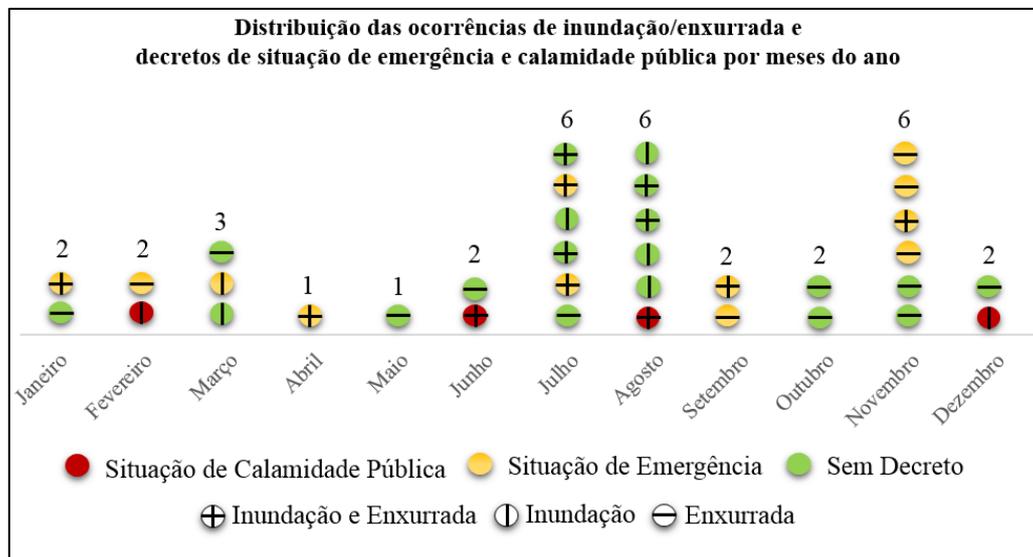


Figura 20: Distribuição das ocorrências nos meses do ano.

Fonte: Ramos et al. (2016b).

Além dos registros de inundação e enxurrada, os autores observaram que o município decretou quatro situações de calamidade pública e dez situações de emergência. Um município decreta situação de emergência quando um desastre requer auxílio complementar do estado ou da união para ações de socorro e recuperação. A situação de calamidade pública é decretada quando o município, em razão dos danos provocados por um desastre, necessita de auxílio direto para as ações de socorro e recuperação.

Como podemos observar na Figura 19, os decretos de situação de calamidade pública se concentram no período de 1982 até 1992, pode estar relacionado com a magnitude dos eventos e também com a capacidade e recursos do município em gerir e se recuperar do desastre. Segundo informações do Diagnóstico de Defesa Civil de Igrejinha (PMI, 2016), a inundação ocorrida em 1982 foi a maior que já se registrou no município. Isto é confirmado pela Secretaria de Planejamento e Meio Ambiente de Igrejinha, que utiliza as cotas desta inundação para dar diretrizes construtivas às edificações em áreas sujeitas ao processo. Figura xx mostra um mapa desta mancha de inundação.

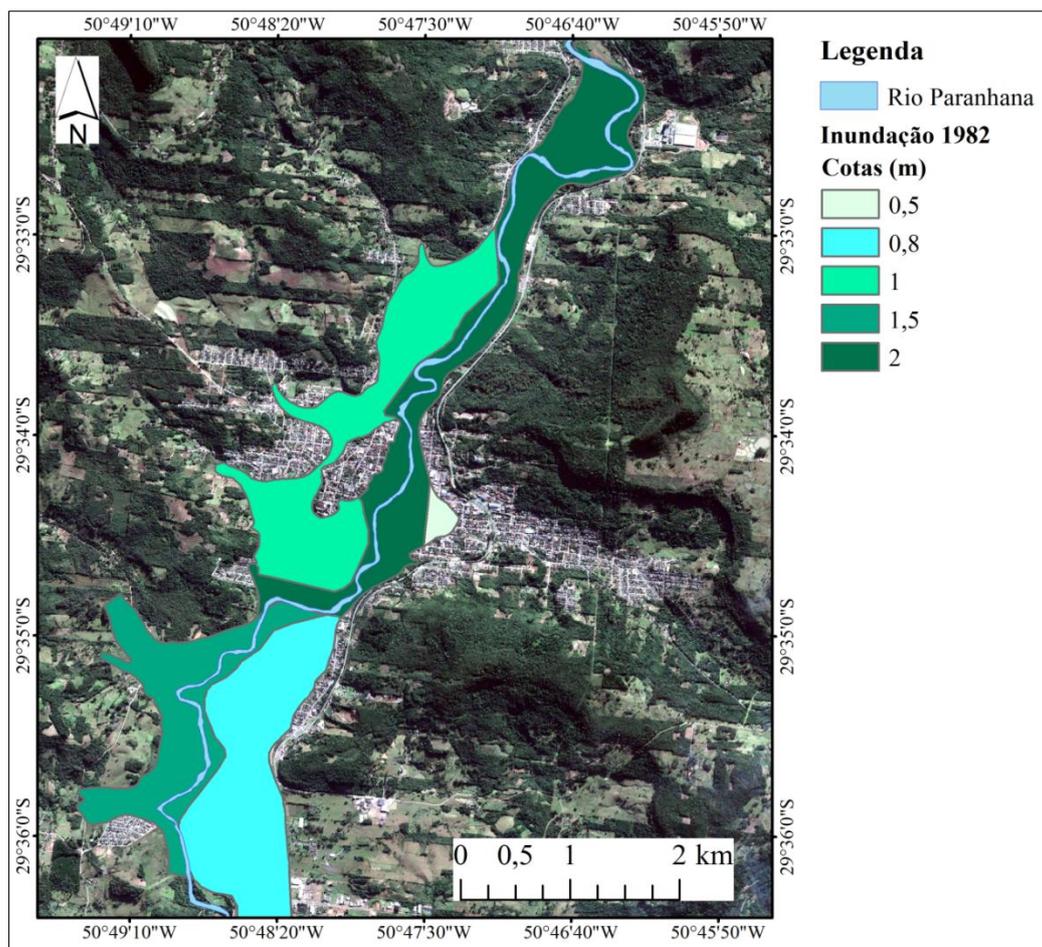


Figura 21: Cota de Enchente.

Fonte: Secretaria de Planejamento de Igrejinha

Ramos et al. (2016a) também realizaram a espacialização dos registros de ocorrência de inundação e enxurrada por bairro. Os autores levaram em consideração os dois tipos de eventos. A Figura 22 mostra a espacialização.

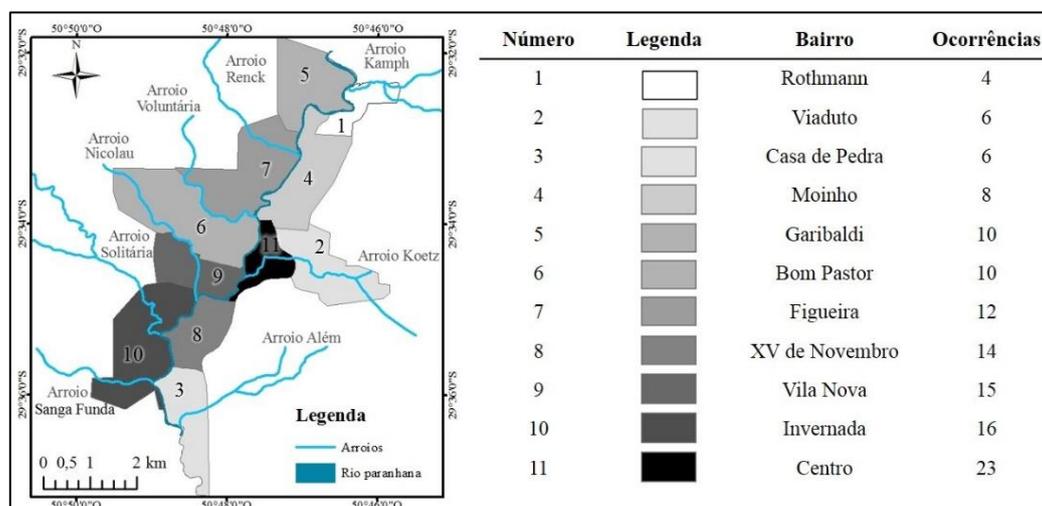


Figura 22: Distribuição dos registros de inundação ou enxurradas por bairros.

Fonte: Ramos et al. (2016a).

Demonstra-se na espacialização do número de ocorrências de inundação e enxurrada, que o bairro Centro possui o maior número de registros, seguido pelos bairros Invernada, Vila Nova e XV de Novembro. Segundo os autores, o bairro Centro é constantemente atingido pelas enxurradas do arroio Koetz, que representam cerca de 50% dos registros deste bairro. É importante destacar que quando ocorre uma inundação no rio Paranhana, praticamente todos os bairros são atingidos, pois a cidade se desenvolveu na planície de inundação, como foi elucidado pela pesquisa de Guasselli et al. (2016).

O Quadro 55 faz uma síntese das informações obtidas por Ramos et al. (2016b) nos jornais sobre os principais transtornos causados pelas inundações e enxurradas nos bairros.

Como mencionado anteriormente, o arroio Koetz é o curso hídrico que Ramos et al. (2016a) mais obteve registros de problemas com enxurradas. Segundo o estudo realizado por Guasselli et al. (2016), o pico de escoamento superficial ocorre quase que simultaneamente ao pico das chuvas. Isto ocorre por que a bacia deste arroio possui baixo tempo de concentração, com pequena área e grande desnível altimétrico do rio principal. Além disso, as enxurradas podem ser potencializadas pelas modificações realizadas na bacia e no curso hídrico.

Quadro 5: Principais transtornos causados pelas inundações e enxurradas em Igrejinha.

<b>Bairro</b>	<b>Nº ocorrências</b>	<b>Principais Transtornos</b>
Rothmann	4	Prejuízo em indústrias devido à perda de matéria prima e estoque.
Viaduto	6	Danos em residências e seu conteúdo.
Casa de Pedra	6	Danos em residências e em seu conteúdo. Danos na indústria pela perda de matéria prima e estoque.
Moinho	8	Danos em residências e seu conteúdo.
Garibaldi	10	Danos em residências e seu conteúdo. Danos em vias de acesso e infraestrutura urbana.
Bom Pastor	10	Asfalto danificado devido à enxurrada do arroio Voluntária. Danos em residências e seu conteúdo.
Figueira	12	Danos em residências e seu conteúdo.
XV de Novembro	14	Resgate de moradores residentes próximos às margens do rio Paranhana dificultado devido a correnteza. Danos em edificações e seu conteúdo. Residências próximas ao leito do rio destruídas pela correnteza.
Vila Nova	15	Resgate de famílias. Danos à residências, comercio e indústria. Resistência na remoção de moradores de

		seus domicílios devido à saques.
Invernada	16	Danos em residências e seu conteúdo. Destruição de uma ponte por inundação do rio Paranhana
Centro	23	Sede da prefeitura e secretarias municipais são atingidas pelas enxurradas do arroio Koetz e pela inundação do Paranhana. Destruição da sede dos bombeiros voluntários e transtornos no atendimento da população. Prejuízo no comércio e na indústria por perda de estoque e matéria prima. Situação agravada por sistema de drenagem insuficiente. Danos a infraestrutura urbana, edificações e seu conteúdo.

Fonte: Ramos et al. (2016a).

### 3.1.2 Estudos e Pesquisas realizadas no município de Igrejinha

As características geográficas do município de Igrejinha estão intimamente ligadas à ocorrência de inundações e movimentos de massa. São decorrentes de processos naturais e estão associados à forma do relevo, tipo de solo, hidrografia e regime de precipitação. Consideram-se também as formas de uso e ocupação do solo. Desta forma, grande parte da população de Igrejinha está sujeita a sofrer com os impactos das inundações, enxurradas e movimentos de massa (OLIVEIRA et al., 2013). Devido ao seu histórico, diversos estudos e pesquisas foram realizados no município no intuito de mapear a população vulnerável e processos perigosos que ocorrem.

Em 2012 foram selecionados 821 municípios prioritários para mapeamento, devido aos seus históricos relacionados aos desastres, entre os quais, o município de Igrejinha estava incluído. Desta forma, a Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais (CPRM), o Serviço Geológico do Brasil, realizou uma setorização de risco, que tinha como objetivo a delimitação e caracterização de áreas sujeitas aos processos de inundação, enxurrada e movimento de massa (CPRM, 2011). Estes esforços fazem parte do Plano Nacional de Gestão de Risco e Resposta a Desastres Naturais é coordenado pela Casa Civil da Presidência da República e executado por sete ministérios - incluindo o da Integração Nacional - com a participação dos estados e municípios (MP, 2012).

A CPRM mapeou cerca de 15 setores de risco, sendo que dez apresentavam somente movimento de massa e um, inundação. Os demais setores apresentavam os dois tipos de processo. A partir da setorização de risco realizada pela CPRM, o CEPED-RS/UFRGS (2016b), executou o projeto “Mapeamento de Vulnerabilidade em Áreas

Susceptíveis a Deslizamentos e Inundações”. A Figura XX mostra os setores de risco utilizados para o estudo.

A metodologia proposta nesse projeto foi estruturada em diversas etapas, que incluem atividades de sensibilização e mobilização da comunidade e na gestão pública, atividades com moradores nos setores de risco, atividades de campo, levantamento e espacialização de dados, entre outros.

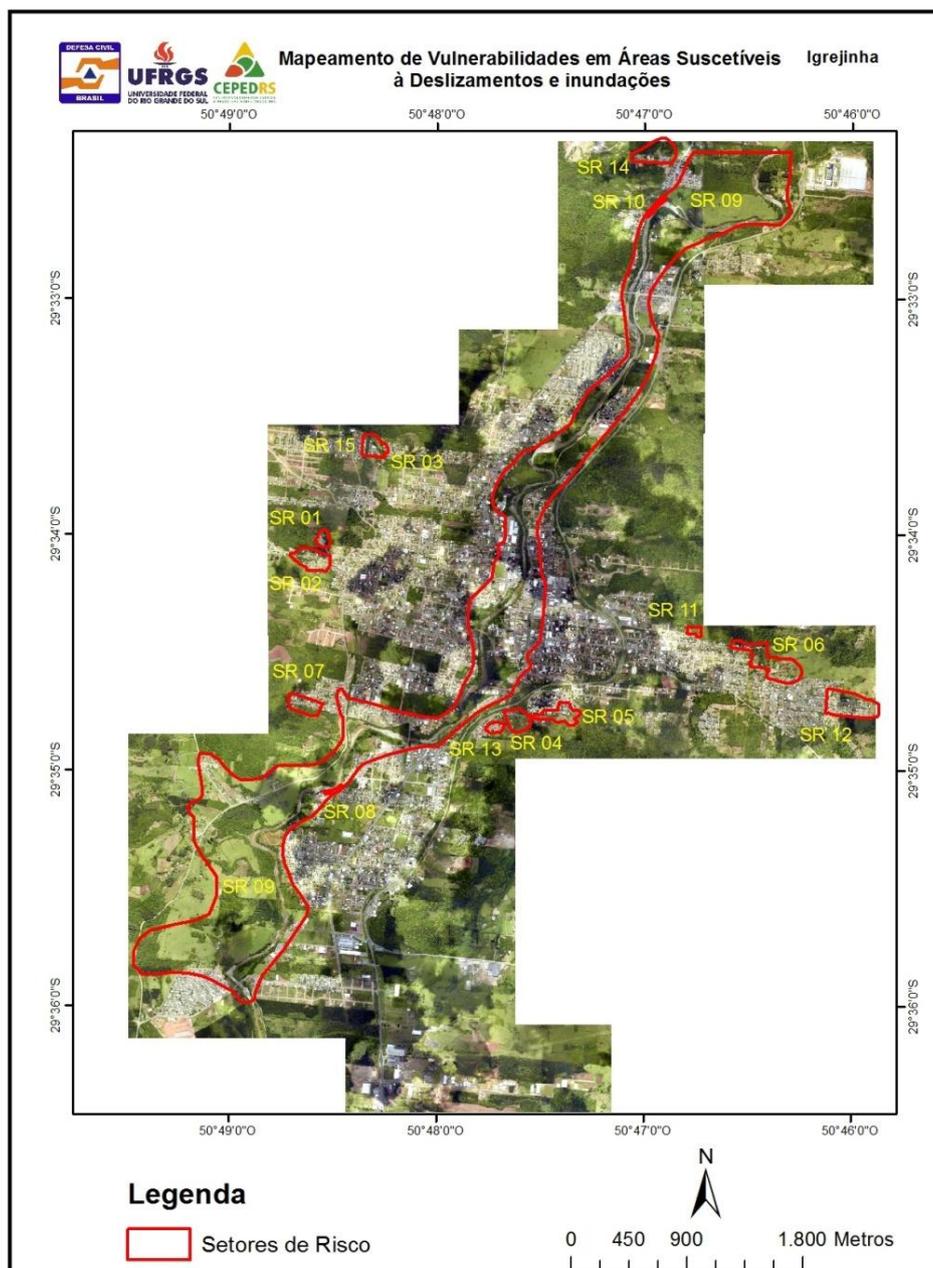


Figura 23: Setores de Risco do Projeto Mapeamento de Vulnerabilidade.  
Fonte: CEPED-RS/UFRGS (2016b).

Guasselli et al. (2016) realizaram um estudo que tinha como objetivo principal realizar a modelagem hidrológica aplicada a eventos extremos de precipitação e espacializar as áreas susceptíveis às inundações em Igrejinha, em diferentes tempos de retorno (TR). Entre os resultados desta pesquisa, os autores destacam o rápido escoamento das águas nos afluentes do rio Paranhana, características de enxurradas. No curso principal do rio o tempo de escoamento é maior, favorecendo o desenvolvimento de inundações graduais. A Figura 24 mostra a espacialização das ocorrências de inundações para diferentes tempos de retorno.

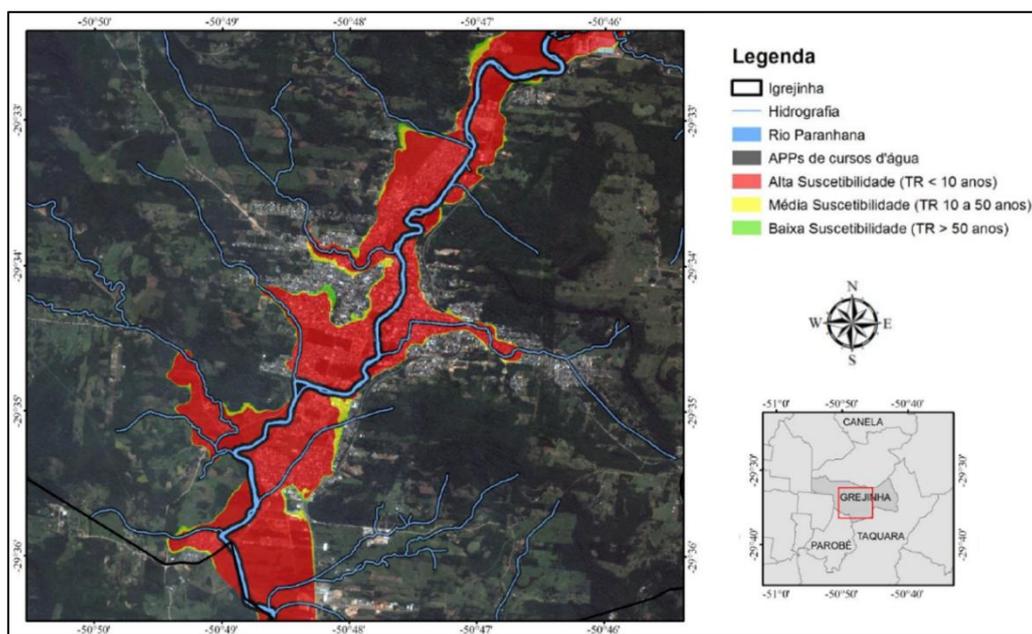


Figura 24: Espacialização das áreas susceptíveis às inundações em Igrejinha, RS, no vale do rio Paranhana. Fonte: Guasselli et al. (2016)

Os autores concluíram que área atingida por inundações em diferentes tempos de recorrência varia pouco (9,4%) entre eventos com TRs de 10 e 100. O que variou foi a vazão relacionada ao escoamento superficial que no evento com TR de 10 anos, o valor atingido era de 1.120 m<sup>3</sup>/s, enquanto em uma precipitação com TR de 100 anos, o valor obtido foi de 2.090 m<sup>3</sup>/s. Os autores ressaltam que isto ocorre devido às características do vale encaixado, onde se localiza o município.

Ramos et al. (2016c) realizaram um estudo sobre localização das instituições públicas dentro da área de abrangência de inundações. A mancha de inundação utilizada foi a 1982. A Figura 25 mostra os resultados.

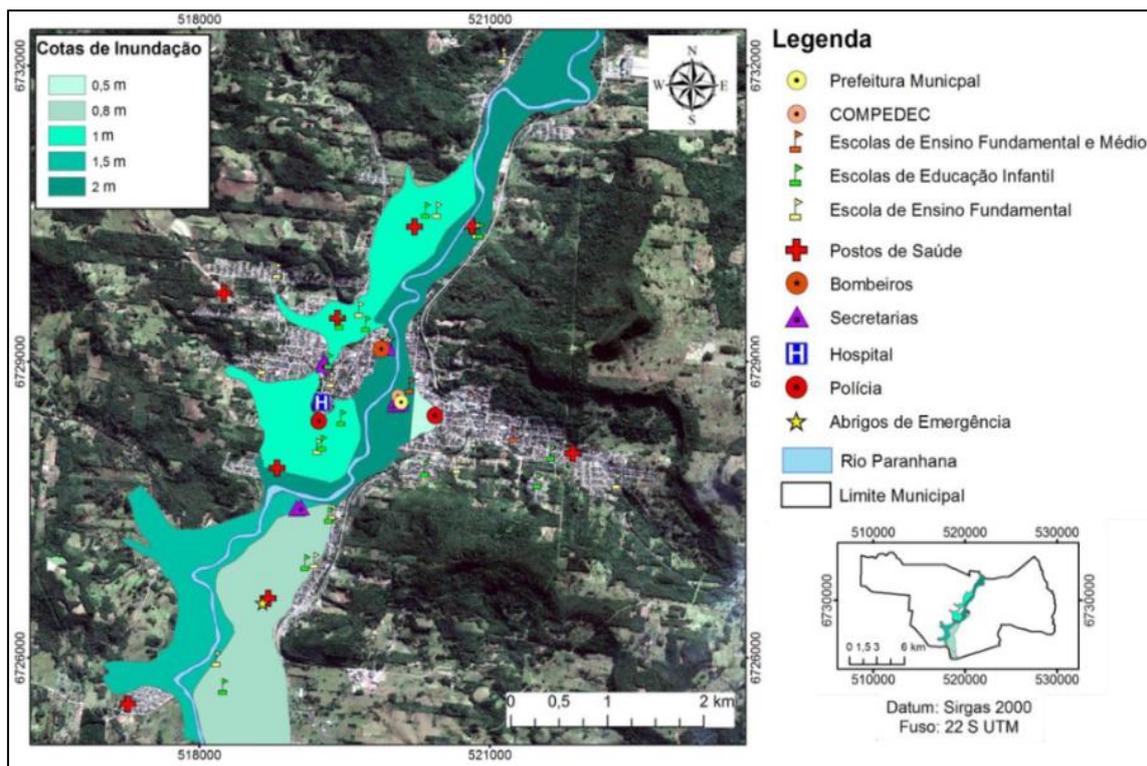


Figura 25: Mapeamento das instituições Públicas em Relação à área de abrangência à Inundações  
Fonte: Ramos et al. (2016c)

Observa-se que todas as secretarias municipais, inclusive a sede da prefeitura, estão localizadas sobre cotas de 1,0 a 2,0 m. Os órgãos de resposta imediata a desastres como os Bombeiros e Coordenadoria de Proteção e Defesa Civil estão localizados na cota de 2 m. Os dois locais utilizados como abrigo de emergência, estão em cotas 0,8 e 2,0m. Existem cerca de dez escolas de ensino infantil na mancha de inundação, sendo que seis estão na cota de 2,0 m.

Os autores concluíram que basicamente toda a cadeia de atendimento à população é afetada em caso de inundações. Isto acarreta significativamente o aumento da vulnerabilidade da população, podendo potencializar os efeitos de um desastre.

### 3.2 DETERMINAÇÃO DA UNIDADE DE ESTUDO PARA MAPEAMENTO DE VULNERABILIDADES

O mapeamento de vulnerabilidades à inundação inicialmente teria como unidade de estudo os setores censitários do IBGE. No entanto, observou-se que seu uso para o objetivo desta pesquisa, poderia trazer erros oriundos da distribuição da população dentro do setor e do território municipal.

A espacialização de dados dos censos do IBGE é realizada utilizando-se o método coroplético, que pressupõe que toda a população distribui-se de forma homogênea dentro dos polígonos do setor censitário, o que raramente ocorre. Deste modo, os dados agregados às zonas coropléticas podem produzir erros nos cálculos dos indicadores devido à suavização provocada por áreas não habitadas (DUTENKEFER, 2010; FRANÇA et al., 2014; SILVA et al., 2013). Desta forma, optou-se por utilizar um método alternativo denominado dasimétrico, que propõe uma espacialização mais realista da distribuição da população dentro do setor.

Neste sentido, o mapeamento de vulnerabilidades às inundações não foi realizado utilizando os limites do setor censitário e sim, agregando as informações do Censo de 2010 à mancha urbana dentro de cada setor suscetível ao processo de inundação dentro do setor censitário.

### 3.3 MATERIAIS UTILIZADOS PARA ELABORAÇÃO DOS INDICADORES DE VULNERABILIDADE

Os indicadores de vulnerabilidade desta pesquisa foram elaborados a partir de dados de diferentes fontes, sintetizadas no Quadro 6.

Quadro 6: Fonte dos dados utilizados.

<b>Dado</b>	<b>Tipo</b>	<b>Fonte/Ano</b>
Censo	Excel	IBGE, 2010
Malha digital censitária	Vetorial	IBGE, 2010
Imagem de satélite de Igrejinha	Raster	Google Earth
Mancha Urbana	Vetorial	Autor
Localização dos deficientes	Vetorial	CEPED-RS/UFRGS (2016b)
Mancha de Inundação, TR 100	Vetorial	GUASSELI et al. (2016)
Imagem do Levantamento aerofotogramétrico	Raster	IGREJINHA, 2013.

Alguns dados necessitaram de tratamentos específicos para que pudessem ficar compatível com os objetivos da pesquisa. Outros necessitaram ser elaborados, como é o caso da mancha urbana do município de Igrejinha. A seguir serão expostos os procedimentos e tratamentos realizados.

### 3.3.1 Dados do Censo Demográfico do IBGE e Malha Digital dos Setores Censitários

Os dados do IBGE utilizados correspondem ao censo de 2010 foram adquiridos em sítio eletrônico<sup>1</sup>, bem como a malha digital dos setores censitários<sup>2</sup>. Foram utilizados os dados dos questionários da amostra (IBGE, 2011). As informações dos setores censitários são distribuídas em 26 planilhas eletrônicas. Cada linha da planilha corresponde a um setor censitário, que é identificado por meio de um número de 15 dígitos e cada coluna corresponde a uma variável censitária. Nas tabelas as variáveis censitárias estão em códigos e suas legendas e outras informações podem ser encontradas em um documento disponibilizado no sítio eletrônico do IBGE<sup>3</sup>.

Primeiramente foi efetuada uma pesquisa bibliográfica sobre outros trabalhos que utilizaram as variáveis censitárias para elaboração de mapeamentos de vulnerabilidade com diversas finalidades. Posteriormente, foi feita uma leitura de todas as variáveis disponibilizadas pelo IBGE. Por último, com base nas pesquisas anteriores, foram selecionadas as variáveis que compõem os indicadores desta pesquisa. Os dados coletados para criação dos indicadores foram agrupados em uma única planilha eletrônica, para organizar e facilitar seu uso posterior.

Após a escolha das variáveis, foram selecionados os setores que seriam utilizados posteriormente e foram sobrepostos a mancha de inundação. O município de Igrejinha possui 88 setores, dos quais 39 estão dentro da área de abrangência a inundações e foram considerados na análise. Cada setor possui uma linha na tabela de atributos. A Figura 26 mostra os setores censitários utilizados neste estudo.

