

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES

PRODUTO 3.3a MAPEAMENTO DE VULNERABILIDADE À INUNDAÇÃO, EM  
ESCALA REGIONAL, NA BACIA DO TAQUARI-ANTAS COM BASE EM  
VARIÁVEIS DO CENSO DO IBGE

**RF**  
RELATÓRIO FINAL

Porto Alegre  
Fevereiro/2017

## SUMÁRIO

PRODUTO 3.3a MAPEAMENTO DE VULNERABILIDADE À INUNDAÇÃO, EM ESCALA REGIONAL, NA BACIA DO TAQUARI-ANTAS COM BASE EM VARIÁVEIS DO CENSO DO IBGE .....	1
1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1 Objetivo do projeto .....	4
2. METODOLOGIA .....	4
2.1. Levantamento bibliográfico .....	4
2.2. Levantamento de variáveis junto ao censo do IBGE .....	5
2.4. Método AHP para hierarquização/ponderação das variáveis .....	6
2.5. Elaboraração dos mapas .....	10
3. RESULTADOS.....	11
3.1. Definição das variáveis do censo do IBGE 2010.....	11
3.3.1. Condição da moradia .....	12
3.3.2. Capacidade de mobilidade/autonomia de pessoas e renda.....	14
3.3.3. Saneamento básico .....	15
3.3.4. Condição dos acessos.....	16
3.2. Espacialização das variáveis do censo do IBGE 2010.....	16
3.3. Definição dos pesos das variáveis do censo do IBGE .....	31
3.4. Mapa de vulnerabilidade à inundaçã.....	38
4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	41
REFERÊNCIAS.....	42

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização da área de ponderação da região de Caxias do Sul, na Bacia do Taquari-Antas. ....	7
Figura 2 - Espacialização da variável “inexistência de banheiro ou sanitário”, por setor censitário, para a Bacia do Taquari-Antas. ....	18
Figura 3 - Espacialização da variável “esgotamento sanitário precário”, por setor censitário, para a Bacia do Taquari-Antas.....	19
Figura 4 - Espacialização da variável “domicílios sem abastecimento de água de companhia distribuidora”, por setor censitário, para a Bacia do Taquari-Antas.....	20
Figura 5 - Espacialização da variável “densidade dos domicílios”, por setor censitário, para a Bacia do Taquari-Antas.....	21
Figura 6 - Espacialização da variável “número de pessoas com idade até 14 anos”, por setor censitário, para a Bacia do Taquari-Antas.....	22
Figura 7 - Espacialização da variável “número de pessoas com idade acima de 60 anos”, por setor censitário, para a Bacia do Taquari-Antas. ....	23
Figura 8 - Espacialização da variável “renda mensal per capita de até ¼ do salário mínimo”, por setor censitário, para a Bacia do Taquari-Antas. ....	24
Figura 9 - Espacialização da variável “presença de lixo acumulado nas ruas”, por setor censitário, para a Bacia do Taquari-Antas. ....	25
Figura 10 - Espacialização da variável “inexistência de bueiro ou boca de lobo”, por setor censitário, para a Bacia do Taquari-Antas.....	26
Figura 11 - Espacialização da variável “presença de esgoto à céu aberto”, por setor censitário, para a Bacia do Taquari-Antas. ....	27
Figura 12 - Espacialização da variável “inexistência de pavimentação nas ruas”, por setor censitário, para a Bacia do Taquari-Antas.....	28
Figura 13 - Espacialização da variável “inexistência de calçada”, por setor censitário, para a bacia do Taquari-Antas.....	29
Figura 14 - Gráfico da distribuição dos pesos atribuído pelos especialistas e peso médio da variável “inexistência de banheiro ou sanitário”. ....	32