---

<sup>1</sup> Os dados dos setores censitários podem ser adquiridos por meio do endereço eletrônico: [http://downloads.ibge.gov.br/downloads\\_estatisticas.htm](http://downloads.ibge.gov.br/downloads_estatisticas.htm), na pasta “Censos”.

<sup>2</sup> A malha digital em formato *shape file* pode ser adquiridas através do endereço eletrônico: <http://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais.html>.

<sup>3</sup> Este documento é denominado de “ Base de informações do Censo Demográfico de 2010: Resultados do Universo por Setor Censitário”, disponível em: [http://downloads.ibge.gov.br/downloads\\_estatisticas.htm](http://downloads.ibge.gov.br/downloads_estatisticas.htm)

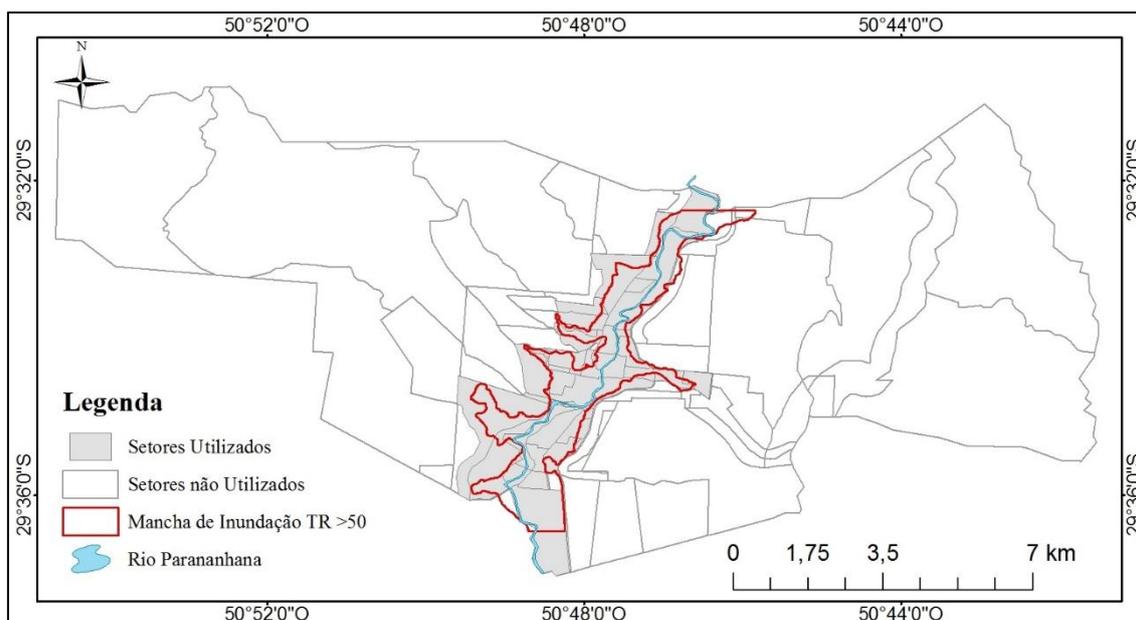


Figura 26: Setores Censitários Utilizados no Estudo.

### 3.3.2 Mancha de Inundação

A mancha de inundação utilizada está presente na pesquisa de Guasselli et al. (2016), a qual teve como objetivo realizar uma modelagem hidrológica para espacializar as áreas susceptíveis às inundações em Igrejinha. Foram geradas manchas de inundação para diversos tempos de retorno e no presente trabalho será utilizada a referente ao TR de 50 anos (Item 3.1.2, Figura 24). Optou-se por este tempo de retorno por que seria o pior cenário projetado para o município.

### 3.3.3 Mancha Urbana do Município de Igrejinha

A mancha urbana foi gerada por meio da vetorização das áreas de interesse, a partir de uma imagem de satélite de 2010 extraída do programa *Google Earth Pro*. A imagem foi importada para o ArcGis e posteriormente georreferenciada. Foram utilizados 15 pontos de controle distribuídos pela imagem, baseados em coordenadas obtidas no programa *Google Earth Pro*. Apesar do município de Igrejinha possuir imagens de um levantamento aerofotogramétrico de 2013, optou-se escolher uma imagem do mesmo ano em que o censo foi realizado.

Posteriormente, realizou-se análise visual para identificar as áreas de mancha urbana e por fim, foi aplicada a técnica de vetorização. Esta etapa é importante, pois

gera a informação auxiliar necessária para execução do mapeamento dasimétrico binário (FISCHER e LANGFORD, 1995).

### 3.4 INDICADORES DE VULNERABILIDADE

Como mencionado anteriormente, a vulnerabilidade é um indicativo de como as condições pré-existentes dos elementos expostos fazem com que eles sejam mais ou menos propensos a serem afetados por um processo perigoso. Deste modo, a vulnerabilidade foi estimada por meio de indicadores que refletem quantitativamente as condições do elemento estudado. Os indicadores foram elaborados de forma a refletir a vulnerabilidade da população em relação às inundações. Procurou-se abordar os aspectos demográficos, sociais e de infraestrutura e saneamento.

A partir do levantamento dos dados de ocorrência de inundação e da adaptação das metodologias das pesquisas de Goerl et al. (2012), Medeiros e Albuquerque (2014), Silva (2014), Schumann et al. (2015), CEPED/UFRGS (2016b) e outros, foram selecionados dez indicadores de vulnerabilidade, distribuídos em três dimensões, representados no diagrama da Figura 27.

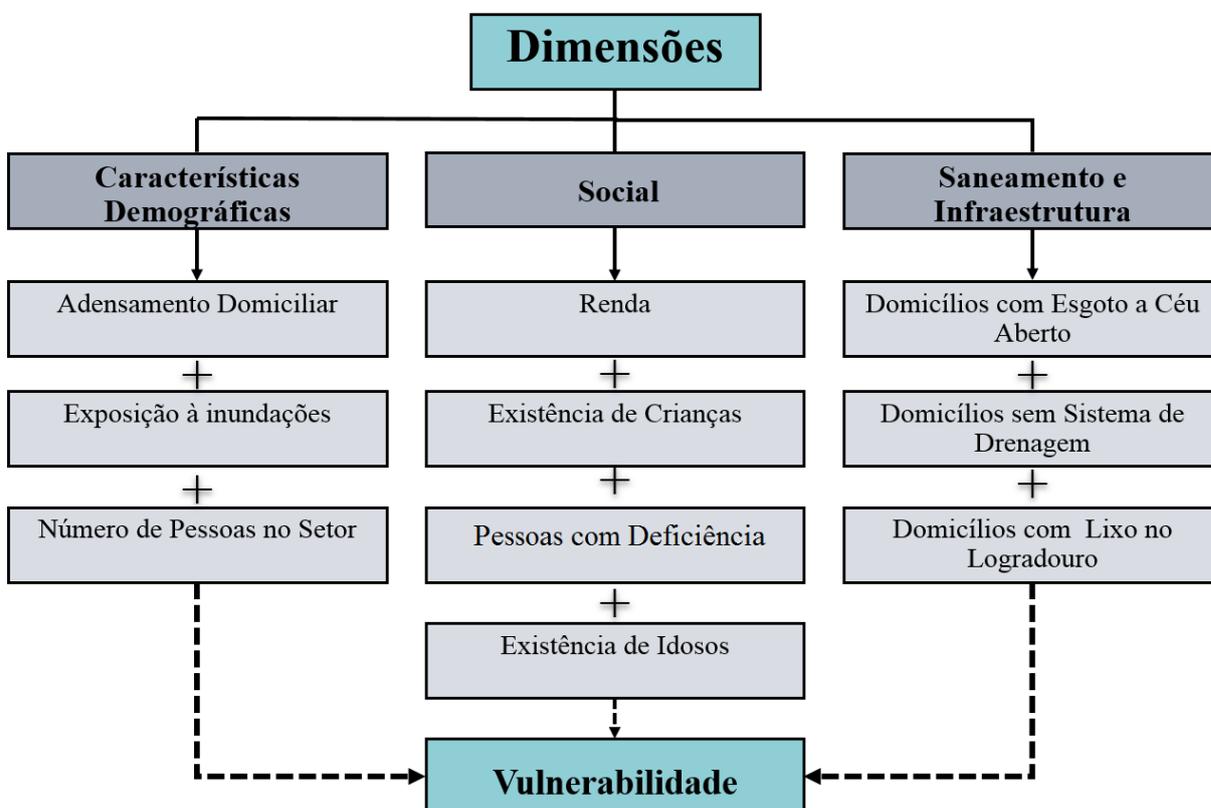


Figura 27: Dimensões e seus respectivos indicadores de vulnerabilidade às inundações.

Optou-se por utilizar o número absoluto dos dados em cada indicador, no entanto as referências consultadas utilizam porcentagem. Cita-se como exemplo o trabalho de Goerl et al. (2012), que utiliza a porcentagem de idosos e crianças em relação ao número total de moradores do setor censitário. Considerou-se mais representativo na presente pesquisa utilizar o número absoluto. A porcentagem suaviza o real valor do fenômeno no espaço.

Os autores supracitados também utilizam como indicador o número total de moradores do setor, por isso talvez se justifique a utilização de porcentagem. No entanto entende-se nesta pesquisa que o elevado número de pessoas, independentemente de suas características, pode acarretar também no aumento da vulnerabilidade. Supõe-se que a dificuldade de gestão em situação de desastre em uma área com um número maior de pessoas pode se elevar, em relação a um local com menor população.

As metodologias utilizadas como base nesta pesquisa, como a de Goerl et al. (2012) e Silva (2014), utilizaram as variáveis relacionadas à educação. Nesta pesquisa optou-se por não utilizar estas variáveis devido aos parâmetros utilizados pelo IBGE, que considera apenas se o indivíduo sabe ler ou não. Não são abordados aspectos sobre nível de escolaridade, que segundo CEPED-RS/UFRGS (2016), é um fator importante que está relacionado a maior capacidade de compreender as informações disseminadas nos meios de comunicação.

Assim, considerou-se necessária uma adaptação das metodologias originais, sendo que os indicadores da Dimensão Social e a Dimensão de Saneamento e Infraestrutura foram trabalhados inteiramente em valores absolutos. Os trabalhos consultados não trazem reflexões sobre estas diferentes formas de utilização dos dados, o que dificultou o processo de escolha de um em relação ao outro.

#### 3.4.1 Dimensão Características Demográficas

Esta dimensão foi criada no intuito de identificar a distribuição da população no território municipal e sua localização em relação à área de abrangência às inundações. Indica como a distribuição da população pode ocasionar o aumento da vulnerabilidade às inundações. Esta dimensão foi elaborada com o intuito de suavizar os erros produzidos pelo formato do setor censitário.

### 3.4.1.1 Adensamento Domiciliar

O Adensamento Domiciliar nesta pesquisa refere-se à quantidade de residências dentro da mancha urbana de um setor censitário. Este indicador busca localizar e avaliar o adensamento construtivo. No geral, quanto maior o adensamento, mais o assentamento se mostra informal. O adensamento construtivo pode ocasionar a impermeabilização do solo, contribuindo também para o agravamento das inundações (CEPED/UFRGS 2016a; OLIVEIRA et al. 2015).

Este indicador foi elaborado por meio dos dados do IBGE, do número de domicílios e também da mancha urbana de cada setor censitário. A partir da informação previamente obtida da área de mancha urbana para cada setor, foi o número de domicílios pela mancha urbana de cada setor.



Figura 28: Mancha urbana e setores censitários.

### 3.4.1.2 Exposição às inundações

O desenvolvimento da urbanização em locais suscetíveis ao processo de inundação, pode ocasionar o aumento dos impactos de um desastre, devido ao grau de exposição da população (IPCC, 2012). Neste contexto, o indicador Exposição às Inundações, mensura a área urbana dentro dos limites de um setor censitário que é diretamente afetada por uma inundação.

Apesar da utilização da técnica dasimétrica, que faz uma interpolação zonal dos dados do Censo, as informações do IBGE são distribuídas a nível de setor censitário.

Este indicador foi criado devido ao fato de que nem toda a população de um setor censitário está exposta à inundação. A Figura 29 ilustra os componentes deste indicador.

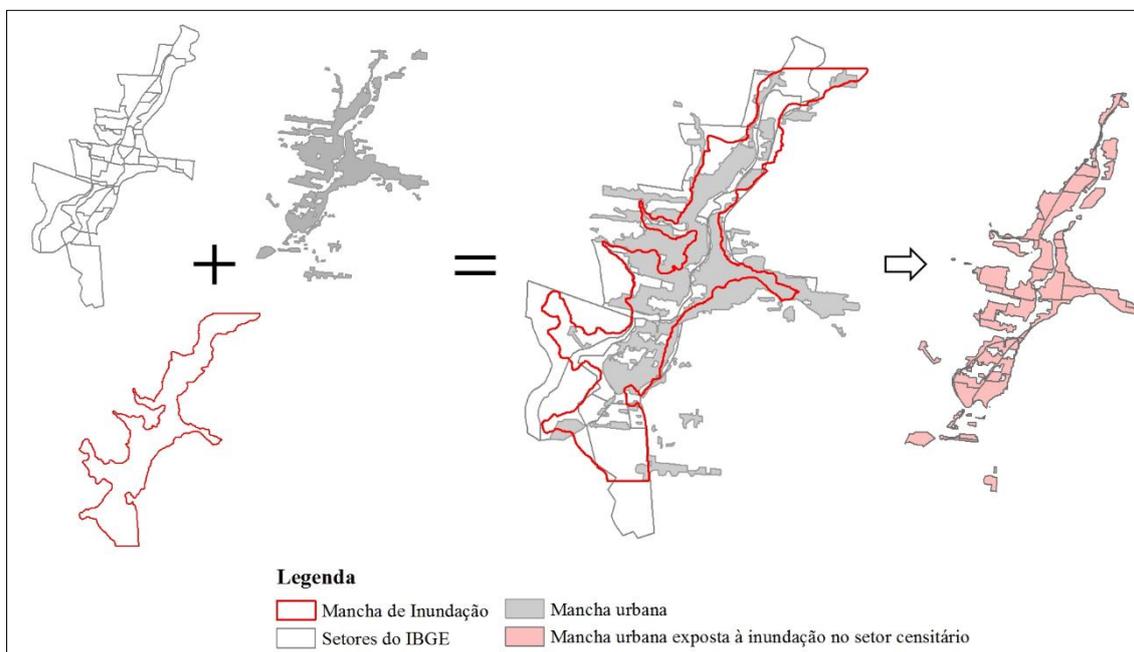


Figura 29: Componentes do Indicador Exposição à inundação.

Para a elaboração deste indicador primeiramente foi feita a sobreposição, em ambiente SIG dos arquivos em formato *shapefile* da mancha urbana, dos setores censitários. Por meio da ferramenta “Interseccionar” do programa ArcGis, foi obtido a área urbana dentro de cada setor estudado. Foi gerado um novo arquivo, no qual foi criado mais uma coluna na tabela de atributos, em que foi calculado em hectares o valor de mancha urbana para cada setor.

Posteriormente, a este arquivo foi sobreposta a mancha de inundação e novamente foi realizada a operação de intersecção, que gerou um novo arquivo. Neste novo *shapefile* foi criada mais uma coluna na tabela de atributos, em que foi calculada a área urbana dentro setor censitário exposta à inundação.

A ferramenta de intersecção preserva as informações da tabela de atributos de todos os arquivos *shapefile* interseccionados. Assim, foi possível exportar todas as informações para uma planilha eletrônica, onde foi calculado a porcentagem de mancha urbana exposta a inundações, em relação a mancha urbana dentro de cada setor censitário.

A utilização de porcentagem neste indicador se justifica pelo fato anteriormente mencionado de que somente uma parte da população está exposta à inundação no setor, fazendo-se necessário uma estimativa em relação ao total do que é exposto.

#### 3.4.1.3 Número de Residentes no Setor

Este indicador foi criado no intuito de avaliar a distribuição e concentração da população nas áreas susceptíveis ao processo de inundação. Quanto maior o número de pessoas, mais se torna difícil o gerenciamento, devido ao aumento da demanda de recursos para se atender as necessidades da população, durante a ocorrência de um desastre.

Este indicador foi elaborado por meio das variáveis censitárias do IBGE relacionadas ao número de moradores em domicílios particulares permanentes, contabilizando então, o número de residentes de cada setor. Atribuíu-se os valores à mancha urbana dentro de cada setor censitário.

#### 3.4.2 Dimensão Social

A Dimensão Social tem como objetivo avaliar aspectos intrínsecos da população que poderiam adversamente afetar a habilidade dos habitantes de se preparar ou responder a um perigo (CEPED/UFRGS 2016b; WARMINGTON, 1995). Deste modo, foram elaborados quatro indicadores que abordaram aspectos relacionados à renda, mobilidade e capacidade decisão.

##### 3.4.2.1 Renda

Este indicador foi criado com o intuito de avaliar a renda da população. Quanto maior o rendimento de uma família, mais recursos ela possui para lidar com o impacto das inundações, pois apresenta maior capacidade de recuperação socioeconômica (MAESTERSON, 2014).

As variáveis censitárias utilizadas para construção do indicador de renda foram selecionadas para se obter o número de famílias de baixa renda. Segundo o Decreto Federal nº 6.135 de 2007, que regula o acesso da população aos programas sociais do Governo Federal, são consideradas famílias de baixa renda aquelas com renda mensal

*per capita* de até 0,5 salários mínimos ou com rendimento familiar mensal de até três salários mínimos (BRASIL, 2007)

A renda familiar *per capita* é a razão entre a renda familiar mensal e o total de indivíduos na família. O salário mínimo em 2010 era de R\$ 510,00. Para este indicador foram utilizados os dados do IBGE de domicílios sem rendimento e também domicílios com rendimento nominal *per capita* de até 0,5 salários mínimos.

#### 3.4.2.2 Existência de Crianças

Este indicador foi criado com intuito de avaliar a distribuição de crianças até 12 anos, devido a possíveis restrições na mobilidade, falta de autonomia e capacidade de decisão, necessitando de auxílio para fuga, durante a ocorrência de uma inundação. A faixa etária deste estudo foi baseada no Estatuto da Criança e do Adolescente, que considera criança indivíduos até 12 anos, sendo totalmente dependentes de seus responsáveis (BRASIL, 1990). Este indicador é composto por dados do Censo do IBGE de 2010.

Segundo Collins (2012) a vulnerabilidade das crianças provém de suas características fisiológicas, sociais e do seu estágio de desenvolvimento. A dependência é um aspecto importante no que diz respeito a vulnerabilidade. Bebês e crianças pequenas dependem dos seus cuidadores em suas necessidades básicas como alimentação e abrigo, bem como outras funções de sobrevivência.

#### 3.4.2.3 Existência de Pessoas com Deficiência (PCD)

Segundo Ramsbottom et al. (2003) indivíduos com restrições nas atividades diárias por deficiência ou doenças crônicas são vulneráveis por que são impedidos de proteger-se e aos seus bens durante a ocorrência de um desastre. A presença de um membro da família com deficiência exerce pressão sobre a organização familiar e a recuperação das propriedades pode levar mais tempo.

Desta forma, utilizou-se um indicador que tem como objetivo avaliar a distribuição de Pessoas com Deficiência (PCD). Além da dificuldade de mobilidade, os PCDs podem necessitar de auxílio ou resgate específico para fuga em caso de inundação. É importante destacar que segundo o Decreto nº 186, de 09 de julho de

2008, são considerados pessoas com deficiência as que possuem “impedimentos de longo prazo de natureza física, mental, intelectual ou sensorial”.

A localização dos PCDs foi adquirida por meio da pesquisa realizada pelo CEPED-RS/UFRGS (2016b). O dado disponibilizado é um arquivo digital em formato *shapefile* de pontos. Cada ponto representa o endereço de algum PCD.

Para elaboração deste indicador foi necessária a sobreposição, no programa SIG ArcGis 10.3 do *shapefile* de pontos com a mancha urbana exposta a inundações. Foram selecionados somente os PCDs na área suscetível ao processo. Foi utilizado o número absoluto de PCDs por setor.

#### 3.4.2.4 Existência de Idosos

Este indicador busca avaliar a distribuição de idosos, devido à possível dificuldade de mobilidade, e capacidade de decisão, necessitando de ajuda durante a ocorrência de uma inundação. Podem necessitar de tipos específicos de auxílio no pós-desastre. (WISNER, 2004; NGO, 2001). são considerados idosos neste estudo pessoas acima de 60 anos, como é definido pelo Estatuto do Idoso. Este indicador foi elaborado utilizando os dados do Censo do IBGE de 2010.

Segundo Adams et al. (2011) a população idosa interage de forma diferente em relação aos desastres. Os autores relatam que a maior mortalidade durante e imediatamente após o furacão Katrina, estava entre idosos. A alta taxa de mortalidade pode estar relacionada a diversos fatores, como as enfermidades que dificultaram ou inviabilizaram a evacuação população. Dependendo do tipo de debilidade que o idoso possui, pode necessitar de diferentes tipos de recursos para salvamento e também nos abrigos de emergência. Os autores citam como exemplo que muitos idosos morreram por falta de tratamento e acesso à medicação para doenças crônicas, como diabetes, hipertensão e asma.

Deste modo, podemos observar que a população idosa necessita de auxílios diferentes durante as fases de resposta e recuperação de um desastre. Adams et al (2011) ressaltam que os efeitos de um desastre varia durante os anos subsequentes a ocorrência do evento. A idade desempenha um papel fundamental neste contexto. A recuperação da comunidade idosa ocorre à longo prazo, exigindo uma resposta contínua.

### 3.4.3 Dimensão Saneamento e Infraestrutura

Esta dimensão foi criada com intuito de avaliar aspectos relacionados a infraestrutura e saneamento do setor censitário, que podem aumentar diretamente ou indiretamente os impactos de uma inundação.

Os sistemas de saneamento básico que inclui a drenagem, coleta adequada de resíduos sólidos e esgoto, contribuem para melhoria da qualidade ambiental nas áreas urbanas. A ausência destes serviços pode impactar a população negativamente devido à contaminação do solo e de recursos hídricos, doenças de veiculação hídrica e potencialização dos impactos das inundações (OLIVEIRA et al., 2015)

A partir de dados do entorno do censo demográfico do IBGE, foram criados três indicadores que abordam aspectos relacionados a acúmulo de lixo, esgoto a céu aberto e existência de sistema de drenagem.

#### 3.4.3.1 Domicílios com Esgoto a Céu Aberto

Os locais sem rede adequada de esgoto podem favorecer o surgimento de doenças de veiculação hídrica. Ocorrem devido à exposição da população com a água das inundações contaminada com dejetos humanos descartados inadequadamente (RIGHETTO, 2009).

Optou-se então pela utilização do indicador Domicílios com Esgoto a Céu Aberto. A elaboração deste indicador foi feita a partir das variáveis censitárias do IBGE de domicílios particulares permanentes próprios, alugados e cedidos, com a presença de esgoto a céu aberto na face ou na sua face confrontante. O IBGE considera a existência de vala, córrego ou corpo d'água, onde habitualmente ocorria o lançamento de esgoto doméstico. Também considera valeta por onde escorria, na superfície o esgoto a céu aberto (IBGE, 2011).

#### 3.4.3.2 Domicílios sem Sistema Adequado de Drenagem

As inundações são fenômenos naturais, no entanto podem ser agravados devido a fatores antrópicos. O processo de urbanização pode ocasionar a impermeabilização das superfícies, o que propicia o aumento das vazões. Um sistema de drenagem ineficiente pode vir a colaborar com a rápida elevação das cotas de inundação (TUCCI,

2008). Deste modo, a inexistência de um sistema de drenagem pode acarretar no aumento da vulnerabilidade de uma determinada população.

Assim, optou-se por utilizar o indicador de Domicílios sem Sistema Adequado de Drenagem. Para a sua criação foram utilizados dados do entorno censo do IBGE referente domicílios particulares permanentes, próprios, alugados e cedidos, que não possuem Boca-de-lobo ou bueiro, na face do domicílio ou na face confrontante.

#### 3.4.3.3 Domicílios Com Lixo no Logradouro

O lixo descartado inadequadamente nas ruas pode causar a obstrução e entupimento do sistema de drenagem, o que ocasiona a rápida elevação das cotas de inundação. Estes resíduos também podem causar efeitos em longo prazo com a proliferação de vetores e doenças de veiculação hídrica nos indivíduos expostos. (TUCCI, 2008).

Desta forma elaborou-se um indicador para avaliar a existência de lixo nos logradouros. Para este indicador utilizou-se as informações do censo do IBGE de 2010, sobre o número de domicílios particulares permanentes próprios, alugados e cedidos, com acúmulo de lixo na face ou na sua confrontante.

### 3.5 CÁLCULO DE VULNERABILIDADE

O cálculo de vulnerabilidade foi realizado por meio dos indicadores elaborados, agregando as informações à área de mancha urbana de cada setor censitário. Quando maior o valor do indicador, mais vulnerável tende a ser a população de um determinado local.

Os dados utilizados para criação dos indicadores possuem unidades de medidas diferentes, sendo necessário a sua padronização. Para este procedimento foi adotada a metodologia utilizada por Buzai (2014), IPEA (2015) e Marcelino et al. (2006) *apud* Goerl et al. (2012). Cada indicador foi escalonado com valores de 0 (menor vulnerabilidade) a 1 (maior vulnerabilidade). A padronização é necessária devido às diferentes unidades de medidas e é obtida pela Equação 4 apresentada a seguir:

$$V_{\text{escalonado}} = \frac{V_{\text{observado}} - V_{\text{mínimo}}}{V_{\text{máximo}} - V_{\text{mínimo}}} \quad (4)$$

### 3.5.1 Definição de Pesos pelo Método AHP

Assume-se nesta pesquisa que as dimensões e seus respectivos indicadores não possuem a mesma importância, no que se refere à vulnerabilidade. Desta forma, foram estabelecidos pesos pelos quais os dados padronizados foram multiplicados.

Para diminuir a subjetividade inerente ao processo de escolha dos pesos, foi utilizado o método *Analytic Hierarchy Process* (AHP), desenvolvido por Tomas L. Saaty no início da década de 70. É um método multicritério e tem como objetivo auxiliar na tomada de decisões coletivas ou individuais. A sua principal característica é decomposição hierárquica do problema para criação de uma hierarquia de critérios, convertendo avaliações subjetivas de importância relativa em um conjunto de pontuações (SAATY, 1991 *apud* ROSSONI, 2011).

Nesta técnica os indicadores de vulnerabilidade foram comparados uns aos outros, sempre dois a dois, por meio de uma escala pré-definida. A escala é ilustrada Figura 30.

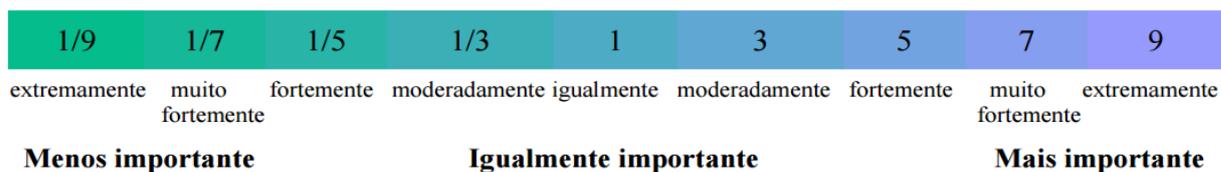


Figura 30: Escala de intensidade de importância relativa entre os fatores.

Fonte: (adaptado de EASTMAN, 2009 *apud* BRITO, 2014).

Observa-se na Figura 30 que a escala varia de 1/9 a 9, sendo que 1/9 significa que um indicador é extremamente menos importante em relação a outro, 1 significa que os dois possuem a mesma relevância, e 9 significa extrema relevância de um indicador sobre o outro.

Após o julgamento da importância relativa entre os indicadores, elaborou-se uma matriz de comparação pareada, como demonstra a Tabela 1

Tabela 1: Matriz de Comparação Pareada

Indicador de Vulnerabilidade	IV1	IV2	IV3	IV4	IV5
IV1	1				
IV2	1/3	1			
IV3	1	5	1		
IV4	1/7	3	1/7	1	
IV5	1/2	2	1/2	1/3	1

Fonte: Brito (2014).

Os elementos da Tabela 1 mostram os pesos atribuídos na comparação entre cada par de indicadores. Cada valor representa a importância do critério da linha em relação ao critério da coluna. Por exemplo, o IV4 foi considerado moderadamente mais importante que o IV2.

Após o preenchimento da matriz, o peso de cada um dos fatores foi calculado a partir de um autovetor principal da matriz, demonstrado na Equação 5. Os problemas de autovetor e autovalor, devido a sua complexidade, são resolvidos mais facilmente por meio de matemática computacional.

O valor do autovetor pode ser obtido a partir da soma dos valores de cada coluna da matriz, seguida pela divisão de cada elemento da matriz pelo somatório da coluna a que pertence, obtendo-se assim a matriz de comparação par a par normalizada. Posteriormente realiza-se a divisão do somatório dos valores de cada linha da matriz normalizada pelo número de fatores avaliados, obtendo-se o peso de cada indicador (SAATY, 1980 *apud* BRITO, 2014).

$$Aw = \lambda_{m\acute{a}x} \quad (5)$$

Em que:  $A$  é a matriz de comparação par a par;  $w$  é o vetor de pesos pretendidos; e  $\lambda_{m\acute{a}x}$  é o máximo de autovalor da matriz  $A$ .

A etapa final do método AHP é a determinação do grau de consistência *Consistency Ratio* (CR), obtido pela Equação 5. O resultado desta razão mostra a probabilidade dos valores da matriz terem sido gerados aleatoriamente. Resultados

próximos de 0, são considerados coerentes enquanto resultados acima de 0,10, ou seja, 10% de inconsistência, é necessário refazer os julgamentos para minimizar a inconsistência (SAATY, 1980 *apud* BRITO, 2014).

$$CR = \frac{CI}{RI} < 0,1 = 10\% \quad (6)$$

Em que:  $CR$  é o grau de consistência;  $CI$  é o índice de consistência; e  $RI$  é o índice de aleatoriedade.

O índice de consistência ( $CI$ ) é obtido por meio da Equação 6. O Índice de aleatoriedade ( $RI$ ) é obtido por meio do número de fatores utilizados, como demonstra a Tabela 2

$$CI = \frac{\lambda_{máx} - n}{n - 1} \quad (7)$$

Em que:  $n$  é o número de critérios utilizados;  $\lambda_{máx}$  é o máximo de autovalor da matriz.

Tabela 2: Índice de aleatoriedade ( $RI$ ) conforme o número de fatores ( $n$ ) utilizados.

<b>n</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>RI</b>	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fonte: Adaptado de Saaty (1980) *apud* Brito (2014).

Após a determinação dos pesos de cada matriz, é realizada uma média de todos os pesos gerados por cada matriz. Foram determinados pesos para cada indicador, dentro de cada dimensão isoladamente. Posteriormente foram atribuídos pesos para cada dimensão.

### 3.5.2 Elaboração e Aplicação do Questionário AHP

Os pesos de cada dimensão e seus respectivos indicadores foram atribuídos por pesquisadores do Grupo de Gestão de Riscos e Desastres (GRID-UFRGS) e outros especialistas na área de desastres. O questionário também foi aplicado com os membros da Oficina Regional Permanente de Proteção e Defesa Civil.

Para aplicação inicial dos questionários foi realizado primeiramente uma oficina experimental em agosto de 2016 (Figura 31), com o GRID. Para a determinação dos pesos, foi aplicado um questionário em uma planilha eletrônica no programa Excel. Esta planilha continha perguntas que induzia o entrevistado a julgar a importância de cada indicador por pares, dentro de suas respectivas dimensões, e posteriormente as dimensões, de acordo com a metodologia AHP. Além da aplicação dos questionários, foram realizadas discussões sobre os indicadores de vulnerabilidade e os conceitos envolvidos.

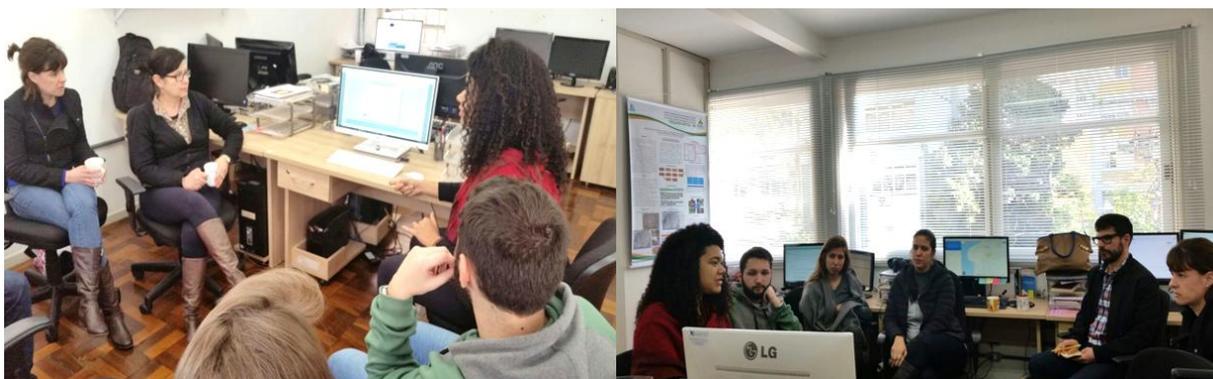


Figura 31: Oficina experimental para aplicação do AHP.

A segunda oficina para aplicação dos questionários, em agosto de 2016 (Figura 32), foi realizada com a Oficina Regional de Defesa Civil do Vale do Paranhana, Região das Hortênsias e Alto Sinos. Este grupo é formado por coordenadores e demais funcionários da Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil dos municípios de Igrejinha, Taquara, Parobé, Rolante, Gramado, Canela, Caraá, Riozinho e Santo Antônio da Patrulha. Tem como objetivo principal a capacitação contínua dos seus integrantes. Além dos questionários, foram discutidos diversos aspectos sobre os indicadores utilizados, que serão expostos nos resultados deste trabalho.



Figura 32: Reunião com a Oficina Regional Permanente de Proteção e Defesa Civil.

Especula-se nesta pesquisa que os indicadores de vulnerabilidade se relacionam entre si de formas diferentes dependendo da fase do desastre. Durante a ocorrência de um desastre, fase denominada de resposta, acredita-se que alguns indicadores se tornam mais ou menos importantes do que a fase de pós-desastre, denominada recuperação.

Esta hipótese surgiu durante a aplicação dos primeiros questionários, pois ocorreram muitos conflitos nas respostas e indagações. Alguns especialistas atribuíram pesos pensando somente no momento do desastre, em que a população necessita fugir ou salvar seus pertences. Outros especialistas pensaram no momento pós-desastre, fase do momento de Recuperação de habitações e da infraestrutura urbana. Deste modo solicitou-se que os entrevistados respondessem o questionário duas vezes, uma pensando exclusivamente na fase de resposta e outro pensando somente na fase de Recuperação.

Os demais especialistas e pesquisadores selecionados para esta pesquisa foram contatados via e-mail, em que foi anexado o questionário. As respostas foram organizadas e posteriormente transferidas para uma calculadora AHP, disponível no sítio eletrônico da *Business Performance Management Singapore* (BPMSG). O valor dos pesos poderia ser calculado na própria planilha eletrônica Excel, mas devido às limitações existentes no programa observou-se a necessidade de se utilizar um programa desenvolvido para tal finalidade.

Foram atribuídos dois pesos distintos para cada indicador e dimensão, um para fase de resposta e outro para Recuperação. Os pesos finais foram feitos através de média simples dos pesos atribuídos pelos especialistas.

### 3.6 CÁLCULO DOS INDICADORES E ELABORAÇÃO DOS MAPAS EM AMBIENTE SIG

O cálculo de vulnerabilidade é realizado inicialmente multiplicando o indicador pelo seu peso (Equação 8). Depois é realizado o somatório desta multiplicação dos indicadores, para se chegar à vulnerabilidade referente a uma dimensão (Equação 9). Por fim soma-se o resultado da multiplicação de cada dimensão, por seus respectivos pesos, para estabelecer o valor final de vulnerabilidade às inundações (Equação 10).

$$VI = IV \times Pi \quad (8)$$

Em que:  $VI$  é o vulnerabilidade do indicador,  $IV$  é o valor do indicador e  $P_i$  é o peso do indicador

$$VD = \sum V_i \quad (9)$$

Em que:  $VD$  é o valor da vulnerabilidade da dimensão e o  $V_i$  é o indicador, já multiplicado pelo seu peso

$$VF = \sum VD \times PD \quad (10)$$

Em que:  $VF$  é a Vulnerabilidade Final,  $VD$  é o valor da dimensão e  $PD$  é o peso da dimensão.

A maioria dos estudos de vulnerabilidade, que utilizam as variáveis censitárias do IBGE, não demonstram as etapas realizadas em ambiente SIG. Desta forma esta pesquisa optou por testar duas metodologias para tal finalidade.

A primeira metodologia testada foi a de álgebra de mapas em ambiente SIG. Neste método realiza-se as operações sobre uma ou mais camadas de informação, resultando em uma nova camada de dados, por meio da aplicação de expressões matemáticas, em ferramentas do programa SIG (TOMLIN, 1990).

Primeiramente reuniu-se todos os valores dos indicadores, sem sua multiplicação pelos pesos, em planilha eletrônica, adicionando-a ao ambiente do programa SIG. Posteriormente foi adicionado o arquivo *shapefile* com as manchas urbanas de cada setor censitário, realizando a operação de “ligar”. Esta operação permite que, por meio de uma coluna com informações em comum, se agregue informações da planilha eletrônica, na tabela de atributos do arquivo *shapefile*. Desta forma, os valores de cada indicador de vulnerabilidade foram agregados às áreas de mancha urbana de cada setor censitário. Cada polígono possui uma linha na tabela de atributos, contendo valor específico daquele indicador (Figura 33).

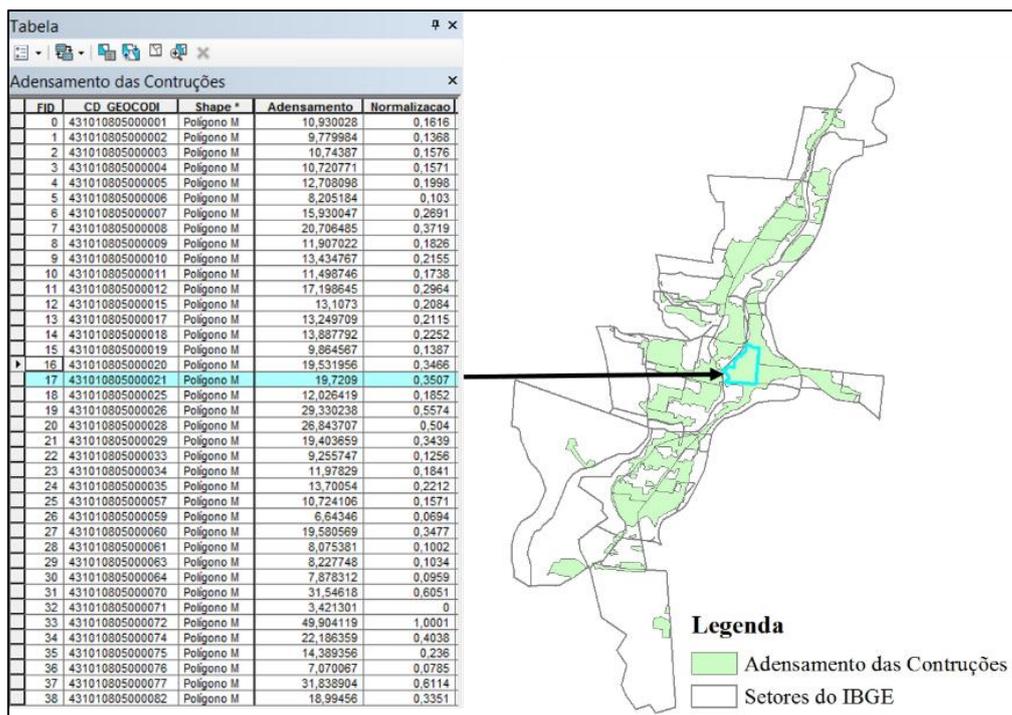


Figura 33:Tabela de Atributos.

Para que fosse possível executar as operações algébricas nos mapas, foi preciso realizar a conversão de vetor para raster. O arquivo original é convertido para um formato matricial (*raster*), em que a menor unidade passa a ser o pixel, sendo que cada pixel assume o valor desejado, contido na tabela de atributos do arquivo original (ROSOT et al.,2013)

Obeve-se dez arquivos *raster*, um para cada indicador, em que posteriormente foram realizados os cálculos (Equações 8 e 9) por meio da álgebra de mapas, de cada indicador, dimensão e, por fim, vulnerabilidade final. Em todos os casos, foi gerado um mapa para a fase de resposta e outro para Recuperação.

Os valores foram agrupados em cinco classes de vulnerabilidade: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta. A cada classe foi estabelecido uma faixa de valores que são demonstrados no Quadro 7.

No geral, a literatura recomenda um número inferior a 10 classes temáticas, devido a dificuldade que o olho humano possui de discernir pequenas variações de cores. Autores como Dent et al. (2009), Slocum e Egbert (1993) e Cromley e Ye (2006) sugerem não mais de 5 classes para um mapa temático. Quanto maior o número de classes, mais complexa se torna a leitura do mapa e quanto menor o número de classes, maior é a generalização do fenômeno.

Quadro 7: Faixa de Valores para Classificação da Vulnerabilidade

<b>Faixa de Valores</b>	<b>Classe de Vulnerabilidade</b>
0-0,1999	Muito Baixa
0,2000-0,3999	Baixa
0,4000 – 0,5999	Média
0,6000 – 0,7999	Alta
0,8000 – 1	Muito Alta

Inicialmente, para classificação dos valores nas classes estabelecidas, seria utilizado o método de classificação de Jenks, conhecido por “quebras naturais”. Este método tem como premissa básica minimizar as diferenças de valores de uma mesma classe e maximizar a diferenças entre as classes. Formam-se classes homogêneas internamente, assegurando-se a heterogeneidade entre elas (SLOCUM, 2009). No entanto, foi proposto nesta pesquisa que existe diferenças na importância dos indicadores entre as fases de resposta e recuperação. Em outras palavras, serão comparadas duas séries de dados diferentes. Para observar as alterações nos valores entre uma fase e outra, foi estabelecido às faixas de valores anteriormente mencionadas.

A segunda metodologia testada consistiu, primeiramente, em realizar todos os cálculos em planilha eletrônica dos indicadores, dimensões e vulnerabilidade final. Posteriormente, foi realizada a operação de “ligar”, entre a tabela de atributos do *shapefile*, que contém a mancha urbana de cada setor censitário e as informações da planilha. Assim o arquivo *shapefile* passou a ter todas as informações. Cada coluna da tabela de atributos corresponde a um indicador. Por último foram gerados os mapas de vulnerabilidade para cada indicador, dimensão e vulnerabilidade final. Utilizou-se a mesma classificação discutida anteriormente.

Os mapas de vulnerabilidade foram expostos de uma maneira diferente do que as metodologias de outros trabalhos consultados (GOERL et al, 2012; MEDEIROS E ALBUQUERQUE, 2014; SILVA, 2014; SCHUMANN et al. 2015; CEPED/UFRGS, 2016b). Foram expostos os mapas comparativos dos indicadores com valores da resposta e recuperação, juntamente com um mapa em que foi utilizado o valor original normalizado, não multiplicado por nenhum peso. Optou-se por fazer este comparativo para mostrar as diferenças entre as fases e também para observar melhor a distribuição

dos valores na área de estudo. Devido a fixação das faixas de valores e a multiplicação dos indicadores pelos seus pesos, não era possível observar a variação dos valores de vulnerabilidade dentro no território. Isto ocorreu por que a maioria dos valores se concentrou em apenas uma ou duas faixas.

Posteriormente, foram expostos os mapas de cada dimensão, para resposta e recuperação. Depois foram exibidos mapas mostrando a porcentagem de contribuição de cada indicador para vulnerabilidade da dimensão, para duas fases. Isto foi feito para explicar as diferenças e mostrar graficamente quais indicadores tiveram mais influência na vulnerabilidade de determinado local. O mesmo procedimento foi realizado para as dimensões e o mapa de vulnerabilidade final.

Sempre que possível foi tentado justificar e validar os resultados do mapeamento de vulnerabilidade. A ferramenta *Google Street View* foi utilizada no intuito de observar certos aspectos que poderiam acarretar na vulnerabilidade, segundo o indicadores utilizados.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inicialmente são apresentados os resultados dos pesos dos indicadores de vulnerabilidade, atribuídos por especialistas. São discutidas as diferenças entre a resposta e a recuperação, bem como amplitude, a distribuição, a concentração e a média dos valores, por meio de gráficos.

Posteriormente são mostrados e discutidos os mapas dos indicadores, das dimensões e o mapa final de vulnerabilidade à inundação. Por último são discutidas as vantagens e as desvantagens da metodologia proposta.

### 4.1 INDICADORES DE VULNERABILIDADE

O mapeamento de vulnerabilidades foi realizado por meio de dez indicadores distribuídos em três dimensões, a qual foram atribuídos pesos pelo método AHP. Os pesos foram determinados por 15 pesquisadores da área de gestão de riscos e desastres e também por cinco coordenadores de Proteção e Defesa Civil. A Figura 31 mostra os gráficos que ilustram a dispersão dos valores atribuídos para cada dimensão e seus indicadores, para fases de resposta e Recuperação.

Observando a Figura 31 podemos constatar que a maioria dos indicadores, nas fases de Recuperação e resposta apresentaram grande amplitude de valores e também grande dispersão. Isto indica a grande variabilidade de pesos atribuídos aos indicadores, o que representa a divergência de opiniões sobre o tema proposto.

Analisando o gráfico pode-se observar que os indicadores da dimensão Características Demográficas (Figura 31A-B) apresentam grande dispersão e amplitude nos valores. Nota-se também que não possuem alterações para as fases de resposta e Recuperação. Observa-se na Figura 31A, a ausência do valor máximo e do valor mínimo, nos indicadores de Número de Residentes e Exposições à Inundações, respectivamente. Isto se deve ao fato de que 25% dos maiores e menores valores são iguais.

A Dimensão Social (Figura 34C-D) foi a que apresentou maior variação entre os indicadores e também entre as fases. A renda na fase de resposta apresentou a menor dispersão em relação a todos os outros indicadores, demonstrando maior concordância entre os especialistas sobre a sua importância. Na fase de Recuperação a renda apresentou elevada dispersão nos valores. Os indicadores de crianças, PCDs e idosos

também apresentaram pouca dispersão, variando somente os valores atribuídos. As menores amplitudes foram encontradas nos indicadores de idosos e crianças, para as duas fases.

Em relação ao peso atribuído às dimensões podemos destacar também a grande amplitude e dispersão de dados. Os pesos atribuídos aos indicadores são semelhantes tanto na fase de resposta quanto na Recuperação.

Nesta pesquisa optou-se então por utilizar a média simples dos pesos atribuídos para cada indicador e sua respectiva dimensão. Deste modo, a Figura 35 mostra os gráficos comparativos das médias das dimensões e indicadores para as fases de resposta e Recuperação.

Podemos observar por meio da Figura 32 que existe pouca diferença no peso médio para fases de resposta e Recuperação. A dimensão que mais apresentou variação dos pesos foi a Social, como os gráficos da Figura 31 C e D também indicaram.

O indicador de PCD foi o que apresentou o maior peso médio na fase resposta, seguido pelos Idosos e Crianças. A renda recebeu o menor peso, no entanto, na fase de Recuperação, é o indicador que apresentou maior pontuação, seguido pelos PCD, Idosos e Crianças. Apesar de receber o maior peso a renda na fase de Recuperação, apresentou grande dispersão dos valores, como foi explanado anteriormente (Figura 31 D).

De acordo com os pesquisadores e os coordenadores de Defesa Civil, a renda familiar não assume grande importância durante a ocorrência de uma inundação, momento em que são realizadas as ações de resposta. Já os indicadores restantes da dimensão social, assumem uma importância maior, pois avaliam grupos que possuem dificuldade de locomoção ou capacidade de compreensão limitada, necessitando de ajuda específica no momento do desastre. Os Coordenadores de Proteção e Defesa Civil indicaram que a maior dificuldade de salvamento está relacionada aos PCDs, pois o tipo de ajuda varia de acordo com as necessidades das pessoas. O exemplo citado pelos coordenadores é que um cadeirante necessita de auxílio diferenciado, em relação a uma pessoa que não possui um braço, mas que também é considerado um PCD.

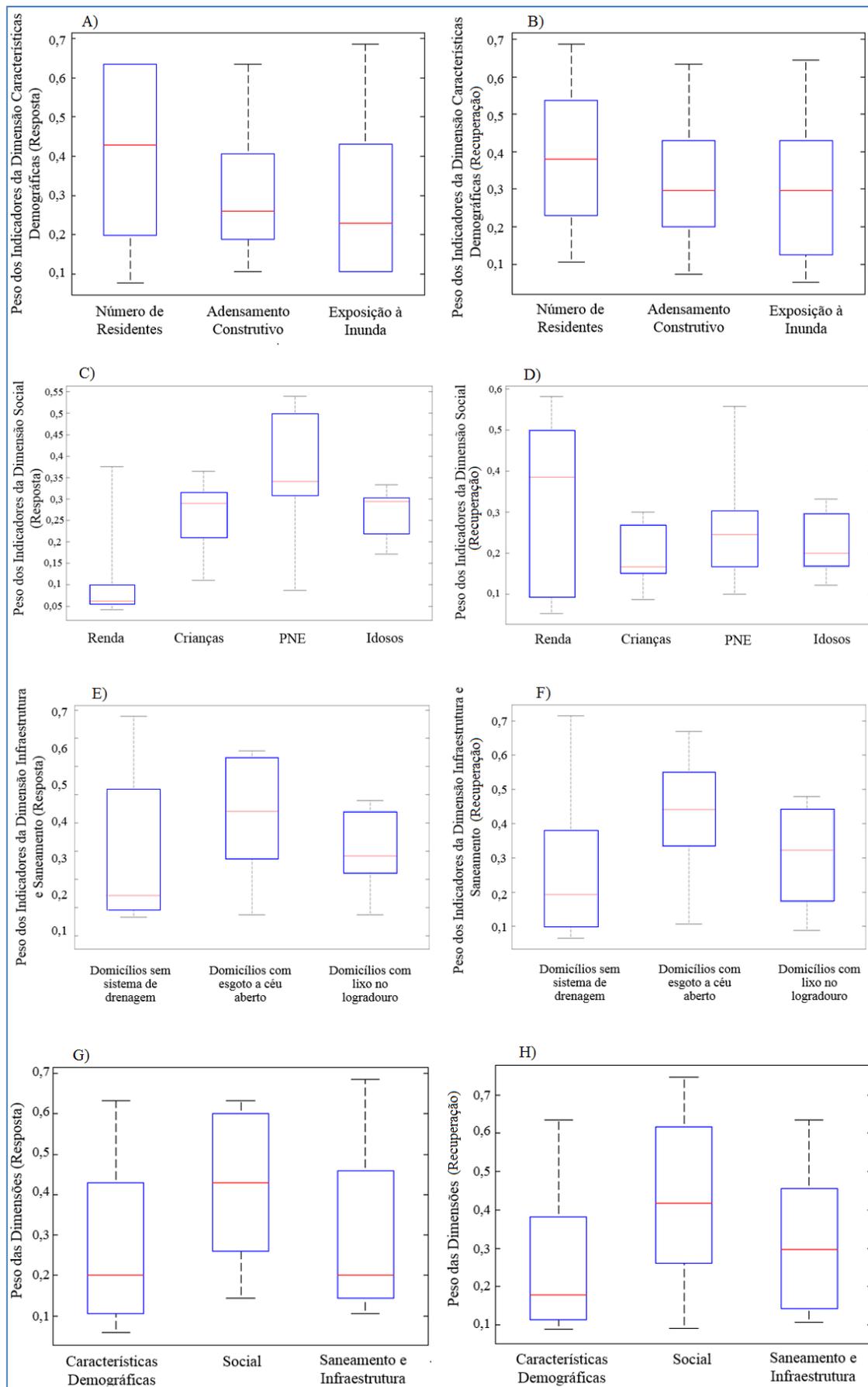


Figura 34: Gráficos de dispersão dos pesos atribuídos por especialistas para os indicadores. A, C, E, G resposta e B, D, F, H recuperação

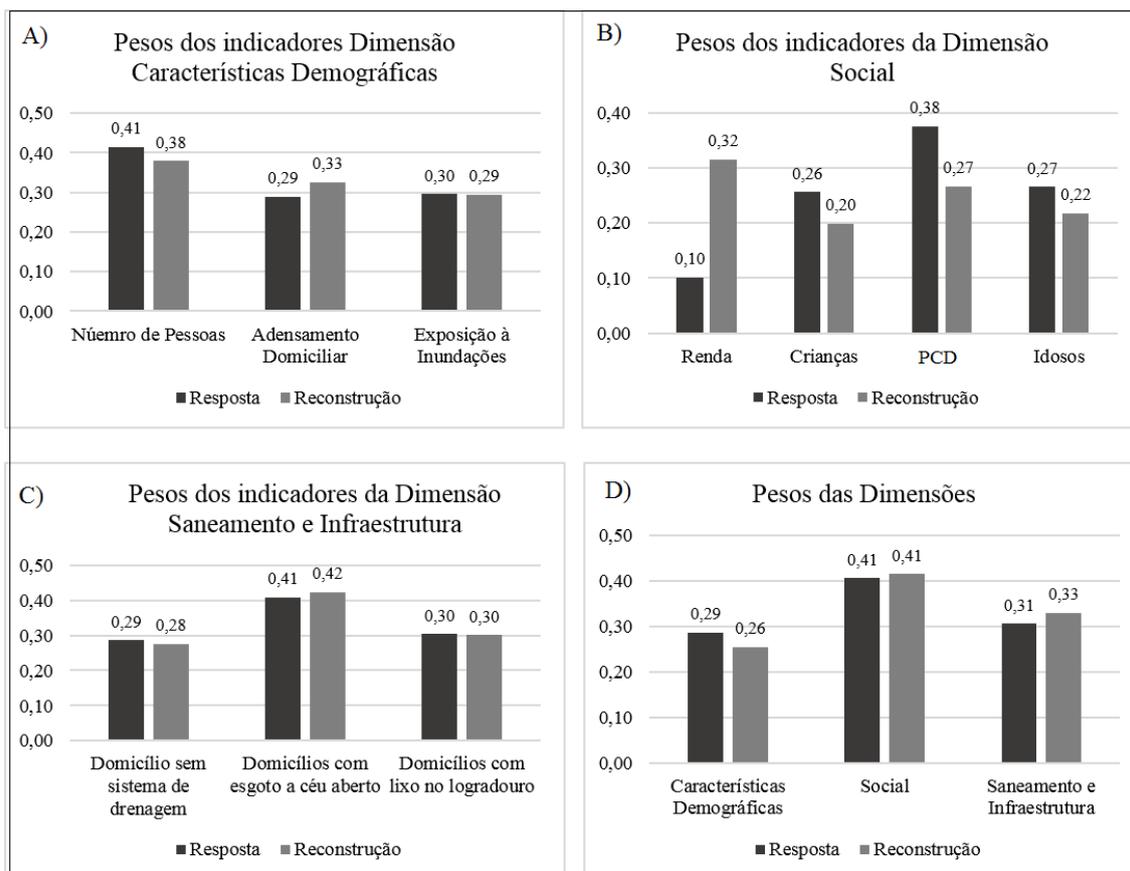


Figura 35: Média dos pesos dos indicadores de vulnerabilidade e das dimensões

Outra questão levantada pelos coordenadores foi a necessidade de diferenciação das faixas etárias das crianças. Neste estudo foi adotado a faixa etária de 0 a 12 anos, de acordo com o Estatuto da Criança e do Adolescente. No entanto, foi indicado que a maior dificuldade está relacionada a crianças na faixa etária de 0 a 4 anos, principalmente crianças que não conseguem se locomover sozinhas. Os coordenadores esclareceram que crianças que se deslocam sozinhas conseguem ajudar os adultos a erguer móveis e eletrodomésticos ou transportar itens importantes no momento da inundação. Também auxiliam na limpeza das residências na fase de Recuperação.

Na dimensão Características Demográficas o maior peso atribuído foi para o indicador Número de Pessoas, no entanto não apresentou diferenças significativas de valores para as fases de resposta e Recuperação. Isto ocorreu também com os demais indicadores desta dimensão.

O indicador com maior peso na dimensão Saneamento e Infraestrutura foi o de Domicílios com Esgoto à Céu Aberto. Esta dimensão também não apresentou diferenças significativas na média dos pesos para as fases de resposta e Recuperação.

A dimensão com maior peso atribuído foi a Social, seguido pela Infraestrutura e Saneamento e, por último, a Características Demográficas. Assim, como nos indicadores, a média dos indicadores das fases de resposta e Recuperação não apresentaram grande diferença de valores, para as fases de resposta e Recuperação. A dimensão social apresentou o maior peso em relação às demais em ambas as fases.

#### 4.2 MAPAS DE VULNERABILIDADE

O mapeamento de vulnerabilidade às inundações foi gerado a partir dos pesos definidos pelos especialistas. Foram gerados mapas em ambiente SIG para cada indicador, posteriormente de cada dimensão e por último o mapa final, englobando todos os aspectos estudados. Depois, como foi mencionado anteriormente, foram exibidos mapas mostrando a porcentagem de contribuição de cada indicador para vulnerabilidade da dimensão, para duas fases. O mesmo procedimento foi realizado para as dimensões e o mapa de vulnerabilidade final.

Após testar o cálculo dos indicadores por meio da álgebra de mapas e por meio da planilha eletrônica, constatou-se que as duas metodologias geram resultados iguais. A diferença é que realizar os cálculos dentro do programa SIG, pela álgebra de mapas, é mais trabalhoso, pela necessidade de se converter para *raster* todos os indicadores e posteriormente, realizar todas as operações algébricas. Precisa lidar com um grande número de arquivos, que necessitam ser devidamente organizados, para evitar possíveis erros.

Calcular em planilha eletrônica e depois transferir todas as informações para tabela de atributos do arquivo *shapefile*, é menos trabalhoso, pois não envolve conversões. Outra vantagem é o maior controle sobre os valores dos indicadores, pois têm-se o subsídio direto da tabela de atributos. É possível observar com mais facilidade valores que levaram aos resultados finais. É importante destacar que os cálculos são feitos para as fases de resposta e Recuperação, o que gera o aumento do volume de dados para análises posteriores.

Quando os arquivos em *raster* e *shapefile* foram classificados por meio do método de quebras naturais, o resultado ficou diferente. O *software* utilizado considerou para realizar a classificação o número de *pixels* de cada setor, gerando faixa de valores diferentes do esperado para cada classe. O mesmo não ocorreu quando foram fixadas as faixas de valores mencionadas no Quadro 6.

A seguir são apresentados os mapas para os indicadores, dimensões e o mapa final de vulnerabilidade às inundações, com comparativo entre a resposta e Recuperação. Procurou-se exemplificar e justificar sempre que possível os resultados dos mapas.

#### 4.2.1 Dimensão Características Demográficas

A dimensão característica demográfica engloba os indicadores de Número de Residentes, Adensamento Domiciliar e Exposição à Inundações. As Figura 36, 37 e 39 mostram mapas de vulnerabilidade gerados para cada um destes indicadores. Cada Figura contém os mapas gerados com o valor original somente normalizado e os mapas gerados com o uso dos pesos atribuídos para resposta e para Recuperação.

A Figura 36 representa os mapas gerados para o indicador de Número de pessoas. Observa-se pela Figura 36 A, que temos a classe de vulnerabilidade muito alta em dois setores, um localizado no norte e outra, no extremo sul. Estes dois setores possuem cerca de 1300 e 1550 habitantes, respectivamente.

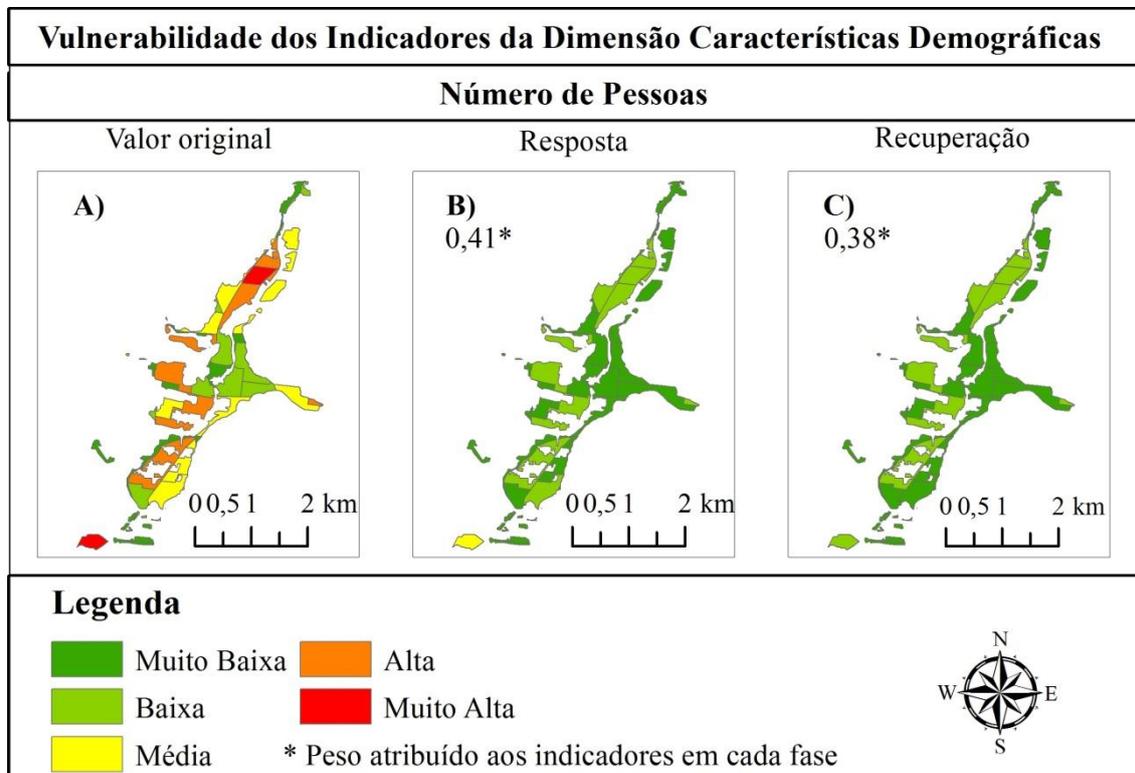


Figura 36: Indicador de Número de Pessoas

As áreas com o menor número de residentes estão localizadas na parte central do município e em algumas zonas periféricas, áreas que estão iniciando o processo de urbanização. A porção central do município é mais antiga e consolidada, no entanto é nela que estão concentrados os prédios comerciais, públicos, parques, etc., com poucas unidades habitacionais, localizadas nesta área.

Devido aos diferentes pesos atribuídos para as fases, houve diferenças entre os mapas gerados (Figura 36, C e D). A resposta recebeu um peso maior do que a recuperação. É importante destacar que existem mais dois indicadores nesta dimensão. Atribuir um peso é dar importância maior ou menor a determinado indicador, para a composição da vulnerabilidade da Dimensão. Os mapas foram gerados para cada fase com o intuito de demonstrar as diferenças resultantes da atribuição dos pesos.

Na Figura 37 estão os mapas gerados para o indicador de Adensamento Domiciliar. Observa-se que o indicador de adensamento domiciliar apresentou as classes de muito baixa e baixa vulnerabilidade em praticamente toda a área de estudo. Existem exceções em áreas localizadas na porção norte e sul do município, que apresentaram vulnerabilidade média e alta, respectivamente. Observou-se diferenças entre as fases devido ao peso maior atribuído a fase de resposta.

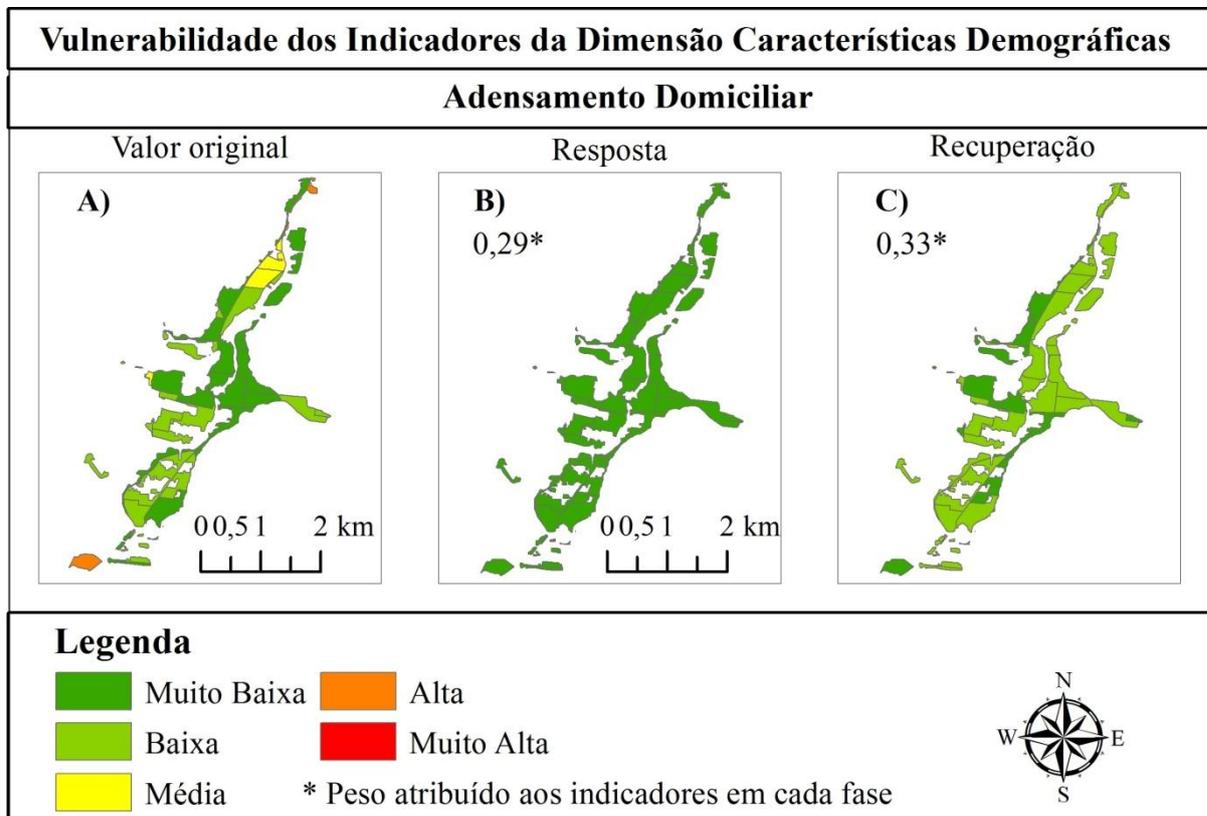


Figura 37: Indicador de Adensamento Domiciliar

É importante destacar que os setores com maior vulnerabilidade no indicador de Adensamento Domiciliar, são também os mesmos locais que possuem o maior número de pessoas residindo (Figura 36). Esta concentração de pessoas residindo e domicílios estão relacionadas ao fato de que estas áreas correspondem às Zonas de Interesse Social (ZIS). Estas áreas foram estabelecidas pelo Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano, Rural e Ambiental do Município de Igrejinha (IGREJINHA, 2006).

Segundo o Plano Diretor as ZIS são loteamentos destinados à população de baixa renda e possuem padrão urbanístico diferente em relação as demais zonas residenciais. A Figura 38 mostra a sobreposição entre o mapa do indicador de Adensamento Domiciliar e as ZIS. Esta Figura também mostra as diferenças entre distribuição dos lotes, bem como das edificações, em três pontos distintos da cidade.

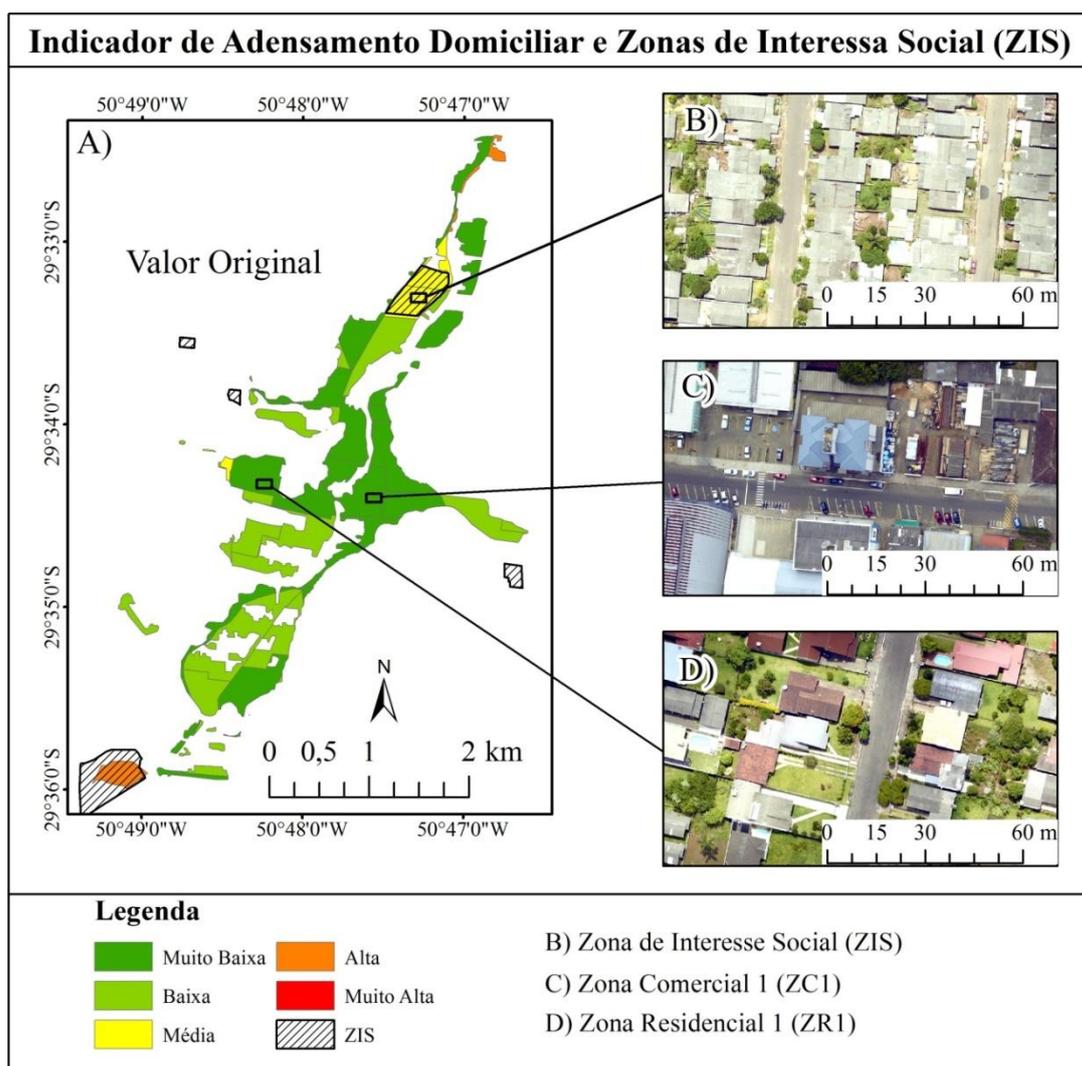


Figura 38: Indicador de Adensamento Domiciliar e as ZIS

Podemos observar na Figura 38 B, C e D diferentes locais da área urbana, que estão em diferentes zonas do plano diretor. Cada um destes locais possuem diferentes diretrizes para construção das edificações. A Figura 38 B representa uma pequena área localizada em uma ZIS e a Figura 38 D, representa uma área localizada em uma zona classificada como Zona Residencial 1 (ZR1). Comparando as duas figuras, pode-se observar diferenças entre os tamanhos dos lotes e das residências, bem como a sua distribuição no terreno. A Figura 38 B possui lotes menores e com poucas áreas não edificadas. Já a Figura 38 D, possui lotes maiores, com espaços vazios no lote e entre as edificações. Estas diferenças ocorrem devido às diretrizes construtivas previstas no Plano Diretor. As ZIS possuem regime urbanístico diferenciado, sendo mais permissível do que as demais zonas, o que é evidenciado pelo Quadro 07.

Quadro 8: Zonas de Interesse Social e seus Índices

Zonas do Plano Diretor	Taxa de Ocupação (TO)	Índice de Aproveitamento (IA)	Lote Mínimo	
			Testada (m)	Área (m <sup>2</sup> )
Zona residencial 1 (ZR1)	60%	1,50	10,00	300,00
Zona residencial 2 (ZR2)	80%	2,50	10,00	300,00
Zona de Interesse Social (ZIS)	85%	4,00	5,00	125,00
Zona Comercial 1 (ZC1)	80%	4,00	10,00	300,00
Zona Comercial 2 (ZC2)	60%	1,50	10,00	300,00
Zona Especial (ZE)	85%	3,00	10,00	300,00
Zona de Interesse Comercial (ZIC)	80%	1,50	20,00	1.200,00

Fonte: Igrejinha (2006)

A partir do Quadro 7 podemos observar que a ZIS possui o lote mínimo de 125 m<sup>2</sup>, cerca de 60 % menor do que as demais zonas residenciais. As taxas de ocupação<sup>4</sup> e os índices de aproveitamento<sup>5</sup> também são maiores do que as demais zonas. Isto favorece uma grande concentração de domicílios, bem como de população.

<sup>4</sup> Taxa de Ocupação (TO): representa a relação entre a projeção horizontal máxima da edificação sobre o lote e a área total do lote (IGREJINHA, 2006)

<sup>5</sup> Índice de Aproveitamento (IA): é o instrumento de controle urbanístico no lote, das densidades populacionais, representa o quociente entre a área máxima construída e a área total do lote (IGREJINHA, 2006)

A Figura 35 C mostra uma área localizada na área central, mais comercial do município. Corresponde a Zona Comercial 1 (ZC1), intensamente urbanizada, porém como mencionada anteriormente, poucas pessoas residem nesta área.

A Dimensão Características Demográficas também é composta pelo indicador de Exposição à inundação, que está representado nos mapas da Figura 39. Observa-se na Figura 36 A que existem diversos setores com grandes áreas de mancha urbana expostas às inundações distribuídas por toda cidade. A consolidação da área urbana ocorreu em torno do rio Paranhana, nas suas duas margens. Devido ao relevo acidentado a ocupação tem maior concentração nas cotas mais baixas, que correspondem à planície de inundação do rio Paranhana. Deste modo, é possível identificar que o rio Paranhana e a formação do relevo atuam como elementos que limitam a expansão urbana. A Figura 40 mostra uma inundação no município ocorrida em 1982.

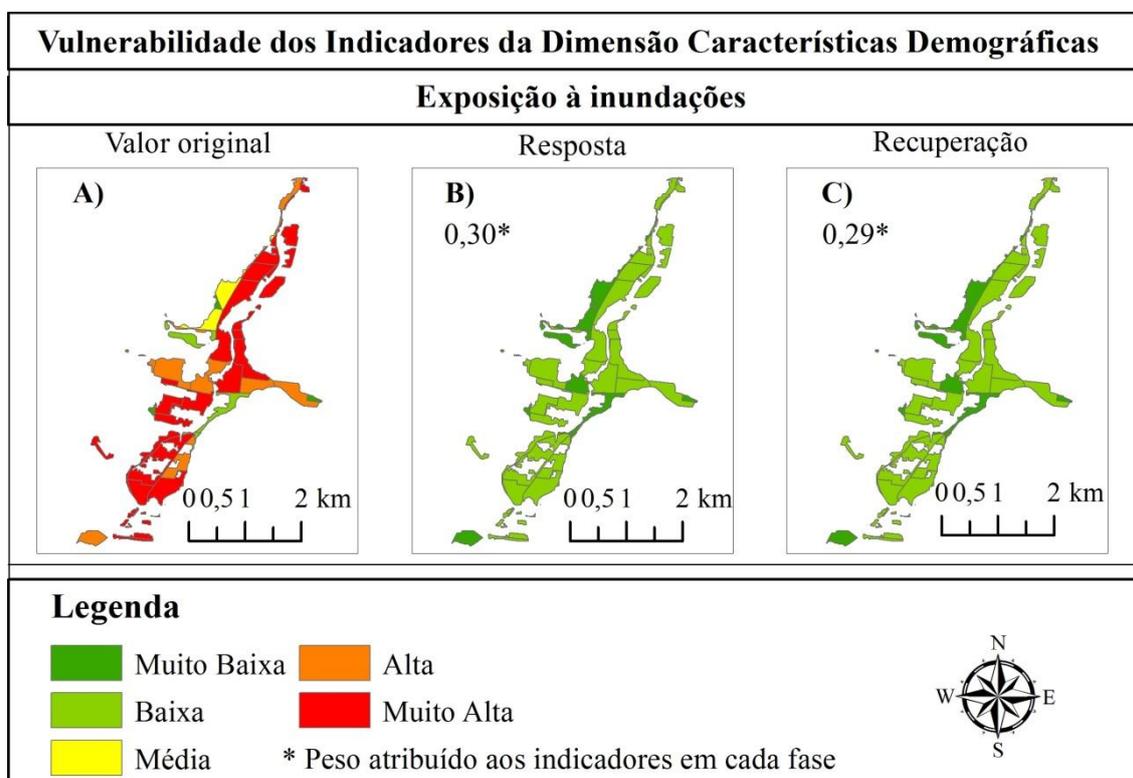


Figura 39: Indicador de Exposição à inundação



Figura 40: Inundação ocorrida no ano de 1992.  
Fonte: Fundação Cultural de Igrejinha

A pesquisa realizada por Guasselli et. al. (2016) mostra que existe pequenas diferenças entre as área de abrangência da Inundação com TR de 10, 50 e 100 anos. Isto está associado a características geomorfológicas do vale do Rio Paranhana. É um vale encaixado, deste modo mesmo um evento com tempo de recorrência pequeno, grande parte da área urbana no do município está sujeita à inundação.

A partir do somatório da multiplicação dos indicadores pelos seus respectivos pesos, gerou-se a vulnerabilidade final da Dimensão Características Demográficas. Foram gerados mapas para resposta e recuperação, que foram expostos na Figura 41. Observa-se que as áreas com maior vulnerabilidade na Dimensão Características Demográficas estão localizadas, no bairros Figueira, Vila Nova, XV de Novembro e Invernada. O Centro apresentou locais com vulnerabilidade que variou entre baixa e média, o que contraria as expectativas para área.

Ramos et al (2016a) concluíram em seu estudo que o bairro centro é da onde se possui mais relatos sobre os danos e transtornos ocasionados pelas inundações. Isto ocorre porque a população de uma determinada área não é estática durante o tempo. Segundo Freire e Gomes (2010), a localização da população durante o dia varia de acordo com suas atividades. O Número de pessoas de uma determinada área pode mudar entre período diurno e o noturno e estes deslocamentos ocorrem devido às atividades humanas como trabalho, estudo e lazer. No entanto, o censo do IBGE só registra o local onde as pessoas moram, não onde trabalham. Desta forma, o mapa gerado só conseguiu mostrar a vulnerabilidade que o autor chama de “noturna”.

É importante destacar que esta dimensão possui indicadores que procuram localizar a quantidade de pessoas, bem como a locais densamente povoados, expostos às inundações. Uma área susceptível por si só não apresenta vulnerabilidade. A inexistência de pessoas residindo em uma determinada área acarretará em baixos valores de vulnerabilidade, apesar da existência de mancha urbana.

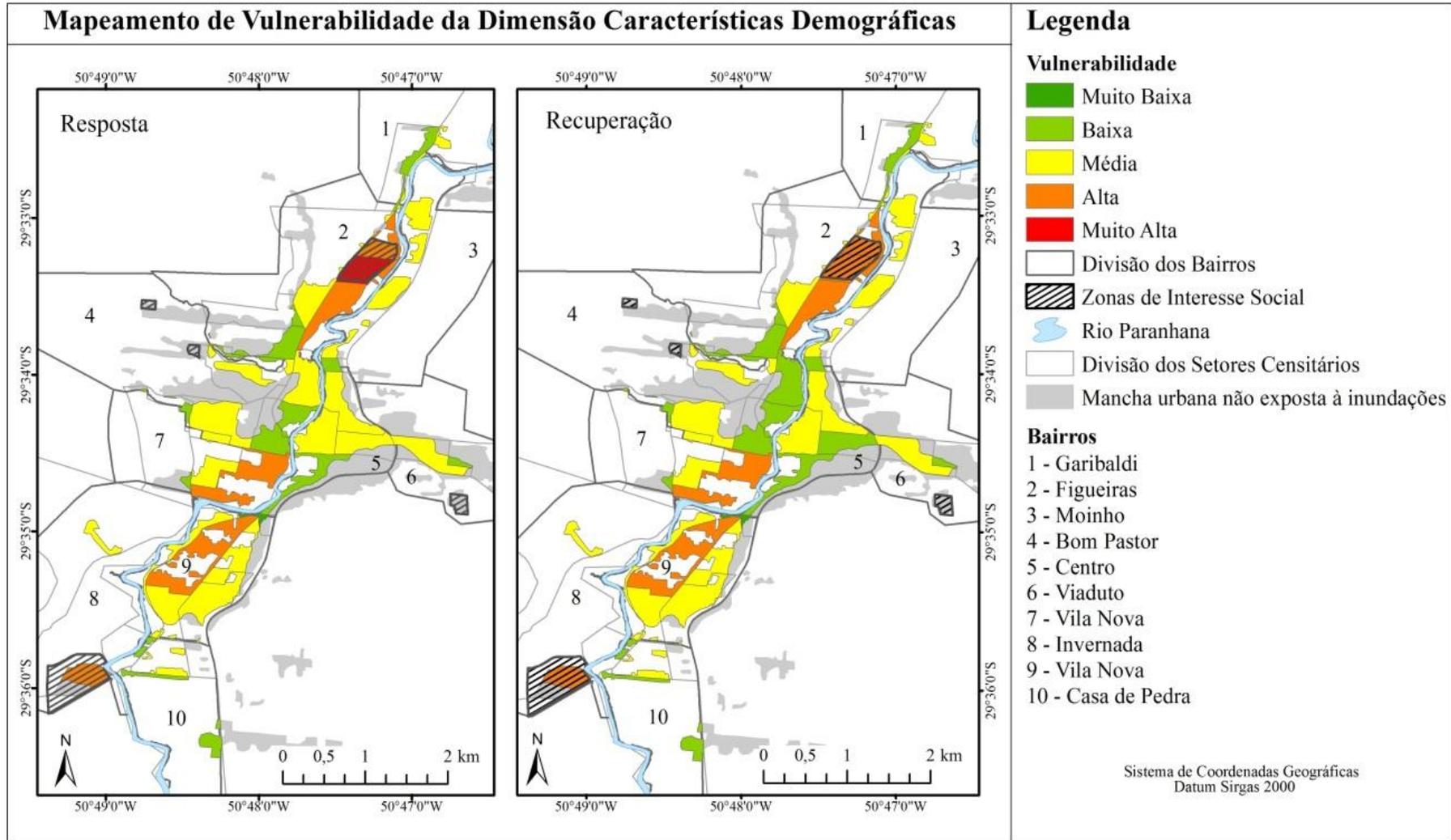


Figura 41: Vulnerabilidade da Dimensão Características Demográficas

Devido aos diferentes pesos atribuídos para cada fase, notou-se diferenças nos mapas de resposta e recuperação, que são evidenciados na Figura 42. Também são mostrados o quanto cada indicador contribuiu para o resultado da Dimensão Características Demográficas em porcentagem.

Comparando os mapas da dimensão (Figura 42), observa-se que 3 setores apresentaram vulnerabilidade diferentes entre as fases. Isto ocorreu devido ao maior peso atribuído ao indicador número de residentes e exposição à inundação, na resposta. No entanto, é possível perceber que o indicador de adensamento domiciliar contribuiu para elevar a vulnerabilidade em setores localizados ao norte e ao sul no município. Estes locais correspondem as ZIS, mencionadas anteriormente. Nas demais áreas o indicador de adensamento construtivo não contribuiu efetivamente para vulnerabilidade da dimensão.

Ao norte pode-se observar uma grande quantidade de pessoas, residindo em uma área com exposição às inundações, o que resultou na alta vulnerabilidade. Na parte central do município, a exposição contribui mais para baixa e média vulnerabilidade que esta área apresentou, pois existem poucas pessoas residindo no local. O indicador de adensamento não participou efetivamente neste área, no entanto, como foi explicado anteriormente esta área é densamente urbanizada.

Na porção sul da área de estudo também apresentou vulnerabilidade na dimensão que variou de média para alta. Assim, como no norte do município, esta área possui uma grande quantidade de pessoas residindo em uma área com mancha urbana exposta a inundação.

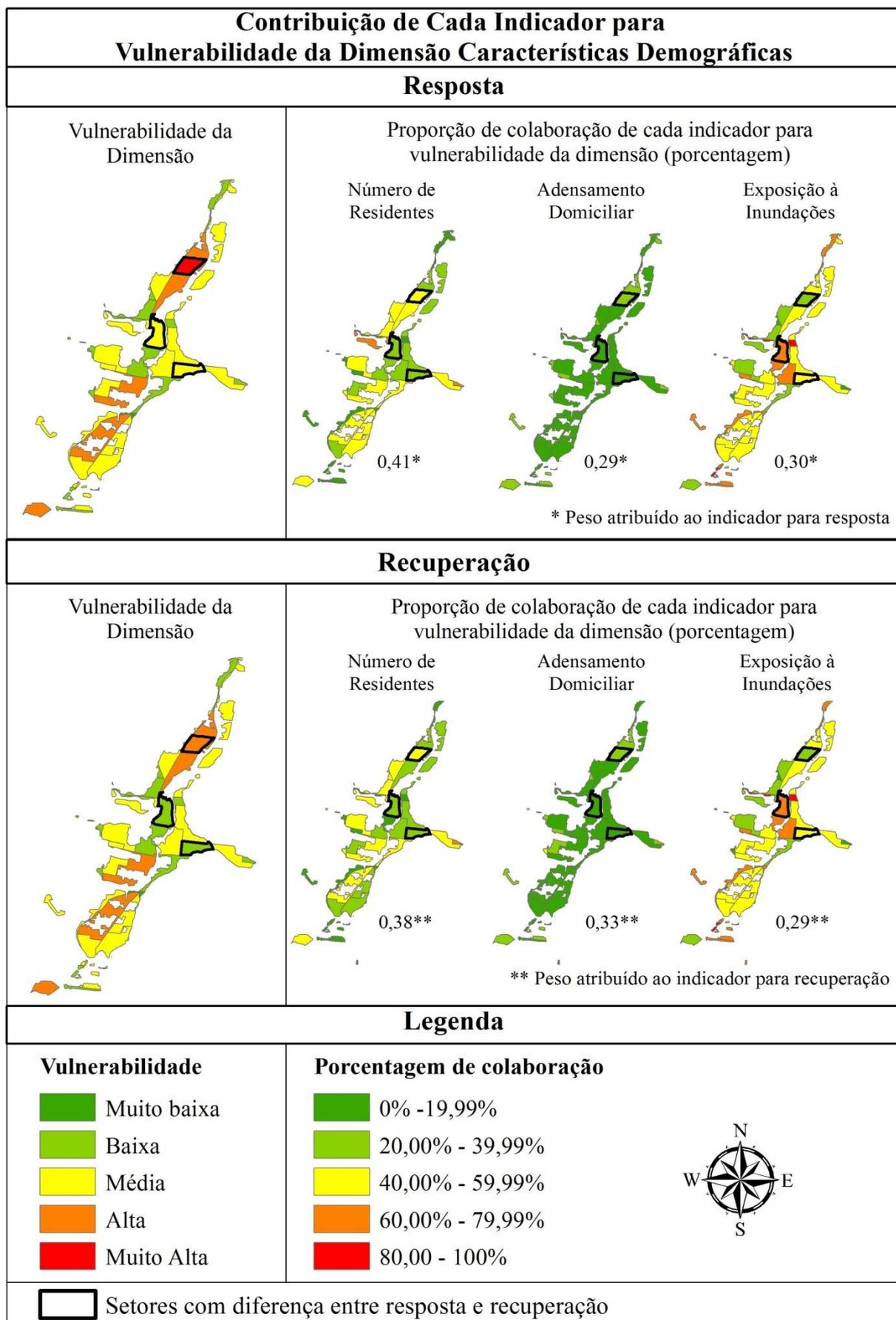


Figura 42: Contribuição dos indicadores para vulnerabilidade da dimensão Características Demográficas

#### 4.2.2 Dimensão Social

A Dimensão Social é composta pelos indicadores de Renda, Crianças, PCD e Idosos. As Figuras 43, 44, 45 e 46 mostram mapas de vulnerabilidade gerados para cada um destes indicadores. Cada Figura contém os mapas gerados com o valor original somente normalizado e os mapas gerados com o uso dos pesos atribuídos para resposta e para Recuperação.

A Figura 43 A representa o mapa de vulnerabilidade feito apenas com dados censitários normalizados. Observa-se que a maior concentração de domicílios de baixa renda estão localizados em duas áreas. Ao norte temos dois setores, classificados com vulnerabilidade média. Cada um deles possui cerca de 60 domicílios de baixa renda.

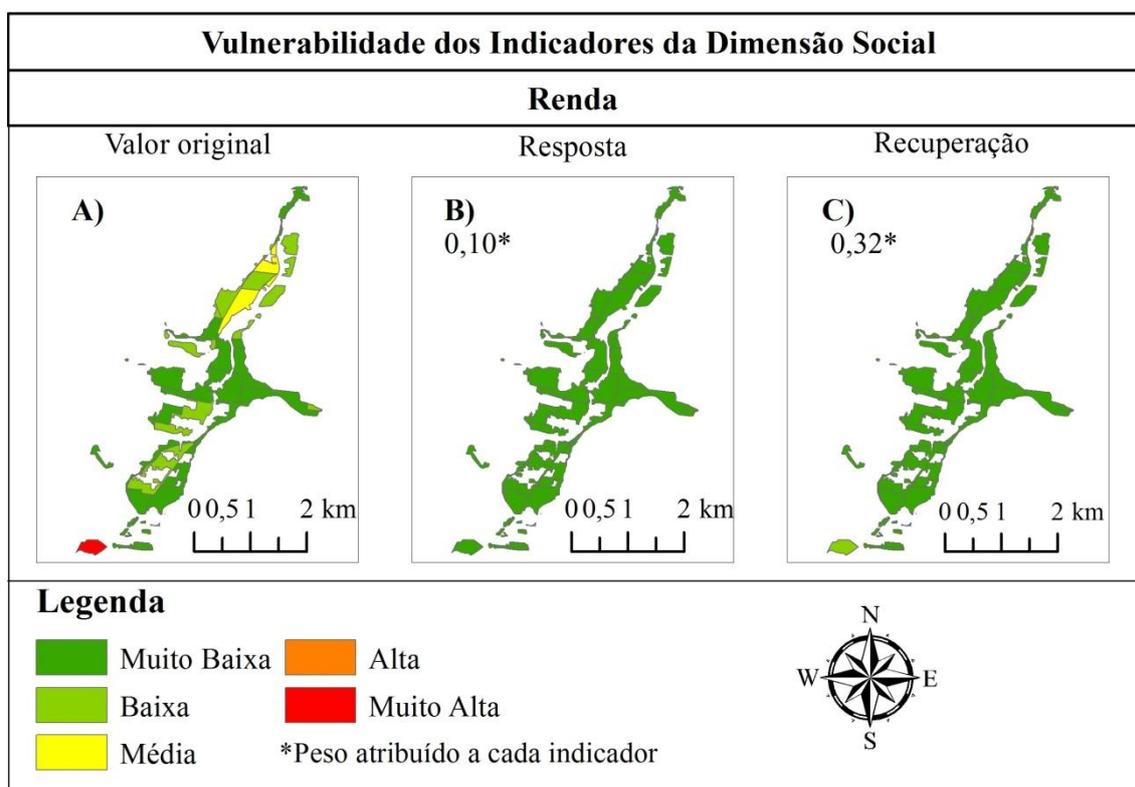


Figura 43: Indicador de Renda

No extremo sul temos uma área de vulnerabilidade muito alta em que existe cerca de 120 domicílios considerados de baixa renda. Representa 27% dos 446 domicílios do setor. Levando em consideração que a média de moradores por domicílios é de 3,45, existem cerca de 410 moradores em domicílios com rendimento nominal *per capita* de até 0,5 salários mínimos.

O indicador Existência de Crianças é elucidado na Figura 44. Analisando o mapa gerado apenas com os dados normalizados, verifica-se a existência de áreas de média e alta vulnerabilidade ao norte. Existem cerca de 330 crianças residindo na área classificada como de alta vulnerabilidade. Isto significa que 25% dos 1300 moradores da área são crianças de 0 a 12 anos. Ao sul existe um local classificado com vulnerabilidade muito alta, com cerca de 500 crianças. Representa 33% dos 1500 habitantes da área.

Os dois setores anteriormente mencionados são os que possuem o maior número de crianças. As demais áreas classificadas como de média vulnerabilidade possuem de 330 a 210 crianças. A porção central do município apresentou baixa vulnerabilidade, no entanto, este local possui uma das maiores escolas de ensino fundamental e médio do município. Como mencionado anteriormente, os dados do IBGE levam em consideração apenas o local onde as pessoas residem.

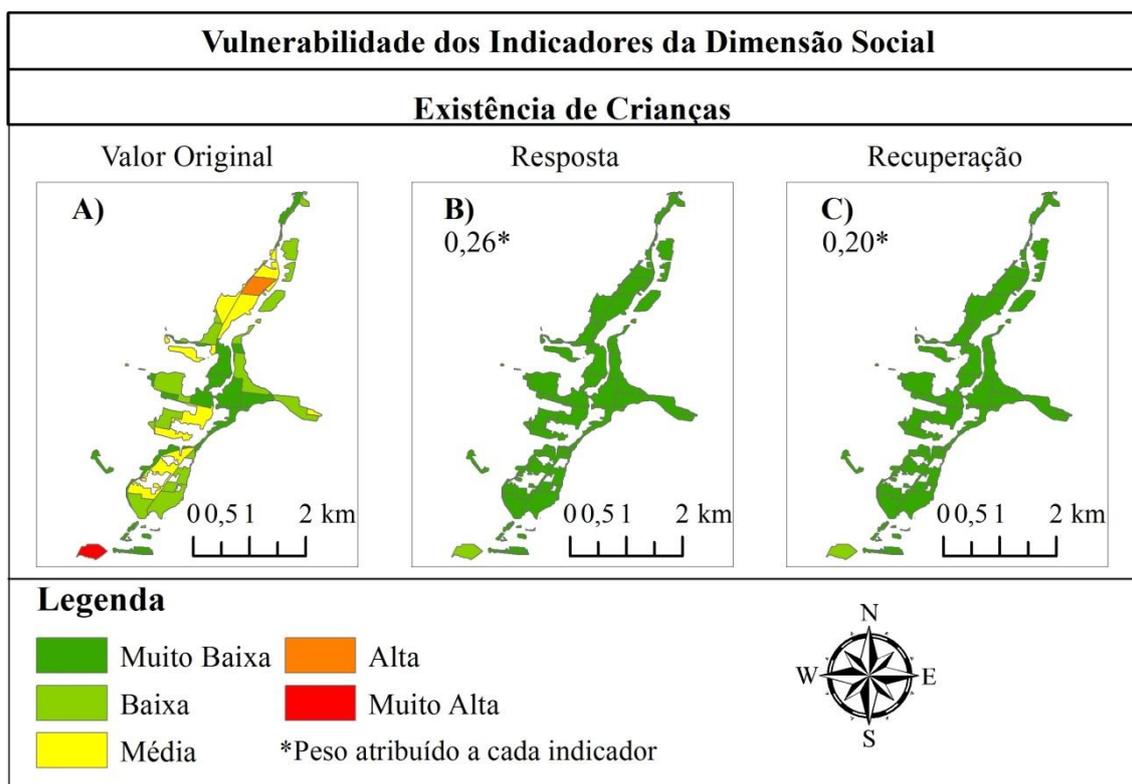


Figura 44: Indicador de Existência de Crianças

A Figura 45 representa os mapas gerados para o indicador de Pessoas com Deficiência (PCD). Observa-se que existem áreas classificadas com vulnerabilidade muito alta ao norte e no extremo sul do município. Cada um destes locais possui cerca de 20 pessoas com algum tipo de deficiência.

É possível observar que a maioria dos setores não apresentou PCDs. Ao norte existe um grupo de setores que concentra um grande número, cerca de 60% dos PCDs mapeados no município. Sabe-se que existem diversos tipos de deficiências, no entanto não se obteve informações para realizar algum tipo de classificação.

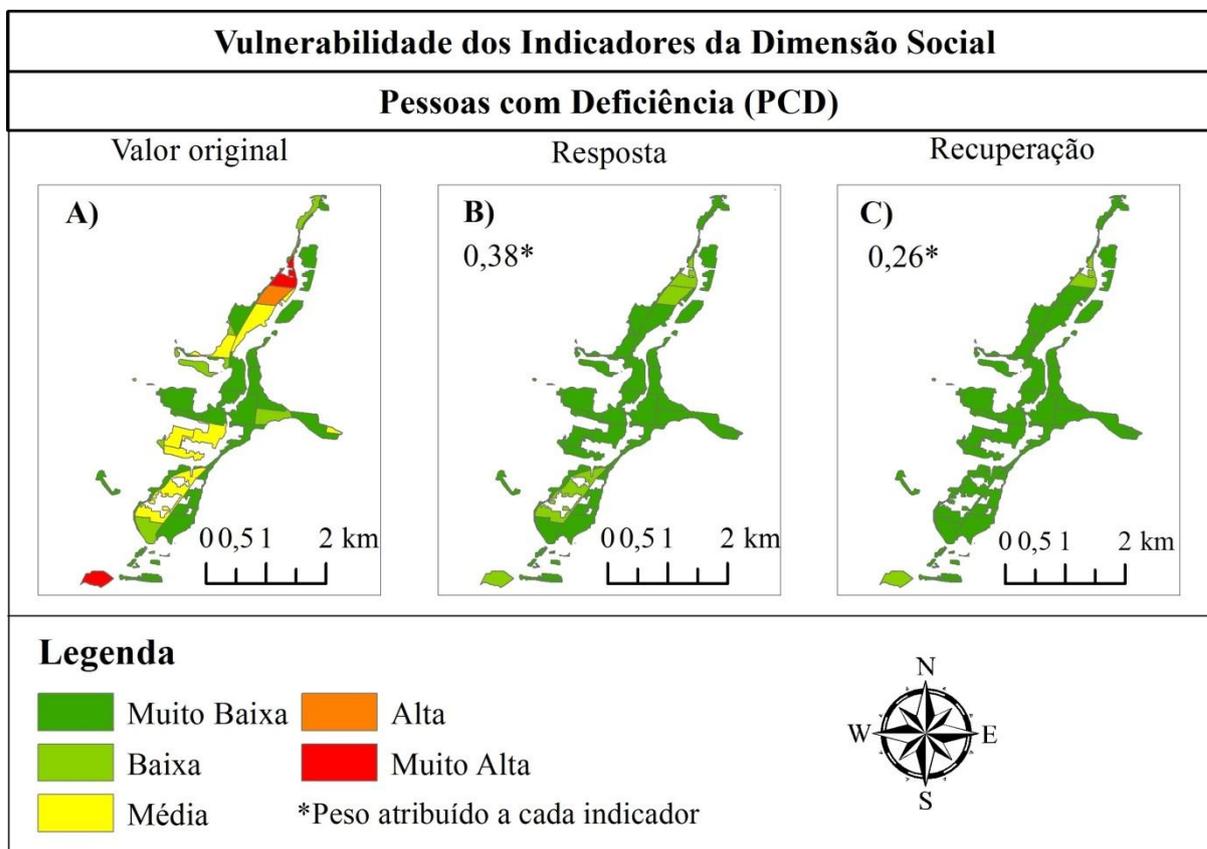


Figura 45: Indicador de Pessoas Com Deficiência (PCD)

O mapa do indicador de idosos é representado pela Figura 43. Analisando o mapa pode-se observar que a população de idosos está distribuída por toda área de estudo.

O mapa da Figura 46 mostra que existe uma concentração de setores na porção central no município que foram classificados com vulnerabilidade muito alta. Cada um destes setores possui de 115 a 101 idosos. A proporção em relação ao total de moradores nestes setores varia de 11% a 22%. É importante ressaltar que os setores centrais são os mais antigos do município.

Os setores classificados com alta vulnerabilidade estão localizados em diversas áreas da cidade e o número de idosos varia de 89 a 72. Isto representa cerca de 6% a 16% do total de moradores dos setores supracitados.

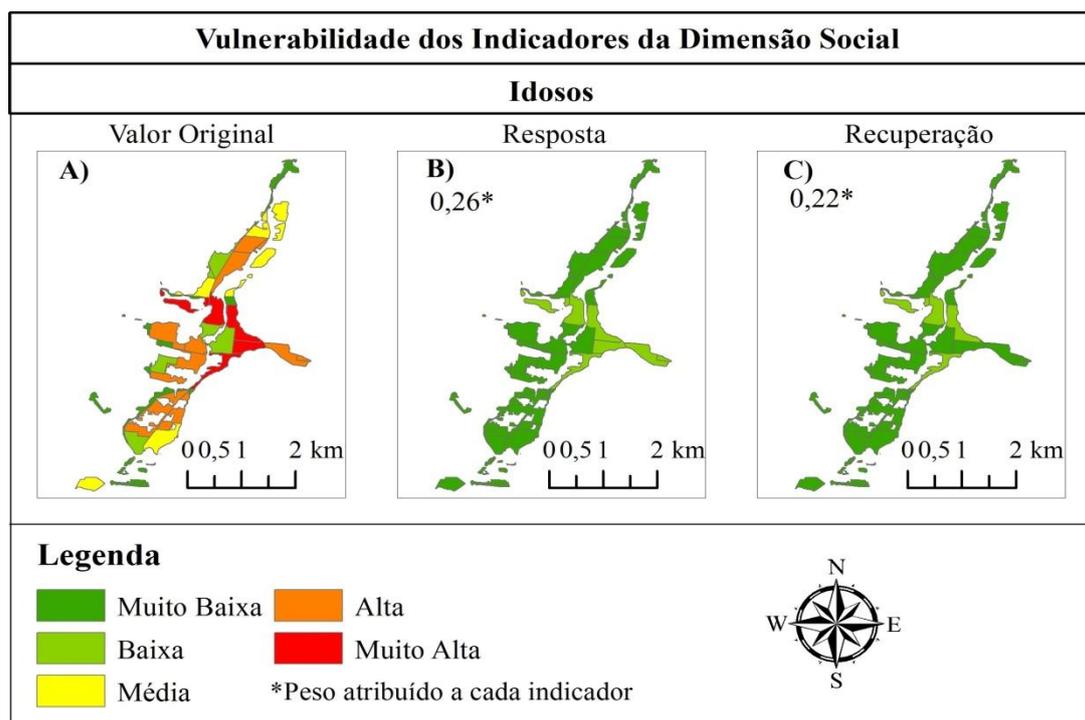


Figura 46: Indicador de Idosos

A partir do somatório da multiplicação dos indicadores pelos seus respectivos pesos, gerou-se a vulnerabilidade final da Dimensão Social. Foram gerados mapas com os pesos atribuídos para resposta e Recuperação, que foram expostos na Figura 47.

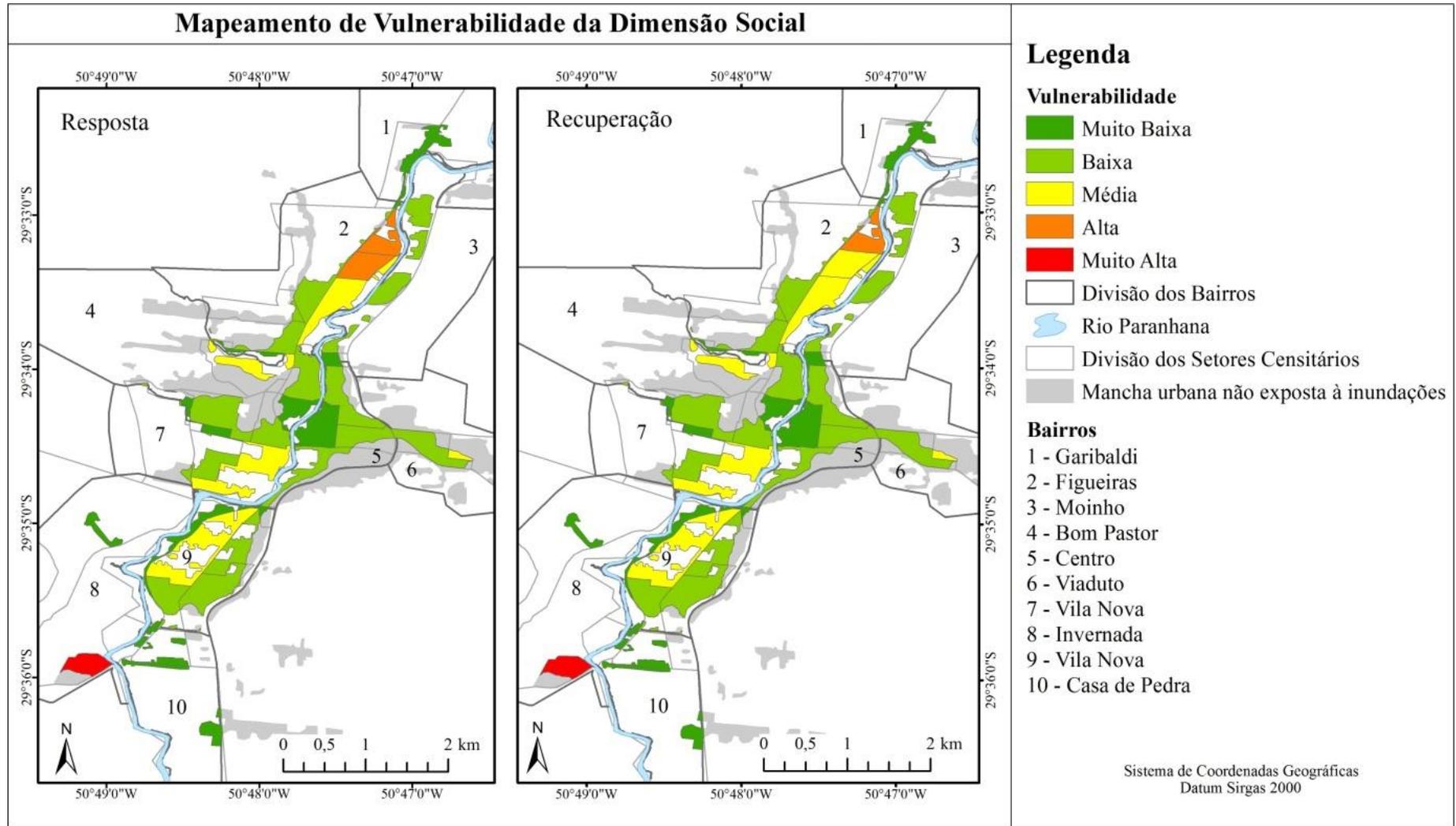


Figura 47: Vulnerabilidade da Dimensão Social

Conforme a Figura 47 os bairros Garibaldi, Moinho, Centro e Casa de Pedra apresentaram baixa ou muito baixa vulnerabilidade. Já os bairros Viaduto, XV de Novembro, Bom Pastor apresentaram vulnerabilidade que variou entre média a muito baixa.

Os bairros Figueira e Invernada apresentam setores com alta ou muito alta vulnerabilidade. Nestes dois bairros se localizam as ZIS que são os locais mais populosos do municípios e foram destinados a famílias de baixa renda. Isto é confirmado pelo indicador de renda (Figura 43). Estes locais possuem de média a muito alta vulnerabilidade em todos os indicadores.

Como pode-se observar pela Figura 47, existem diferenças entre os mapas gerados com pesos da resposta e recuperação. A Figura 48 mostra a contribuição de cada indicador para a vulnerabilidade da Dimensão Social.

Por meio da Figura 48 é possível notar que existe um setor que demonstrou diferenças entre as fases. Este setor está localizado em ZIS e a mudança ocorreu pela atribuição de pesos aos indicadores de Idosos, crianças e principalmente PCDs, que ficou na faixa dos 40% a 59,99% de contribuição.

A contribuição dos indicadores varia de acordo com a quantidade inicial de cada um, o valor atribuído pela normalização e o peso atribuído ao indicador para cada fase. Se observar a contribuição do indicador de idosos na resposta, é possível notar que é o que mais contribui para vulnerabilidade da dimensão, na porção central. Nota-se, desta forma, que este indicador é o mais presente nesta área em relação aos outros, no entanto a vulnerabilidade da dimensão é baixa. Isto não significa necessariamente que exista um número superior de idosos, em relação aos demais indicadores. Pode indicar que pela normalização e atribuição de peso, ele pode ter recebido um valor maior que os demais indicadores nesta área.

Nos setores com alta ou muito alta vulnerabilidade, o indicador que mais contribuiu foi o de PCD na resposta e o de idosos na recuperação. No geral, o indicador que menos contribuiu em muitos setores da área de estudo, foi o indicador de renda. É possível observar pela Figura 45 que a renda possui baixa ou média vulnerabilidade na maioria dos setores.

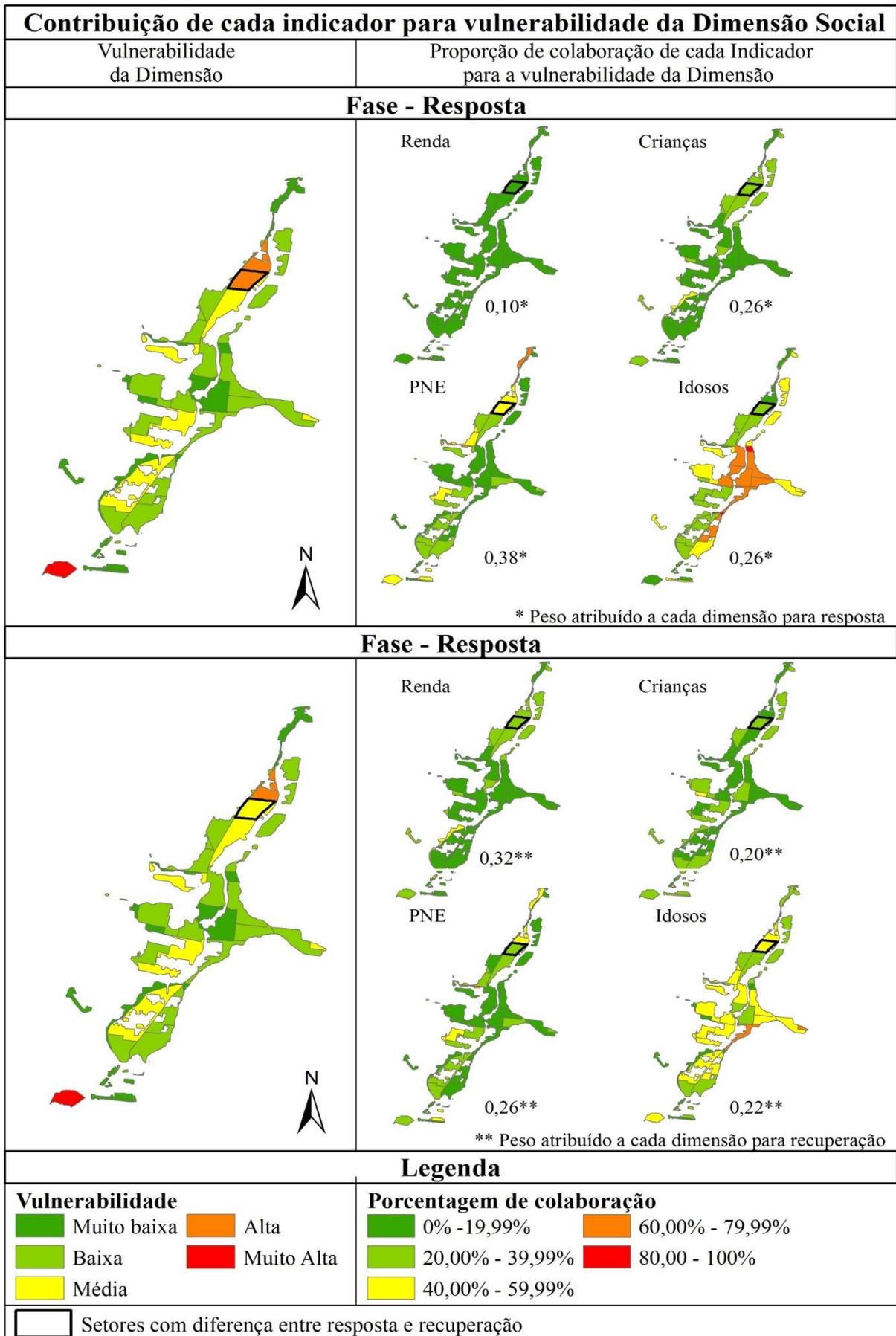


Figura 48: Contribuição dos indicadores para vulnerabilidade da dimensão social

#### 4.2.3 Dimensão Saneamento e Infraestrutura

A Dimensão Saneamento e Infraestrutura é composta pelos indicadores Domicílios sem Sistema de Drenagem, Domicílios com Lixo no Logradouro e Domicílios com Esgoto a Céu Aberto. As Figuras 49, 52 e 54 mostram os mapas gerados em ambiente SIG para cada um destes indicadores.

A Figura 49 representa o mapa do indicador de Domicílios sem Sistema de Drenagem. Pode-se observar que ao norte existem locais com vulnerabilidade baixa. Cada um destes setores pode possuir de 64 a 90 domicílios sem sistema adequado de drenagem. Isto representa de 25% a 55% do total de domicílios em cada setor.

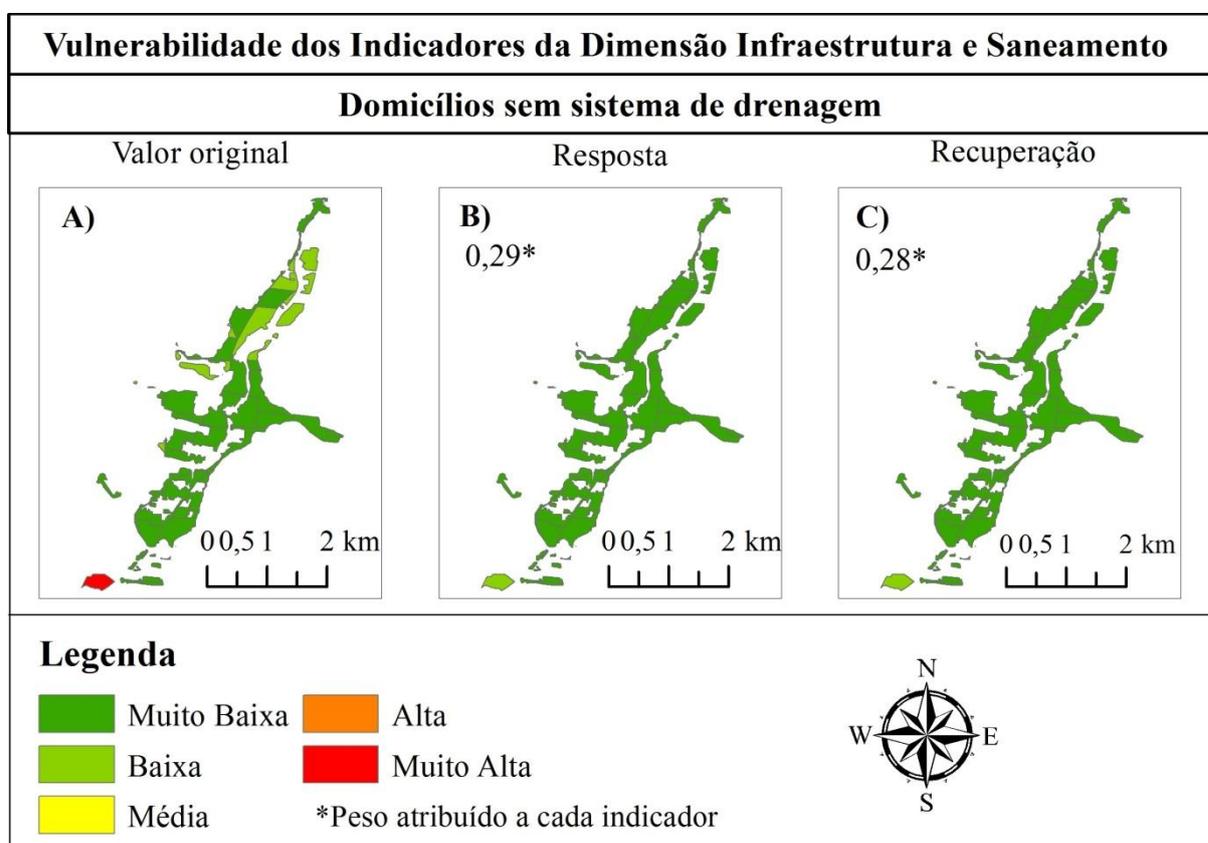


Figura 49: Indicador de Domicílios sem Sistema de Drenagem

O local do município que apresentou vulnerabilidade muito alta neste indicador, se localiza no extremo sul do município, área que corresponde a uma ZIS. Cerca de 290 domicílios não possuem sistema de drenagem adequado, segundo os dados do IBGE. Isto representa 65% dos 446 domicílios deste setor. É importante ressaltar que o IBGE no censo de procurou observar a existência de bueiro ou boca de lobo, ou seja, abertura que dá acesso a caixas subterrâneas, por onde escoar a água. Foi considerado para coleta de dados a face ou face confrontante da residência (IBGE, 2010).

Devido à grande concentração de domicílios em um único setor sem sistema de drenagem, utilizou-se o *Google Street View* para observar se este valor correspondia a realidade, e de fato corresponde. Verificou-se todas as ruas do setor com intuito de observar a existência de bueiros e somente uma parte do setor possuía. Observou-se também, por meio do *Google Street View*, que boa parte do setor não possuía pavimentação. Em muitos locais pavimentados não foi observado a existência de drenagem. Isto pode ser exemplificado pela Figura 50.

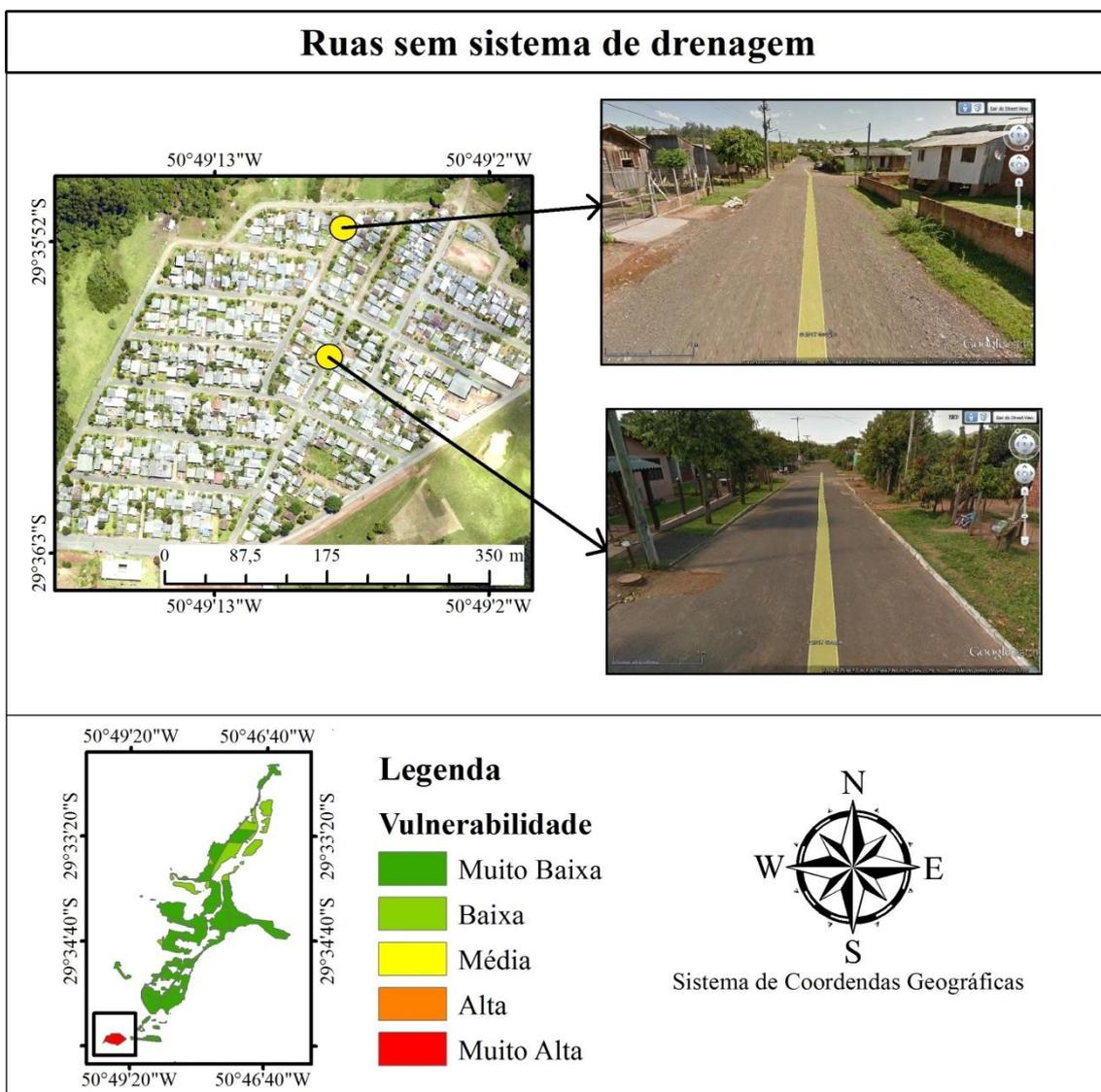


Figura 50: Ruas sem Drenagem ao Sul do Município

A porção central do município, como pode ser observado pela Figura 46 possui vulnerabilidade muito baixa. É importante destacar que na pesquisa realizada por Ramos et al. (2016a) foi constatado que a porção central do município é frequentemente atingida por enxurradas do arroio Koetz, associadas com às ineficiências dos sistemas

de drenagem. Salienta-se que a variável censitária avalia somente a existência de drenagem, e não sua eficiência. Deste modo, este indicador é parcialmente compatível com o uso proposto. A Figura 51 mostra a localização e uma enxurrada ocorrida no arroio Koetz em 2009.

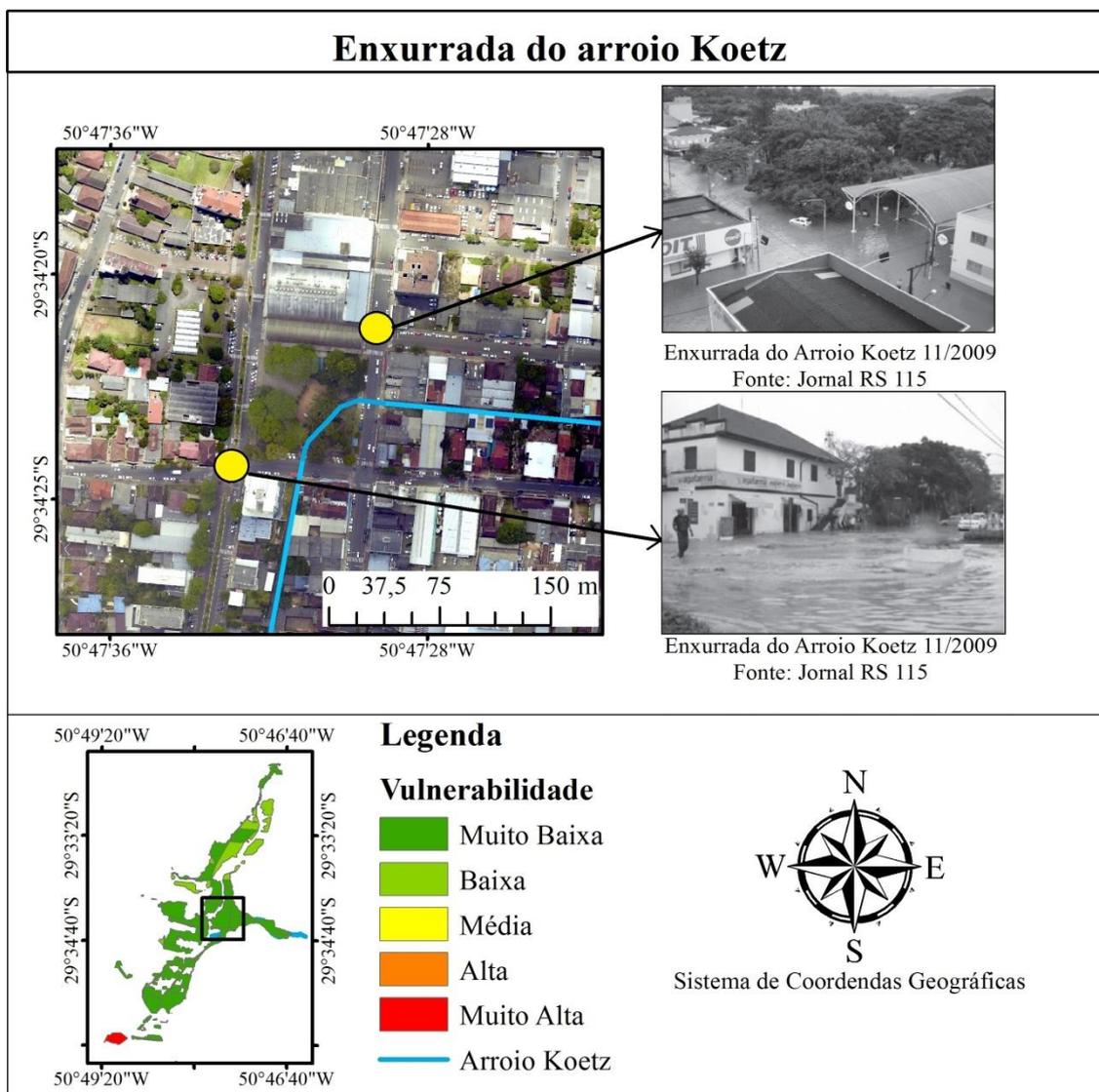


Figura 51: Localização e Enxurrada do Arroio Koetz

O mapa do indicador de Domicílios com Esgoto a Céu Aberto, nota-se que a maioria dos setores apresenta vulnerabilidade baixa ou muito baixa, com exceções em setores localizados ao norte e um setor localizado ao sul.

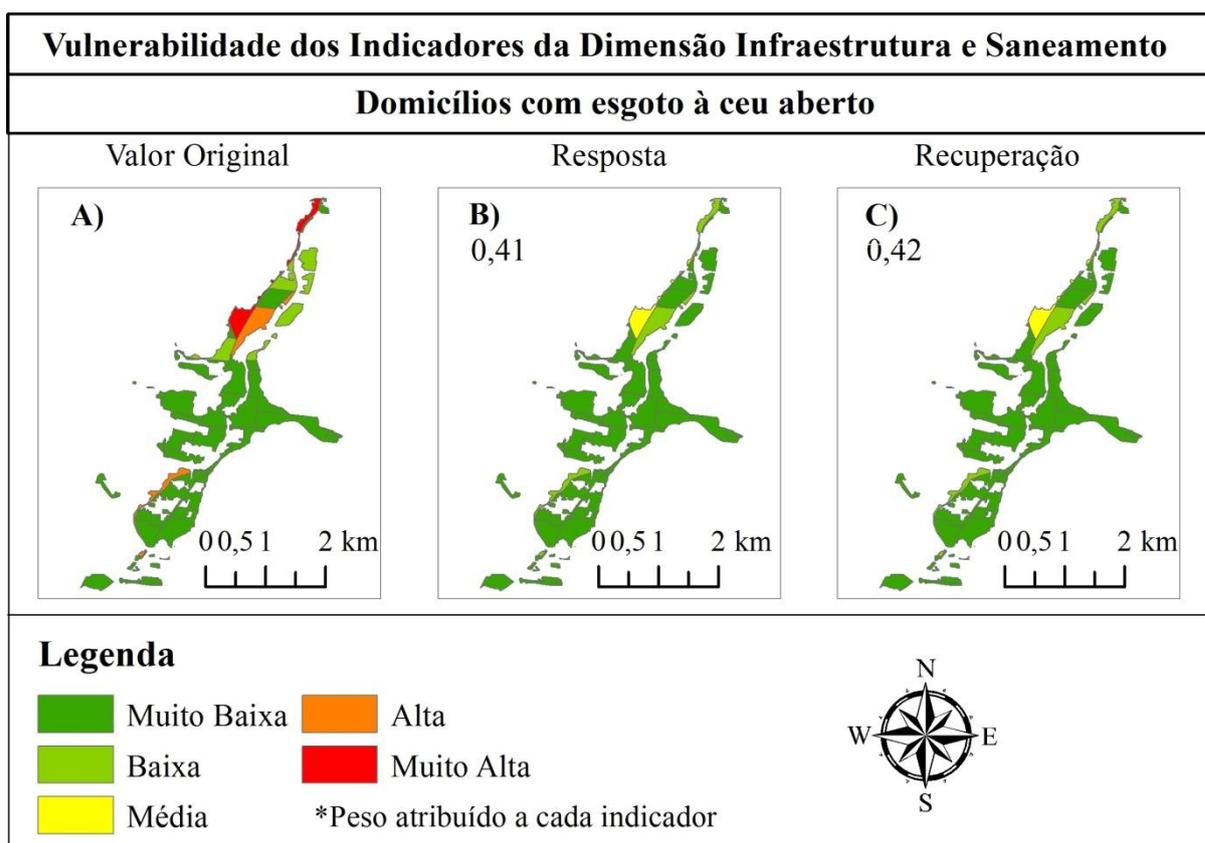


Figura 52: Indicador de Domicílios com Esgoto a Céu Aberto

Ao norte existem locais classificados com vulnerabilidade muito alta. Estes setores possuem cerca de 20 domicílios com esgoto a céu aberto. Isto representa menos de 10 % do total de residências de cada setor. O IBGE considera para coleta de dados se na face ou na face confrontante do domicílio, existia vala, córrego ou corpo d'água onde habitualmente ocorria o lançamento de esgoto doméstico. Também foram registradas valetas por onde escorria esgoto doméstico na superfície.

Alguns dos setores, localizados nas margens do rio Paranhana, receberam vulnerabilidade alta ou muito alta. Isto pode estar relacionado ao fato de que existem domicílios, que despejam efluentes domésticos diretamente no rio. A Figura 53 mostra um exemplo na margem esquerda do rio Paranhana. Este local corresponde a um setor de risco de solapamento, demarcado pela CPRM em 2011. Além do movimento de massa, a CPRM registrou o lançamento de efluentes domésticos diretamente no curso hídrico (CPRM, 2011).

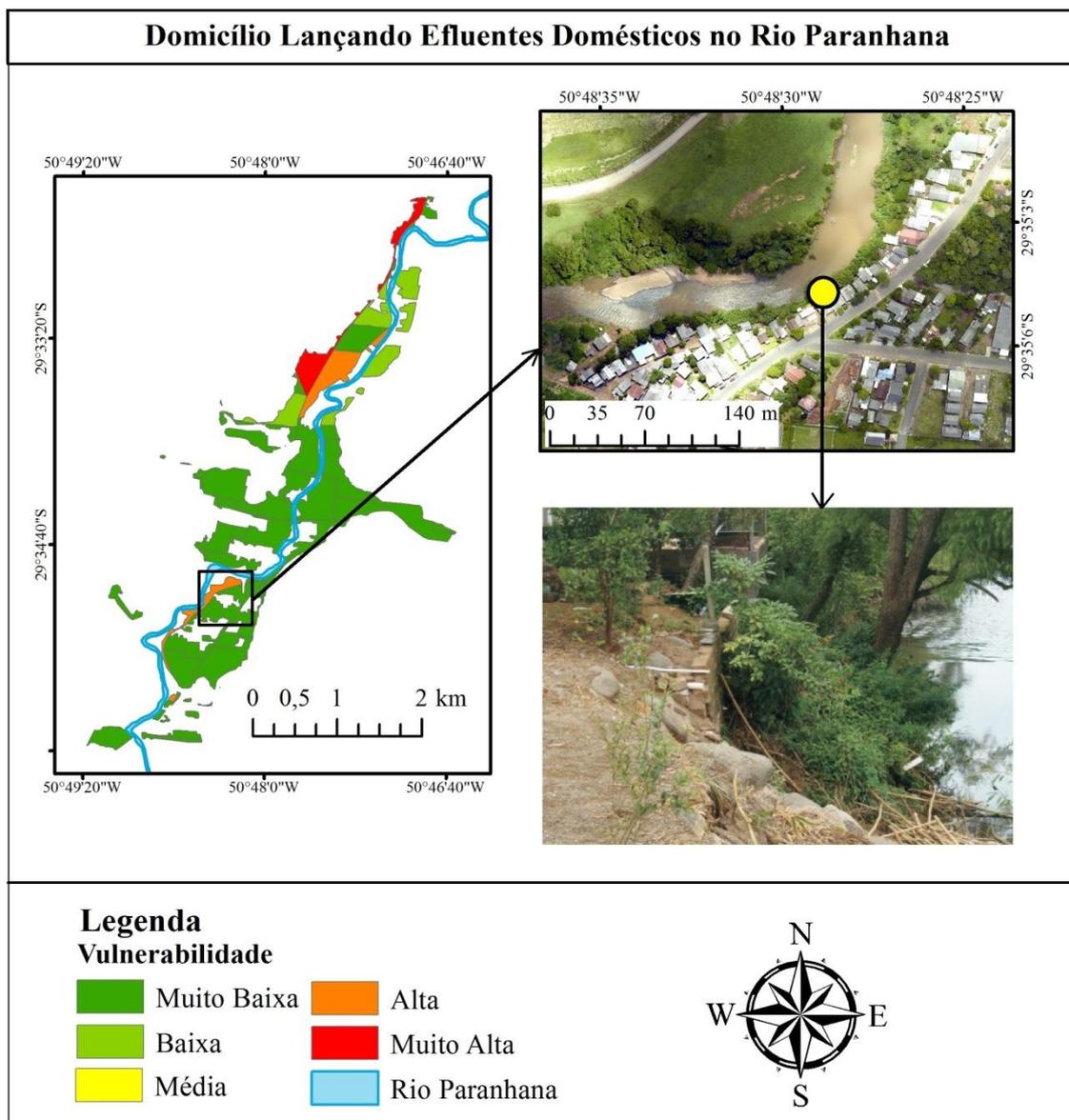


Figura 53: Domicílio lançando efluentes domésticos no rio Paranhana em área de solapamento

A Figura 54 representa o indicador de Domicílios com Lixo no Logradouro. É possível observar que em praticamente toda a área de estudo a vulnerabilidade é muito baixa. Ao norte temos dois setores com alta e muito alta vulnerabilidade. Possuem 19 e 25 domicílios, respectivamente, com lixo no logradouro. O IBGE considerou a face da residência ou a sua confrontante para coletar os dados. Desconsiderou a existência de caçamba de serviço de limpeza com acúmulo de lixo em vias públicas.

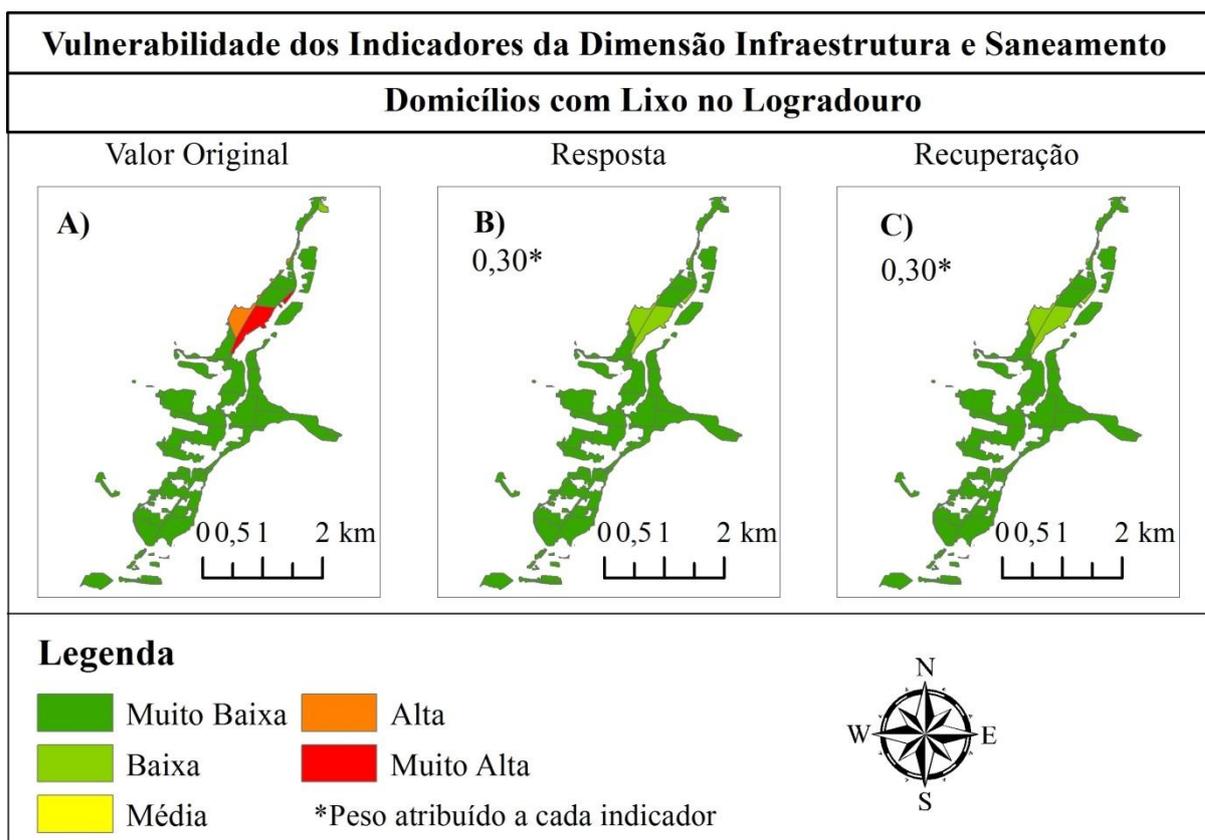


Figura 54: Indicador de Domicílios com Lixo no Logradouro

A partir do somatório da multiplicação dos indicadores pelos seus respectivos pesos, gerou-se a vulnerabilidade final da Dimensão Saneamento e Infraestrutura. Foram gerados mapas com os pesos atribuídos para resposta e Recuperação, que foram expostos na Figura 55.

Os bairros Centro, Bom Pastor, Viaduto, Vilna Nova e Casa de Pedra apresentaram vulnerabilidade muito baixa. O bairro Invernada apesar de ter vulnerabilidade muito alta no indicador de Domicílios sem sistema de drenagem, apresentou baixa vulnerabilidade na dimensão.

Devido à contribuição dos indicadores de Domicílios com Lixo no Logradouro e Esgoto a céu aberto, o bairro Figueiras apresentou setores com alta vulnerabilidade. Utilizou-se o *Google Street View* para observar a existência de lixo, no entanto não encontrou-se indícios. Foi realizado o mesmo procedimento para buscar esgoto a céu aberto em áreas afastadas de corpos hídricos, no entanto o resultado foi o mesmo.

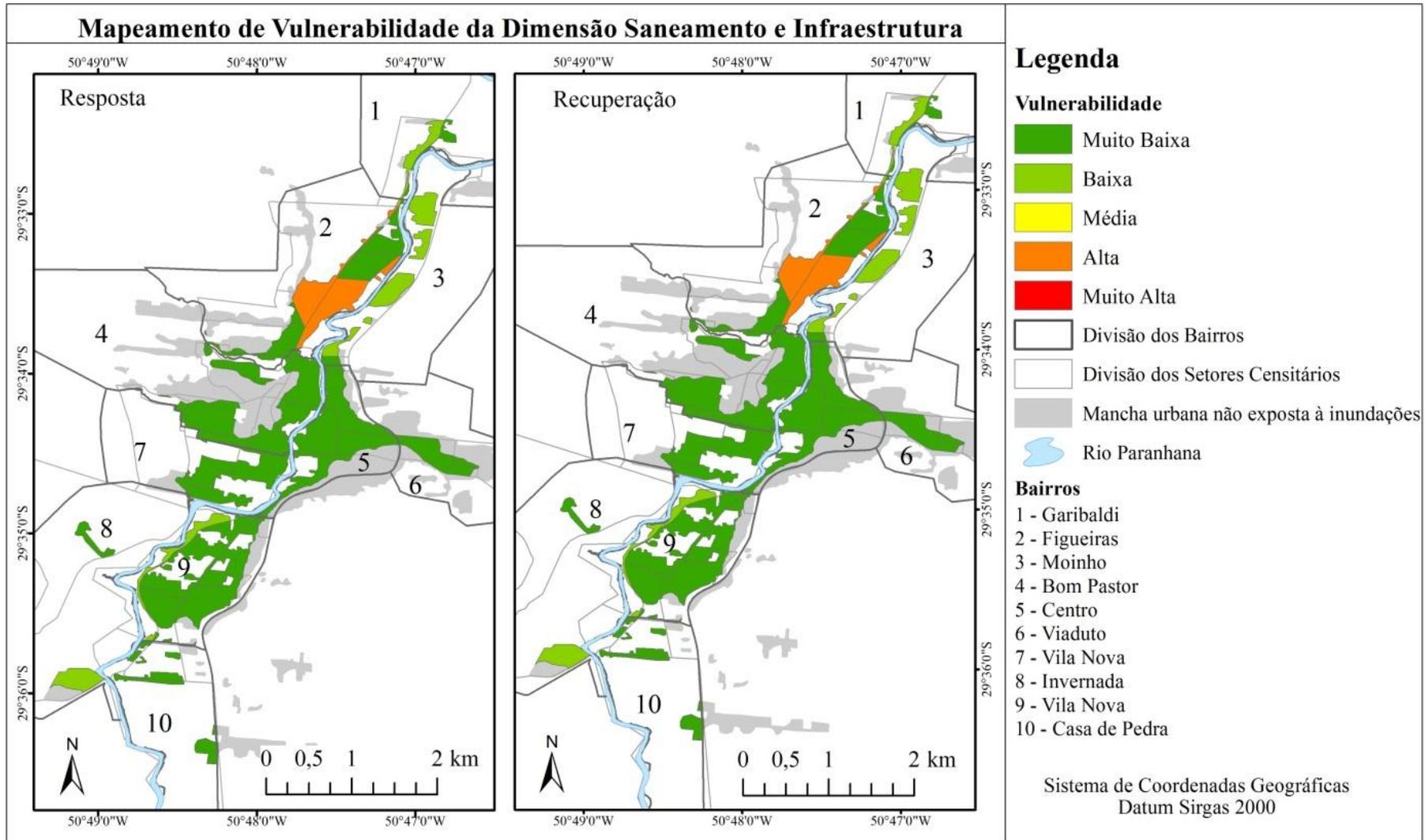


Figura 55: Vulnerabilidade da Dimensão Saneamento e Infraestrutura

Pode-se observar nesta dimensão a interferência do reescalonamento do valor dados. Os valores iniciais do indicador de Lixo no Logradouro, sem reescalonamento varia entre 0 e 25, sendo que o maior valor foi reescalonado para 1 e o menor para 0. O mesmo aconteceu para o indicador de crianças, que varia de 6 a 503. Note como o valor é maior em relação ao indicador de Lixo no Logradouro. O reescalonamento é feito com o intuito de uniformizar as unidades, no entanto não leva em consideração a proporção de um indicador em relação ao outro. É importante destacar que este procedimento é realizado por diversas pesquisas consultadas (GOERL, et al., 2012; SILVA, 2014; MARCELINO, 2005; MORATO, 2008), mas nenhuma discute sobre as influências do reescalonamento no resultado do mapeamentos propostos.

A Figura 56 mostra a contribuição de cada indicador para o resultado da Dimensão Saneamento e Infraestrutura. Observa-se que não existem diferenças entre os mapas da resposta e da recuperação. Isto se deve ao fato de que os pesos eram semelhantes entre as fases. Nas áreas de baixa ou muito baixa vulnerabilidade, o indicador de drenagem foi o que mais contribuiu; entre os demais indicadores é o que possui menor peso. Nas áreas de alta vulnerabilidade os indicadores que mais contribuíram foi o de Domicílios com Lixo no Logradouro e Esgoto à Céu Aberto.

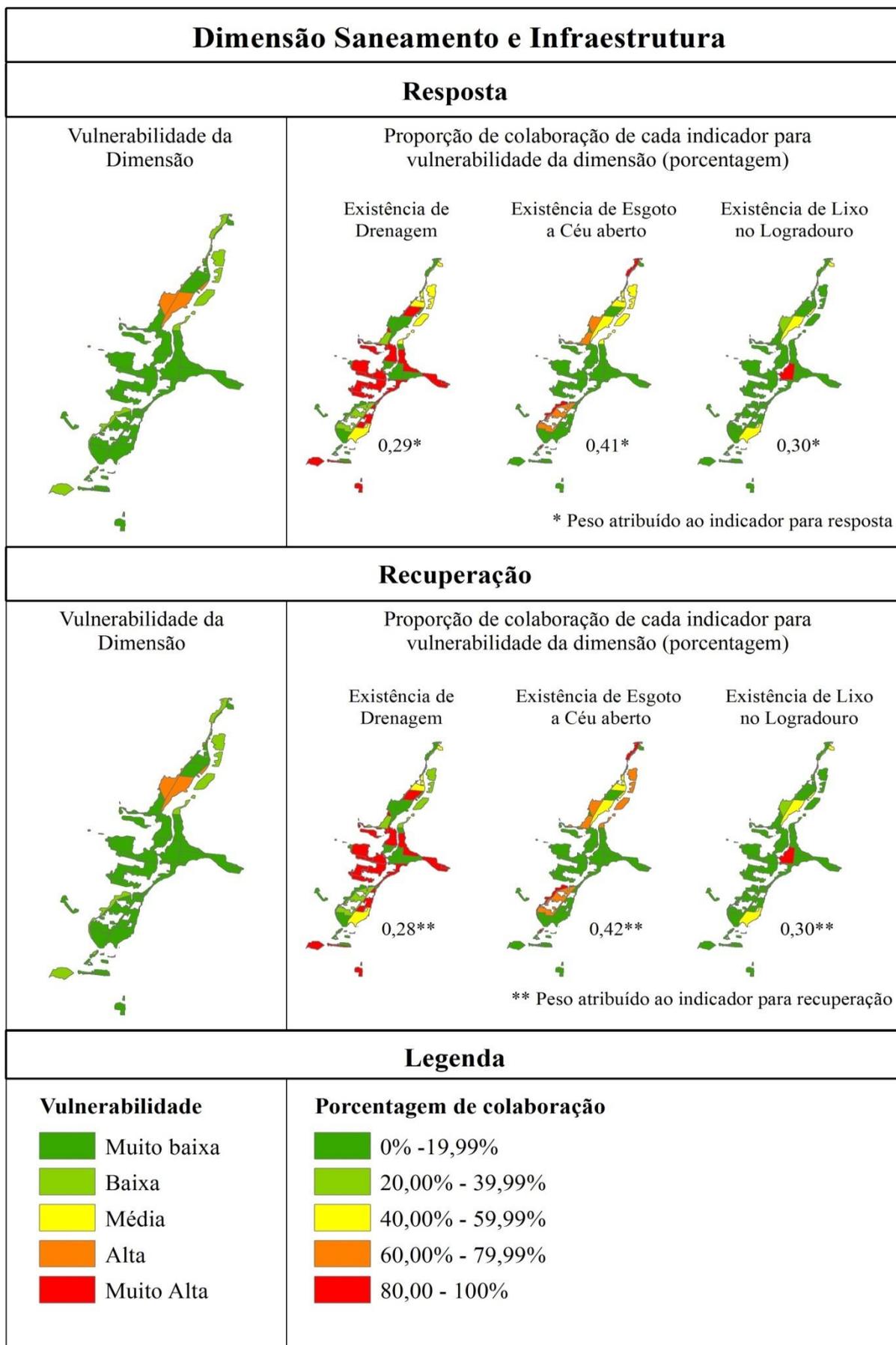


Figura 56: Contribuição dos Indicadores para Dimensão Saneamento e Infraestrutura

#### 4.2.4 Mapa de Vulnerabilidade Final à inundação

O mapa de Vulnerabilidade Final a inundações foi construído por meio do somatório da multiplicação do resultado de cada dimensão (Características Demográficas, Social e Saneamento e Infraestrutura), pelo seu respectivo peso. Está representado na Figura 57.

Conforme a Figura 57, os bairros Garibaldi, Moinho, Centro, Viaduto, Bom Pastor e Casa de Pedra, apresentaram baixa ou muito baixa vulnerabilidade. Este resultado era esperados, pois número de pessoas e domicílio deste setor é menor que nos demais. No bairro Centro, apesar de se esperar este tipo de resultado, não reflete a realidade. Como indica a pesquisa de RAMOS et al 2016, este é um dos locais com o maior número de registros sobre problemas relacionados a inundações. É uma área em que concentra bancos, algumas fábricas e comércio. A sede da Prefeitura Municipal e a maioria das secretarias se também se localizam nesta área.

Os bairros Figueiras, Vila Nova, XV de Novembro e Bom Pastor apresentaram setores com diferenças entre resposta e recuperação. Isto é evidenciado pela Figura 58, que mostra também a contribuição de cada dimensão para composição da Vulnerabilidade Final à Inundação.

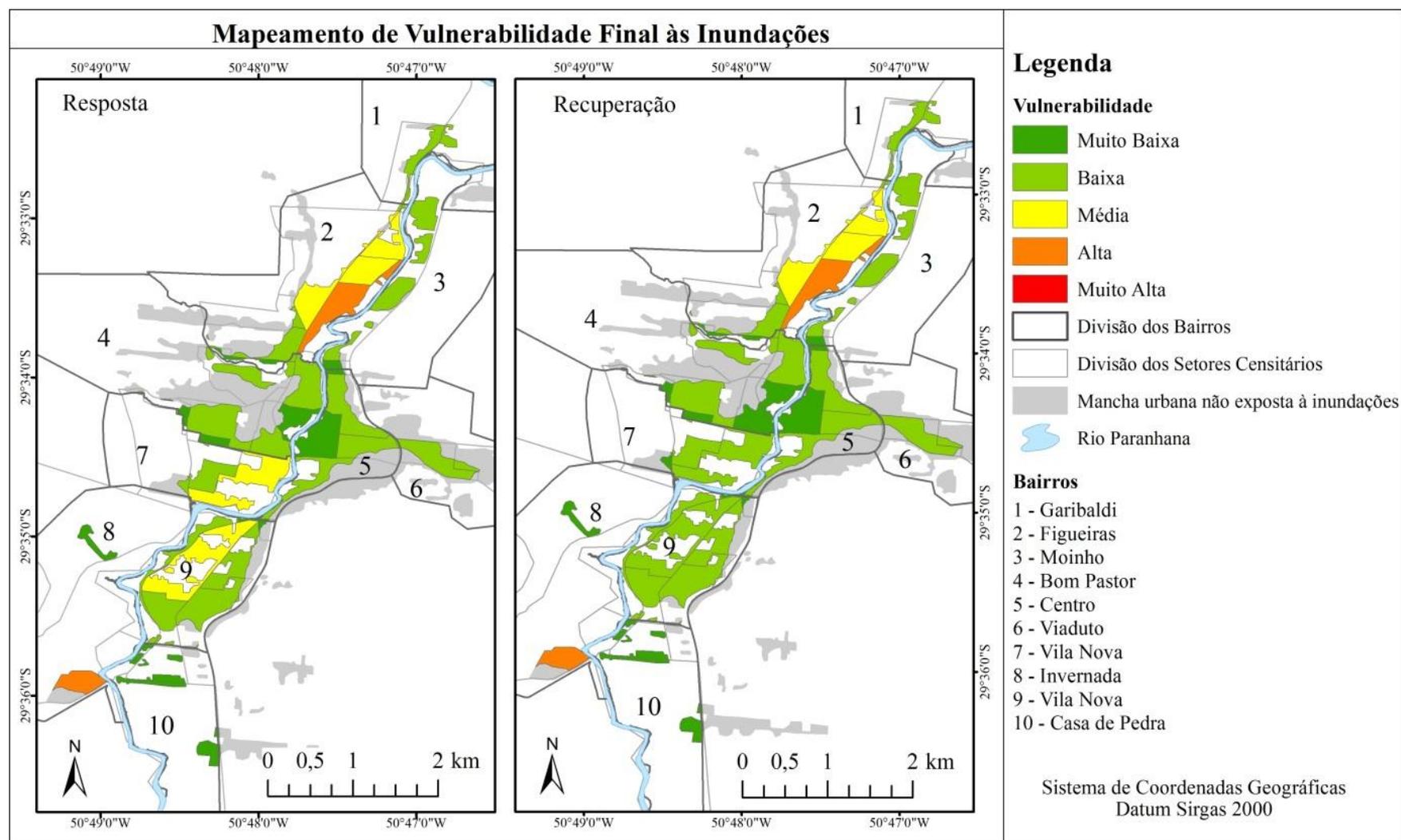


Figura 57: Mapa de Vulnerabilidade Final à inundações

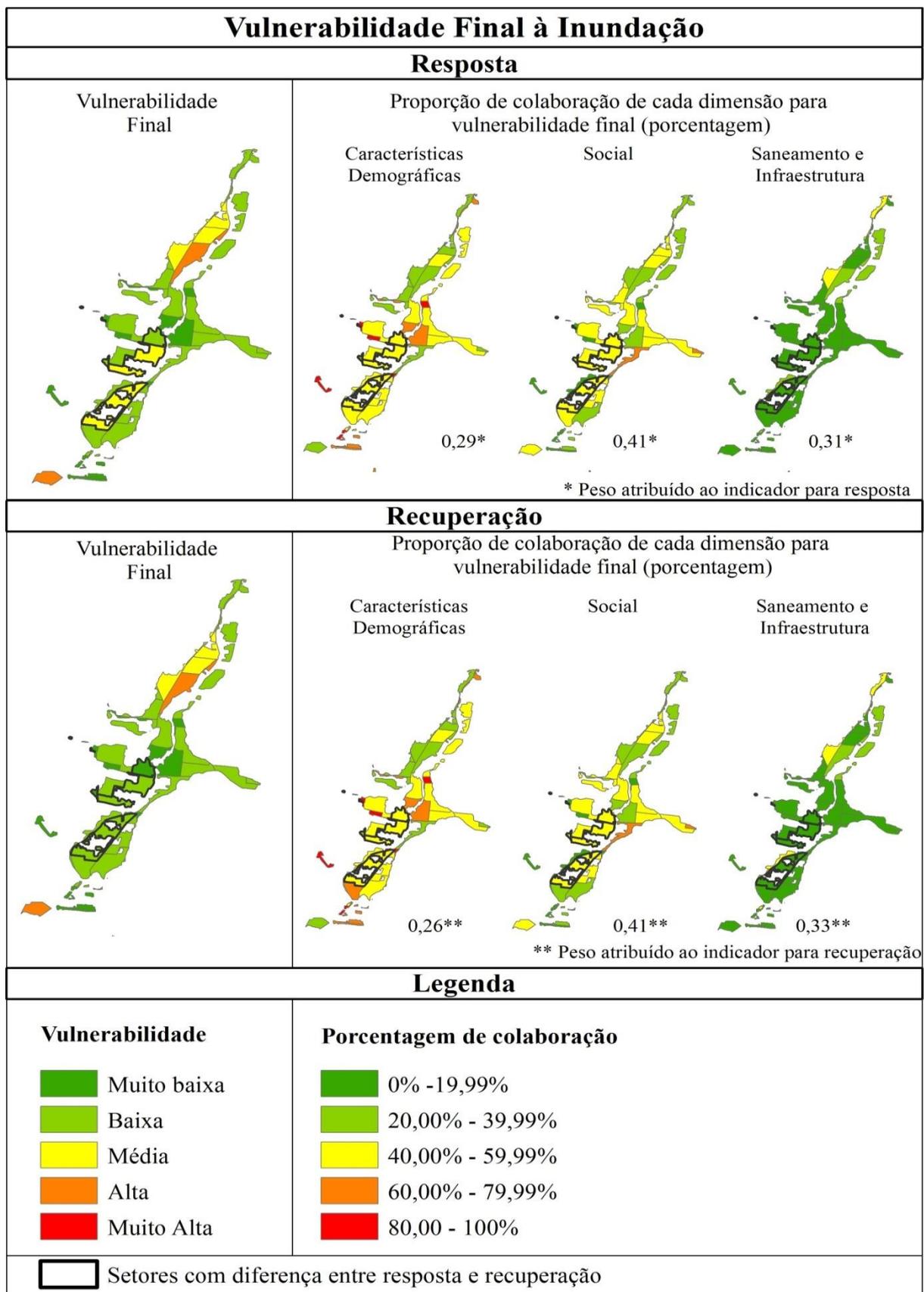


Figura 58: Contribuição das Dimensões para Vulnerabilidade Final à Inundações

É possível observar pela Figura 55 que no Bairro Figueiras, existem áreas de alta e média vulnerabilidade. Cada dimensão contribuiu com valores diferentes para composição da vulnerabilidade final à inundação. O setor com alta vulnerabilidade localizado ao norte, recebeu contribuição semelhante de cada dimensão, cerca de 33% tanto na resposta, quanto na recuperação.

Nota-se analisando a Figura 58, que a dimensão que menos contribuiu para o resultado final, em praticamente toda a área de estudo, foi a Saneamento e Infraestrutura. A participação desta dimensão foi mais efetiva no norte da cidade, no bairro Figueiras, principalmente em áreas localizadas nas margens do rio Paranhana.

As diferenças entre fases podem ser observadas na Figura 58, e se deve ao maior peso atribuído pelos especialistas à dimensão Características Demográficas, na resposta. O peso da dimensão Social, foi considerado o mesmo para as duas fases. Já na dimensão saneamento e infraestrutura, houveram diferenças entre os pesos, no entanto esta dimensão contribuiu significativamente em poucas áreas.

A parte central da cidade recebeu no geral, baixa ou muito baixa vulnerabilidade. A dimensão que mais contribuiu para região central foi a Características Demográficas. É uma área de alta exposição, no entanto o número de residentes é menor do que nos demais locais.

No extremo sul do município existe um setor classificado como de alta vulnerabilidade. Este resultado se deu principalmente pela contribuição da dimensão Social. Este resultado era esperado, pois este setor que possui maior população e o maior número de domicílios. Isto pode ser melhor observado pela Figura 38, pois esta área corresponde a uma ZIS. Não houve áreas classificadas com vulnerabilidade muito alta. Isto se deve à atribuição dos pesos aos indicadores e às dimensões.

#### 4.3 OBSERVAÇÕES E RECOMENDAÇÕES

##### 4.3.1 Indicadores de Vulnerabilidade

A utilização de dados do Censo Demográfico do IBGE de 2010 é muito eficaz, no sentido de que existe uma metodologia clara para sua coleta. Além disso, o censo é aplicado para todo Brasil, trazendo a possibilidade de replicação desta metodologia em outros municípios. No entanto, os dados do Censo não contêm variáveis específicas para o mapeamento de vulnerabilidade às inundações.

Existem variáveis importantes como renda e idade, que são essenciais para composição de indicadores e dimensões. É necessária uma leitura completada de todas as variáveis disponibilizadas e a seleção daquelas que mais serão úteis ao tema. A metodologia aplicada por CEPED-RS/UFRGS (2016b) também utilizou dados de idade e renda do IBGE para avaliação da vulnerabilidade. Os autores redistribuíram a informação censitária para o nível de edificação, devido às dificuldades de se obter esse tipo de dado em cada residência. Zonensein (2007) aponta em sua pesquisa que esta forma de redistribuição pode ocasionar erros, devido à generalização do dado. Considera um único valor para todas as edificações do setor censitário.

Optou-se por escolher não somente as variáveis do IBGE, pois havia outros dados para o município, que já foi área de estudo em outras pesquisas relacionadas ao tema. Desta forma, houve a necessidade de reescalonamento dos dados para compatibilizar com a escala utilizada pelo IBGE. Como exemplo, podemos citar os PCDs e também a mancha de inundação com tempo de retorno de 50 anos. Isto gerou perda de informação, já que os PCDs estavam especializados por residência e foram adensados para áreas específicas inundáveis, dentro da mancha urbana de cada setor.

Uma das vantagens da metodologia adotada é a possibilidade de utilização de diferentes dados para compor novos indicadores, dependendo somente da compatibilização com a escala de setor censitário. A maioria das metodologias estudadas fez uso somente dos dados do IBGE. É importante ressaltar que nem todos os municípios possuem os mesmos dados disponíveis. Isto é demonstrado pela pesquisa do CEPED-RS/UFRGS (2016b), que mapeou a vulnerabilidade de 8 municípios do estado do RS. Cada município possuía dados diferentes, que foram adaptados a metodologia da pesquisa.

Goerl et. al., (2012) utilizaram somente dados censitários e o IDHM para avaliar a vulnerabilidade. Para avaliação do risco, consideraram a área do setor inundada, dividido pela área total do setor. Esta metodologia desconsidera a localização da mancha urbana dentro setor. Traz uma representação que diverge da realidade, levando-se em consideração que dificilmente a população de um setor se distribui homoganeamente por sua área. Outro aspecto importante que podemos ressaltar da metodologia aplicada por estes autores, é a forma como o risco é calculada. Não leva em consideração os danos e o perigo. Isto foi justificado pela falta de dados sobre área.

A distribuição da mancha urbana e a sua interação com a mancha de inundação foram aspectos que tentaram ser compreendidos nos indicadores da dimensão

Características Demográficas, no indicador de exposição às inundações. É importante ressaltar o conceito de vulnerabilidade adotado por esta pesquisa, que considera vulnerável o indivíduo ou grupo exposto a um perigo específico (Wisner et. al., 2003), neste caso inundação. Desta forma a avaliação da vulnerabilidade foi feita sobre as áreas com ocupação susceptíveis ao processo.

#### 4.3.2 Método AHP

A utilização do método AHP foi bastante eficaz na definição dos pesos dos indicadores. Assim como Brito (2016) conclui em sua pesquisa, o método AHP mostrou-se como uma importante ferramenta no processo decisório, pois considera diferentes pontos de vista, dentro de um objetivo em comum. É uma técnica flexível, sendo aplicada em diversos trabalhos.

No entanto o processo de aplicação dos questionários mostrou-se oneroso, principalmente com pesquisadores ou especialistas que não conhecem o método. Dificuldades surgiram durante a etapa final, que foi a determinação do grau de consistência, que necessita ser menor que 10% de acordo com método. Os julgamentos tiveram que ser repensados inúmeras vezes pelos entrevistados.

Os pesos foram determinados para a resposta e a recuperação. Isto dificultou o processo decisório pois o entrevistado teve que estabelecer duas linhas de raciocínio para cada indicador e dimensão. Recomenda-se esclarecer muito bem os conceitos atribuídos para cada indicador. É importante também incentivar que os entrevistados façam observações e justificativas para a determinação dos pesos. Isto ajuda implementar futuras análises já que não se encontrou outras pesquisas trazendo esta abordagem.

Os pesos atribuídos aos indicadores divergiram muito, e isto pode estar associado as diferentes áreas de formação de cada participante, que possuem percepções e conhecimentos diferentes sobre cada indicador e dimensão. De acordo com o observado na aplicação dos questionários, cada entrevistado possui maior facilidade em julgar os indicadores em determinada dimensão ou fase. Desta forma, sugere-se para estudos futuros identificar grupos específicos para definição dos pesos, que tenham mais conhecimento, ou que sejam mais atuantes sobre determinado aspecto. Por exemplo, indivíduos que trabalhem diretamente na reposta, como a Defesa Civil, para determinar especificamente os pesos dos indicadores da dimensão social.

A divisão dos indicadores em dimensões facilitou a determinação dos pesos pela metodologia AHP. Um grande número de variáveis a serem julgadas, dificulta a obtenção do grau de consistência exigido. Entretanto observou-se questões relacionadas a essa divisão. A soma dos pesos dos indicadores definidos é 1, os pesos podem variar, mas a soma de todos será sempre a mesma. Quanto maior o número de indicadores dentro de uma determinada dimensão, menor poderá ser o valor dos pesos. Como é o caso da dimensão Social. Neste sentido, acredita-se que seja importante igualar o máximo possível o número de indicadores em cada dimensão.

#### 4.3.3 Mapas de Vulnerabilidade

A metodologia proposta identifica as áreas de maior vulnerabilidade na área de estudo, mesmo que a situação não seja extremamente precária. Como exemplo, podemos citar o indicador de domicílios com lixo no logradouro. Dos 76 setores censitários utilizados na pesquisa, apenas oito possuíam lixo acumulado no logradouro. O setor com o maior vulnerabilidade neste indicador possuía 25 domicílios com estas características. Não chega a 15% do número total de domicílios daquele setor. Desta forma, a situação deste setor não é extremamente vulnerável, mas é a pior situação existente dentro do universo de dados.

O reescalonamento das variáveis pode causar interferências no resultado final dos mapas, uma vez que não leva em consideração a proporção de valores de um indicador em relação ao outro. Isto pode ser visto comparando o número de PCD e o número de Crianças nos setores estudados. O número de PCD varia de 0 a 21, enquanto o de crianças varia 6 a 503. Com o reescalonamento, o maior valor de cada uma das séries de dados vai receber 1, enquanto o menor valor vai receber 0. Não existe a distinção entre as proporções de uma em relação ao outra. Deste modo a atribuição de um peso é muito importante para estabelecer um grau de importância de um indicador em relação a outro.

Silva (2014) na análise dos seus resultados descreve o escalonamento dos dados como um “facilitador” para utilização dos dados censitários. Contribuem para interpretação dos IVs, tendo em vista que objetivo principal é comparar a vulnerabilidade de cada setor.

Assim como conclui Silva (2016) em sua pesquisa, a presente proposta metodológica torna a vulnerabilidade relativa, pois se o mapeamento proposto for

realizado nos demais municípios da bacia do Paranhana, existe grandes possibilidades de se alterar a classificação da vulnerabilidade. Podem existir situações piores ou melhores do que as encontradas no município de Igrejinha.

Analisando por outro viés, esta limitação metodológica torna-se um fator positivo. Se analisarmos a pesquisa feita por CEPED-RS/UFRGS (2016b), observamos que existem padrões estabelecidos para baixa, média e alta vulnerabilidade. Desconsidera o fato de que cada município possui uma realidade diferente da outra, estabelecendo um padrão do que é mais ou menos vulnerável. Não analisa dentro do contexto do município os locais que necessitam de atenção, pois considera apenas as três faixas específicas. O que não ocorre na metodologia desta dissertação, que leva em consideração o universo de dados para definição das classes de vulnerabilidade, sendo possível ver a pior situação dentro do contexto analisado.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa teve como objetivo principal propor uma metodologia, baseada na utilização de SIG, para mapeamento de vulnerabilidade à inundação, a partir da integração de dados censitários e de outras fontes, utilizando como estudo de caso, o município de Igrejinha.

A vulnerabilidade então foi determinada por meio de dez indicadores de vulnerabilidade, distribuídos em três dimensões diferentes, que englobam aspectos relacionados às características demográficas, sociais, saneamento e infraestrutura.

A metodologia dasimétrica utilizada na elaboração dos mapas de vulnerabilidade se mostrou eficaz para localizar a população residente dentro de um setor. O método binário, entre os demais é de aplicação simples, no entanto não se consegue observar variações de densidade na mancha urbana. Também não possibilita diferenciar os usos das edificações, o que pode gerar distorções dependendo do que se está sendo avaliado.

A aplicação dos questionários AHP consistiu em uma das etapas mais onerosas da metodologia proposta, levando-se em consideração que os pesos foram atribuídos para fases diferentes do gerenciamento de um desastre: resposta e recuperação. Os especialistas consultados não demonstraram um consenso em relação a diferenciação da importância dos indicadores entre as fases, como pode ser observado nos gráficos de dispersão apresentados. No entanto, nota-se que o indicador de renda é o que obteve maior concentração de valores, o que não é observado neste indicador na recuperação. Desta forma, conclui-se que seja necessário o aprofundamento desta discussão em trabalhos futuros.

Entre as vantagens desta metodologia está o fato de que como o censo é realizado a cada 10 anos. Desta forma será possível a aplicação deste mesmo método futuramente, utilizando uma base de dados mais atualizada que atual, comparando-se os mapeamentos realizados com dados de 2010 e 2020

A utilização de SIG foi muito eficaz no cálculo dos indicadores, bem como a integração das informações necessárias para representar graficamente a vulnerabilidade na área estudada. O programa SIG utilizado permitiu a exposição dos resultados de maneira rápida e fácil. Os mapas mostrando a porcentagem de colaboração dos indicadores ajudaram entender como os indicadores se interrelacionam para composição da vulnerabilidade das dimensões e a final.

Os dados do IBGE foram muito úteis na construção dos indicadores. No entanto, destaca-se a necessidade de outras informações para melhor avaliação da vulnerabilidade. Fatores como capacidade de resposta, aspectos construtivos das edificações, localização dos serviços públicos, entre outros, são importantes para avaliar a vulnerabilidade. Devido à disponibilidade de tempo e a falta de dados, não foi possível abordar os aspectos supracitados.

O mapa de vulnerabilidade final às inundações do município de Igrejinha demonstrou que as áreas de maior vulnerabilidade se encontram nas zonas periféricas do município, localizadas ao norte e ao sul. São áreas que possuem grande concentração de população devido à incentivos dados por diretrizes presentes no plano diretor.

A parte central do município é a que possui menor vulnerabilidade, pois existem poucas pessoas residindo nesta área. No entanto, esta área é altamente impactada pelas inundações e enxurradas, pois é aonde concentra-se o comércio local e também a sede e demais secretárias do governo municipal. Desta forma, conclui-se para estimar corretamente os impactos das inundações no município, é necessário estimar risco. Além da vulnerabilidade, o risco aborda os danos e o perigo, que são essenciais para gestão e o gerenciamento de desastres.

## 6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, V.; KAUFMAN, S. R.; HATTUM, T. V. MOODY, S. **Aging Disaster: Mortality, Vulnerability, and Long-Term Recovery Among Katrina Survivors.** *Med Anthropol.* v. 30. n. 3. p. 247-270, 2011.

AMARAL, R.; RIBEIRO, R.R. **Inundação e Enchentes.** In: TOMINGA, K. L.; SANTORO, J.; AMARAL, R. *Desastres Naturais – Conhecer para Prevenir.* São Paulo: IPT. 2012. Disponível em: <<http://www.igeologico.sp.gov.br/downloads/livros/DesastresNaturais.pdf>> Acesso em: 25 de janeiro de 2016.

ANDRADE, E; DANNA, L.C.; Santos, M.; Silva, P. **Levantamento de ocorrências de inundação em registros de jornais como subsídio ao planejamento regional e ao mapeamento de risco.** 7º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental (7º SBCGG). *Anais...*Maringá: 2010.

ANDRIENKO, G.; ANDRIENKO, N.; SAVINOV, A. **Choropleth Maps : Classification Revisited.** Proceedings of ICA. *Anais...*Beijing: Scientific and Technical Program Committee LOC, 2001. Disponível em: <<http://geoanalytics.net/and/papers/ica01.pdf> >.

AKTER, T.; SIMONOVIC, S. P. **Aggregation of Fuzzy Views of a Large Number of Stakeholders for Multi-objective Flood Management Decision-making.** *Journal of Environmental Management.* Amsterdam: Elsevier. v. 77, n. 2, p. 133–143, 2005

BARROCA B.; BERNARDARA P.; MOUCHEL J. M.; HUBERT G.. **Indicators for identification of urban flooding vulnerability.** *Natural Hazards and Earth System Sciences,* v. 6, n. 4, p. 553–561, 2006.

BHANDARI, R. K. **Disaster Education and Management.** New Delhi: Springer India, 2014.

BID – Banco Interamericano de Desarrollo. **Indicadores de Riesgo de Desastre y de Gestión de Riesgos.** El Savador, BID, 2011.

BIELEKA, E. **A dasymetric population density map of Poland.** In: International Cartographic Conference, 22., 2005. Corunna. *Anais...* Corunna: International Cartographic Association, 2005.

BIRKMANN, J. **Measuring vulnerability to promote disaster-resilient societies : Conceptual frameworks and definitions.** *Measuring Vulnerability to Natural Hazards; Towards Disaster Resilient Societies,* v. 1, p. 9–54, 2006.

BLAIKIE, P. et al. **At Risk: Natural Hazards, People’s Vulnerability, and Disasters.** *Human Ecology,* v. 24, n. 1, p. 141–145, 1996.

BRAUCH, H. G. et al. **Coping with Global Environmental Change, Disasters and Security.** Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011. v. 5

BRASIL. **Decreto Federal nº 6.135 de 26 de junho 2007. Dispõe sobre o Cadastro Único para Programas Sociais do Governo Federal.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 2007 .

BRASIL. **Lei 12.608 de 10 de abril de 2012 Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC.** Diário oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF. n. 70. p. 1. 11 de abril de 2012. Seção 1.

BRASIL. Lei nº 8.069, de 13 de julho de 1990. **Dispõe sobre o Estatuto da Criança e do Adolescente e dá outras providências.** Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L8069.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L8069.htm) > Acesso em: 20 de outubro de 2015

BRASIL. Lei nº 10.741 de 1º de outubro de 2003. **Dispõe sobre o Estatuto do Idoso e dá outras providências.** Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/2003/L10.741.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2003/L10.741.htm) > Acesso em: 20 de outubro de 2015

BRASIL **Instrução Normativa Nº 1 de 24 de Agosto de 2012. Estabelece procedimentos e critérios para a decretação de situação de emergência ou estado de calamidade pública..** 2012b. Disponível em: <[http://www.mi.gov.br/c/document\\_library/get\\_file?uuid=822a4d42-970b-4e80-93f8-dae395a52d1&groupId=301094](http://www.mi.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=822a4d42-970b-4e80-93f8-dae395a52d1&groupId=301094)> Acesso em 01 de janeiro de 2015.

BRESSANI, L. A. (coord) (2014) **Elaboração de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais no município de Igrejinha, RS: relatório final.** Centro de Pesquisas e Estudos sobre Desastres no Rio Grande do Sul; coordenação geral Luiz A. Bressani. – Porto Alegre: UFRGS, CEPED-RS, 2014. 1 v. Disponível em: <[http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo/index.php?option=com\\_content&view=article&id=117:cartasgeotecnicasigrejinha&catid=15:projetos-non-visible](http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo/index.php?option=com_content&view=article&id=117:cartasgeotecnicasigrejinha&catid=15:projetos-non-visible)> Acesso em: 01 de fevereiro de 2016.

BRESSANI, L. A.; ANTÔNIO, E. **Mapeamento geotécnico – suscetibilidade, perigo, vulnerabilidade técnica, risco instalado e risco.** 14º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. **Anais...**Rio de Janeiro: ABGE, 2013

BRITO, M. M. DE. **Geoprocessamento aplicado ao mapeamento da suscetibilidade a escorregamentos no município de Porto Alegre, RS.** [s.l.] Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014.

BRITO, M. M.; EVERS, M. **Multi-criteria decision-making for flood risk management: a survey of the current state of the art.** Natural Hazard and Earth System Sciences. v.16, p. 1019-1033, 2016.

BRUBACHER, J. P.; OLIVEIRA, G. G.; GUASSELLI, L. A. **Identificação e análise de eventos extremos de precipitação na bacia hidrográfica do rio dos Sinos/RS.** In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE DESASTRES NATURAIS, 1., 2012, Rio Claro. **Anais...** 2012. p. 1-10, CD-ROM.

- BUZAI, G.D. **Mapas Sociales urbanos**. Buenos Aires: Lugar Editorial, 2014.
- CARVALHO, M. S.; PINA, M. F.; SANTOS, S. M. (Org.) **Conceitos Básicos de Sistemas de Informação Geográfica e Cartografia Aplicados à Saúde**. Brasília: Organização Panamericana de Saúde/Ministério da Saúde, 2000.
- CARVALHO, E. A. DE; ARAÚJO, P. C. DE. **Leituras Cartográficas e Interpretações Estatísticas I**. Natal: EDUFRN, 2008.
- CEPED-RS/UFRGS. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas Sobre Desastres. **Capacitação em Gestão de Riscos**. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016a.
- CEPED-RS/UFRGS. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas Sobre Desastres. **Mapeamento de Vulnerabilidade à Áreas Susceptíveis à Inundações e Deslizamento em 8 Municípios do Rio Grande do Sul – Igrejinha**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016b.
- CEPED-SC/UFSC – Centro Universitário de Estudos e Pesquisas Sobre Desastres. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2012**. 2 ed . rev. ampl. - Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2013. v. Rio Grande do Sul. Disponível em: <<http://www.unisc.br/site/mudancaclima/wp-content/uploads/2017/03/RS.pdf>> Acesso em: 15 de maio de 2016.
- CFCAS - Canadian Foundation for Climate and Atmospheric Sciences. **Floods: Mapping Vulnerability in the Upper Thames Watershed under a Changing Climate**. Canada: CFCAS, 2007. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/4740/7fe199eaf440a0a21d8f8e95f7fb5be8a966.pdf>> Acesso em: 24 de maio de 2017.
- COLLINS, T. W. et al. Mapping vulnerability to climate change-related hazards: children at risk in a US–Mexico border metropolis. **Population and Environment**, v. 34, n. 3, p. 313–337, 26 mar. 2013.
- COPOLLA, D. **Introduction to International Disaster Management**. 3 ed. Oxford: Elsevier. 2015.
- CPRM – Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais. **Setorização de Risco Geológico**. 2011?. Disponível em: <<http://cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Geologia-de-Engenharia-e-Riscos-Geologicos/Setorizacao-de-Riscos-Geologicos-4138.html>> Acesso em: 12 de outubro de 2016.
- DEWAN, A. **Floods in a Megacity: Geospatial Techniques in Assessing Hazards, Risk and Vulnerability**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2013.
- DUTENKEFER, EDUARDO. **Representações do espaço geográfico: mapas dasimétricos, anamorfoses e modelização gráfica**. 2010. Dissertação – USP, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, São Paulo, Brasil, 2010. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8136/tde-25022011-115539/pt-br.php>> Acesso em: 23 de julho de 2016.

EDWARDS, J. GUSTAFSSON, M. LANDENMARK, B. N. **Handbook for Vulnerability Mapping**. SRSA, 2007. Disponível em: <<http://www.unep.fr/shared/publications/pdf/ANNEXES/3.2.4%20Risk%20assessment%20and%20vulnerability%20maps/Handbook%20for%20Vulnerability%20Mapping.pdf>> Acesso em: 24 de maio de 2017.

EICHER, C. L.; BREWER, C. A. Dasymetric Mapping and Areal Interpolation: Implementation and Evaluation. **Cartography and Geographic Information Science**, v. 28, n. 2, p. 125–138, jan. 2001.

EVERS, M. **Decision support systems for integrated river basin management: requirements for appropriate tools and structures for a comprehensive planning approach**, Hanover: University of Hanover, 2008.

FELL, R. et al. Guidelines for landslide susceptibility , hazard and risk zoning for land use planning. **Engineering Geology**, v. 102, n. 3–4, p. 85–98, 2008.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem Complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FISHER, P. F.; LANGFORD, M. **Modelling the Errors in Areal Interpolation between Zonal Systems by Monte Carlo Simulation**. *Environment and Planning A*, v. 27, n. 2, p. 211–224, 1995.

FRANÇA, V. O.; STRAUCH, J. C. M.; AJARA, C. Método Dasimétrico inteligente: uma aplicação na mesorregião metropolitana de Belém. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 66, n. 6, p. 1395–1411, 2014.

FREIRE, S.; GOMES, N. **Aplicação de Mapeamento Dasimétrico Interligente na Modelação e da Distribuição espaço-temporal da População na Área Metropolitana de Lisboa**. In: XII Colóquio Ibérico de Geografia. Porto: AGE, 2010

OLIVEIRA, G. G. ; QUEVEDO, R. P. ; GUASSELLI, L. A. ; MENEZES, P. H. N. . **Expansão urbana nas áreas inundáveis do rio Paranhana no município de Igrejinha/RS**. In: XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO-SBSR, 16, 2013, Foz do Iguaçu. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. São José dos Campos: INPE, 2013. p. 920-927

GOERL, R. F.; KOBİYAMA, M.; PELLERIN, J. R. G. M. **Proposta metodológica para mapeamento de áreas de risco a inundações: estudo de caso do município de Rio Negrinho – SC**. *Boletim de Geografia*, v. 30, n. 1, p. 81–100, 21 jun. 2012.

GUASSELLI, L. A.; OLIVEIRA, G. G.; QUEVEDO, R. P.; BRUBACHER, J. P. **Modelagem Hidrológica e Espacialização de Áreas Suscetíveis às Inundações no Município de Igrejinha, RS**. *Geo Uerj*. n. 28, p. 353-380, 2016

Hajkowicz, S. and Collins, K.: **A review of multiple criteria analysis for water resource planning and management** *Water Resource Management*. v. 21. p. 1553 - 1566, 2007

HOGAN, D. J.; MARANDOLA, 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: UNICAMP, 2007.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Canada: Freisens. 2007

**Climate Change 2007: impacts, adaptation and vulnerability: contribution of Working Group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. v. 57

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Solos**. 2003. Disponível em: <[ftp://geofp.ibge.gov.br/mapas\\_tematicos/pedologia/cartas\\_escala\\_250mil/sh22xc\\_ped.pdf](ftp://geofp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/pedologia/cartas_escala_250mil/sh22xc_ped.pdf)> Acesso em: 01 de maio de 2015

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Base de informações do Censo Demográfico 2010: Resultados do Universo por setor censitário. IBGE, 2011.

IGREJINHA. **Levantamento Aerofotogramétrico da Área Urbana do Município de Igrejinha**. Igrejinha, 2013.

IGREJINHA. Lei Municipal nº 3824 de 27 de outubro de 2006. **Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano, Rural e Ambiental do Município De Igrejinha**. Disponível em: <<http://cespro.com.br/visualizarDiploma.php?cdMunicipio=7565&cdDiploma=20063824&NroLei=3.824&Word=&Word2=>>> Acesso em: 3 de março de 2014.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2007 – Impacts, Adaptation na Vulnerability**. Canada: Freisens, 2007.

IPEA. **Atlas da Vulnerabilidade Social nos Municípios Brasileiros**. Cambridge: Cambridge University Press, 2015.

ISSMGE - International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. **Glossary of Risk Assessment Terms** - Version 1. London: TC32 - Technical Committee on Risk Assessment and Management 2004. Disponível em : <[http://140.112.12.21/issmge/2004Glossary\\_Draft1.pdf](http://140.112.12.21/issmge/2004Glossary_Draft1.pdf)> Acesso em:12 de dezembro de 2014.

JENSEN, J. R.; JENSEN, R. R. **Introductory Geographic Information Systems**. Glenview: Pearson, 2012.

KENYON,W. **Evaluating flood risk management options in Scotland: a participant-led multi-criteria approach**. Ecological Economics. Elsevier. v. 64. p. 70–81, 2007.

KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D. A.; MARCELINO, I. P. V. O.;

MARCELINO, E. V.; GONÇALVES, E. F.; BRAZETTI, L. L. P.; GOERL, R. F.; MOLLERI, G. S. F.; RUDORFF, F. M. **Prevenção de Desastres Naturais, Conceitos Básicos**. Editora Organic Trading, 1ª edição, Florianópolis – SC, 2006.

Konecny, G **Geoinformation: Remote Sensing, Photogrammetry and Geographic Information Systems**, New York: Taylor & Francis, 2003.

KRON, W. Keynote Lecture: Flood Risk = Hazard X Exposure X vulnerability. In: Wu, B; WANG, Z.; WANG, G.; HUANG, G.; FANG, H; HUNG, J. **Flood Defence**. New York Ltda, 2002. Disponível em: <<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779571681919/kron%20-%20flod%20risk%20=%20hazard.pdf>> Acesso em 25 de janeiro 2015.

LONGLEY, P.A.; GOODCHILD, M.F.; MAGUIRE, D.J.; RHIND, D.W. **Sistemas e Ciência da Informação Geográfica**. 3ª ed. Porto Alegre. Bookman. 2013.

LEMMENS, M. **Geo-information: technologies, applications and the environment**. [s.l: s.n.].

LUCAS, T. DE P. B.; AUGUSTO, P.; REIS, S.; ROCHA, S. C. Impactos hidrometeorológicos em Belo Horizonte - MG. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 16, p. 8–28, 2015.

MAANTAY, J. A. MAROKO, A. R.; HERRMANN, C. **Mapping Population Distribution in the Urban Environment: The Cadastral-based Expert Dasymeric System (CEDS)**. Cartography and Geographic Information Science. v. 34, n. 2. p. 77-102, 2007

MAANTAY, J. A. MAROKO, A. R.; CULP, G. Using Geographic Information Science to Estimate Vulnerable Urban populations for Flood Hazard and Risk Assessment in New York City. In: SHOWALTER, P. S.; LU, Y. **Geospatial Techniques in Urban Hazard and Disaster Analysis**. Springer, 2010.

MACEDO, E. S. e BRESSANI, L. A. (Org.) **Diretrizes para o zoneamento da suscetibilidade, perigo e risco de deslizamento para planejamento do uso do solo**. 1ª ed. 2013.

MARCELINO, E. M.; NUNES, L. H.; KOBAYAMA, M. **Banco de Dados de Desastres Naturais: Análise de Dados Globais e Regionais**. *Caminhos de Geografia*. Uberlândia, v.6, n. 19. p. 130 – 149, 2006.

MASTERTON, J. H.; PEACOCK, G. W.; ZANDT, V. S. S.; GROVER, H.; SCHWARZ, L. F.; COOPER JR, J. T. **Planning for Community Resilience: A Handbook for Reducing Vulnerability to Disasters**. 2. ed. Washington, DC: Island Press/Center for Resource Economics, 2014.

MEDEIROS, C. N.; ALBUQUERQUE, E. L. **Mapeamento Da Vulnerabilidade Social em Nível de Setores Censitários: Estudo de Caso Para o Município de Caucaia (CE)**. Fortaleza: IPECE, 2014.

MENIS, J.; HULTGREN. **Intelligent Dasymetric Mapping and Its Application to Areal Interpolation**. Cartography and Geographic Information Science. v. 33, n. 3, p. 179-194, 2006.

MONTZ, B.; GRUNTFEST, E. **Flash flood mitigation: recommendations for research and applications**. Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards, v. 4, n. 1, p. 15–22, mar. 2002.

MP – Ministério do Planejamento. **Lançado Plano Nacional para prevenção de desastres naturais**. 2012. Disponível em: <<http://www.pac.gov.br/noticia/c1619715>> Acesso em: 15 de janeiro de 2016.

NEGRÃO, G. N.; SILVA, L. M. **Abordagem Sistêmica na Gestão de Riscos Urbanos e Planejamento Territorial no Município de Guaraparuva, PR**. Geographia Opporuno Tempore, Londrina, v, 1, número especial, p. 441-453. 2014.

NGO, E. B. When disasters and age collide: Reviewing vulnerability of the elderly. **Natural Hazards Review**, v. 2, n. 2, p. 80–89, maio 2001.

PMI – Prefeitura Municipal de Igrejinha. **Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica do Município de Igrejinha, RS**. 2012.

PRÓ-SINOS - **Plano de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos**. 2014. Disponível em: < <http://www.consorcioprosinos.com.br/consorcio/?c=plano-de-bacia>> Acesso em: 10 de outubro de 2015.

OLSON, D. L.; WU, D. Natural Disaster Risk Management. In: **Enterprise Risk Management Models**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010. p. 57–69.

OLIVEIRA, G. G. ; QUEVEDO, R. P. ; GUASSELLI, L. A. ; MENEZES, P. H. N. . **Expansão urbana nas áreas inundáveis do rio Paranhana no município de Igrejinha/RS**. In: XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO-SBSR, 16, 2013, Foz do Iguaçu. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. São José dos Campos: INPE, 2013. p. 920-927.

OLIVEIRA, H. T.; SILVA, J. E.; SANTOS, M. O.; OLIVEIRA, S. S.; GALVÍNCIO, J. D. **Evolução espaço-temporal da drenagem superficial e do processo de impermeabilização em Santo Amaro, Recife-PE**. Revista Brasileira de Geografia Física. v. 8, n. 6. p. 1571-1587, 2015.

PELLING, M. et al. **Reducing disaster risk: a challenge for development**. New York: UNDP, 2004.

PHUNG, D. et al. The spatial distribution of vulnerability to the health impacts of flooding in the Mekong Delta, Vietnam. **International Journal of Biometeorology**, v. 60, n. 6, p. 857–865, 2016.

PRATT, C.; KALY, U.; MITCHELL, J. **Manual: How to use the environmental vulnerability Index (EVI)**. UNEP, 2004.

PRÓ-SINOS - **Plano de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos**. 2014. Disponível em: < <http://www.consorcioпросinos.com.br/consorcio/?c=plano-de-bacia>> Acesso em: 10 de outubro de 2015.

RAMOS, P. A. S.; REIS, M. S.; ANDRADES FILHO, C. O. **Levantamento e Análise das Ocorrências de Inundação e Enxurrada no Município de Igrejinha – RS entre 1982 e 2015**. In: Salão Integrado de Ensino Pesquisa e Extensão (SIEPEX) 6., 2016. Bagé. *Anais...* Bagé: Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, 2016.

RAMSBOTTOM D., FLOYD P. AND PENNING-ROWSELL E. **Flood risks to people. Phase 1**. London: Defra Flood Management Division, 2003.

RANKE, U. **Natural Disaster Risk Management – Geosciences and Social Responsibility**. Springer, 2016.

RECKZIEGEL, B. **Levantamento dos desastres desencadeados por eventos naturais adversos no Estado do Rio Grande do Sul no período de 1980 a 2005**. Dissertação de mestrado UFSM. Santa Maria. 2007.

RIGHETTO, A. M. (Coord.). **Manejo de Águas Pluviais Urbanas**. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

ROSOT, M. A. D.; ROSOT, N. C.; GARRASTAZU, M. C. **Cadernos de Geoprocessamento: Roteiro Prático para Vetorização e Edição Temática Usando o Software gvSIG**. ed 1. Embrapa, 2013.

ROSSATO, M. S. **Os Climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, Tendências e Tipologia**. 2011. 253f. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

ROSSONI, F. R. **Decisão Multicritério**. Dissertação de Mestrado. FACCAMP. Campo Limpo Paulista. 2011.

ROY, D. C. BLASCHKE, T. **Spatial vulnerability assessment of floods in the coastal regions of Bangladesh**. *Geomatics, Natural Hazard and Risk*. v. 6, n. 1, p. 21-44, 2013.

SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process**. New York: McGraw-Hill, 1980.

SAITO, S. M.; SORIANO, E; LONDE, L. R. **Desastres Naturais**. In: SAUSEN, M. T.; LACRUZ, M. S. P. (Org). **Sensoriamento Remoto Para Desastres**. São Paulo: Oficina de Texto. 2015.

SANTANGELO, N.; SANTO, A.; CRESCENZO, G.; FOSCARI, Z.; LIUZZA, V.; SCJARROTTA, S.; SCORPIO, V. **Flood Susceptibility Assessment in a Highly Urbanized Alluvial Fan: The Case Study of Sala Consilina** (southern Italy). *Natural Hazards and Earth System Science*, v. 11, n. 10, p. 2765–2780, 2011.

SANTOS, K. R. DOS. Inundações urbanas: um passeio pela literatura. *Èlisée, Rev. Geo.*, v. 1, n. 1, p. 177–190, 2012.

SAUSEN, T. M.; LACRUZ, M. S. P. Sistema Sensores e Desastres. In SAUSEN, M. T.; LACRUZ, M. S. P. (Org). **Sensoriamento Remoto Para Desastres**. São Paulo: Oficina de Texto. 2015.

SCHOLTEN, H. J. & LEPPER, M. J. C. **The benefits of the application of geographical information systems in public and environmental health, world health statistical**. *Quarterly Report*, 44:160-170, 1991.

SCHUMANN, L. A.; MOURA, L. B. A. Índices Sintéticos De Vulnerabilidade: Uma Revisão Integrativa De Literatura. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 20, n. 7, p. 2105–2120, 2015.

SEMAD - MG – Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **Atlas de vulnerabilidade a inundações no estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: SEMAD, 2013.

SILVA, A. B. **Sistema de Informações Geo-referenciadas: Conceitos e Fundamentos**. Campinas: Unicamp, 2003.

SILVA, A. P.; MORATO, R. G.; KAWAKUBO, F. S. **Mapeamento da Distribuição Espacial da População Utilizando o Método Dasimétrico: Exemplo de Caso no Sudeste do Brasil**. *Revista Brasileira de Geografia Física*. V. 06, N. 01 2013

SILVA, L. DE L. E. Índice de Vulnerabilidade Social (IVS): Contrucción y Aplicación en Porto Alegre, Brasil. **Geografía y Sistemas de Información Geográfica**, v. 6, n. 6, p. 242–256, 2014.

SLOCUM, T. A.; MCMASTER, R. B.; KESSLER, C. F.; HOWARD, H. H. **Thematic Cartography and Geovisualization**. 3 ed. New Jersey: Prentice-Hall, 2009.

SU, M; LIN, M; HSIEH, H.; TSAI, B.; LIN, C. **Multi-layer multi-class dasymetric mapping to estimate population distribution**. *Science of the Total Environment*. v. 408, n. 20, p. 4807 – 4816, 2010.

TOMLIN, D. **Geographic information systems and Cartographic Modeling**. New York: Prentice Hall, 1990

TUCCI, C. E. M. **Águas Urbanas**. *Estudos Avançados*. v.22, n. 63. p. 97-112, 2008

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. **Inundações Urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003. Disponível em:

<<http://www.cepal.org/samtac/noticias/documentosdetrabajo/5/23335/inbr02803.pdf>>  
Acesso em 30 de julho de 2015.

UNISDR – ONU. United Nations International Strategy for Disaster Reduction. **Terminology on Disaster Risk Reduction**. Genebra: ONU, 2009. Disponível em: <[http://www.unisdr.org/files/7817\\_UNISDRTerminologyEnglish.pdf](http://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologyEnglish.pdf)> Acesso em 22 de setembro de 2016.

UNISDR – ONU. **Living with risk: a global review of disaster reduction initiatives**. v. 1. Geneva: ONU, 2004.

UNDP - United Nations Development Programme. **Reducing Disaster Risk a Challenge for Development**. New York: UNDP, 2004

VOOGD, H. **Multicriteria evaluation for urban and regional planning**. London: Pion Ltd, 1983.

WARMINGTON, V. **Disaster reduction: a review of disaster prevention, mitigation and preparedness**. Ottawa: Reconstruction and Rehabilitation Fund of the Canadian Council for International Cooperation, 1995.

WISNER, B.; BLAIKIE, P.; CANNON, T.; DAVIS, I. **At Risk – Natural Hazards, Peoples’s Vulnerability and Disasters**. 3. ed. 2003. Disponível em: <[http://www.preventionweb.net/files/670\\_72351.pdf](http://www.preventionweb.net/files/670_72351.pdf) > Acesso em: 12 de Agosto de 2016.

ZONENSEIN, Juliana. **Índice de Risco de Cheia como Ferramenta de Gestão de Enchentes**. 2007. 115f. Tese. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.