Figura 15 - Gráfico da distribuição dos pesos atribuídos pelos especialistas e peso médio da variável “esgotamento sanitário precário” .....	32
Figura 16 - Gráfico da distribuição dos pesos atribuídos pelos especialistas e peso médio da variável “abastecimento de água precário” .....	33
Figura 17 - Gráfico da distribuição dos pesos atribuídos pelos especialistas e peso médio da variável “densidade dos domicílios” .....	34
Figura 18 - Gráfico da distribuição dos pesos atribuídos pelos especialistas e peso médio da variável “número de pessoas com idade até 14 anos” .....	34
Figura 19 - Gráfico da distribuição dos pesos atribuídos pelos especialistas e peso médio da variável “número de pessoas com idade acima de 60 anos” .....	35
Figura 20 - Gráfico da distribuição dos pesos atribuídos pelos especialistas e peso médio da variável “renda mensal per capita de até 1/4 do salário mínimo” .....	35
Figura 21 - Gráfico da distribuição dos pesos atribuídos pelos especialistas e peso médio da variável “presença de lixo acumulado nas ruas” .....	36
Figura 22 - Gráfico da distribuição dos pesos atribuídos pelos especialistas e peso médio da variável “inexistência de bueiro ou boca de lobo” .....	36
Figura 23 - Gráfico da distribuição dos pesos atribuídos pelos especialistas e peso médio da variável “presença de esgoto a céu aberto” .....	37
Figura 24 - Gráfico da distribuição dos pesos atribuídos pelos especialistas e peso médio da variável “inexistência de pavimentação nas ruas” .....	38
Figura 25 - Gráfico da distribuição dos pesos atribuídos pelos especialistas e peso médio da variável “inexistência de calçada no entorno da moradia” .....	38
Figura 26 - Mapa de Vulnerabilidade à Inundação para a Bacia do Taquari-Antas, com base nas variáveis do Censo IBGE (2010) .....	40

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Escala Fundamental dos critérios. ....	8
Tabela 2 - Índice Randômico .....	9
Tabela 3 - Indicadores de vulnerabilidade definidos com base nas variáveis do censo do IBGE. ....	11

## PRODUTO 3.3a MAPEAMENTO DE VULNERABILIDADE À INUNDAÇÃO, EM ESCALA REGIONAL, NA BACIA DO TAQUARI-ANTAS COM BASE EM VARIÁVEIS DO CENSO DO IBGE

### 1. INTRODUÇÃO

Os desastres são considerados resultado de eventos adversos, sejam eles, naturais ou provocados, que em um cenário vulnerável cause danos, perdas e prejuízos ao funcionamento de uma sociedade, excedendo a sua capacidade de suportar e lidar com os problemas causados, por seus próprios meios (CENAD, 2012).

O intenso processo de urbanização verificado nas últimas décadas, no mundo e no Brasil, tem propiciado um crescimento das cidades, muitas vezes, em localidades impróprias à ocupação urbana. Esse acelerado processo de urbanização pode aumentar o número de situações de perigo e de risco a desastres naturais. (TOMINAGA, 2015).

Ainda neste sentido, também se tem verificado um número crescente de registros de desastres no mundo e no Brasil, esse aumento pode ser devido ao crescimento populacional, da ocupação desordenada e do adensamento demográfico, além de questões voltadas ao meio ambiente, como a impermeabilização dos solos, que impedem a infiltração das águas pluviais, podendo acarretar em alagamento (KOBIYAMA, 2006; TOMINAGA, 2015).

Nas últimas décadas, com o aumento da ocorrência de desastres naturais, a Organização das Nações Unidas (ONU) criou a secretaria UNDRO (*United Nations Disaster Relief Organization*), com o objetivo de promover e propor iniciativas preventivas e de mitigação dos impactos dos desastres naturais ao redor do mundo. Além disso, foi decidido em Assembleia Geral da ONU, que a década de 1990 seria a década internacional dedicada à redução de desastres naturais (*International Decade for Natural Disaster Reduction – IDNDR*) (MARCELINO *et al.*, 2006).

No âmbito do Brasil, em 2012 foi sancionada a Lei nº 12.608/2012, que instituiu a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil, que tem em sua estruturação as questões sociais, econômicas e ambientais relacionadas aos desastres naturais. A articulação entre as políticas de ordenamento territorial, de desenvolvimento urbano, saúde, meio ambiente, mudanças climáticas, gestão de recursos hídricos e outras políticas setoriais, envolvidas de forma a proporcionar o desenvolvimento sustentável estão inseridos em seus princípios e diretrizes (SILVA FILHO, 2015).

No Brasil, os desastres naturais estão relacionados à dinâmica externa da Terra. Comumente observam-se registros de desastres, tais como, deslizamentos, enxurradas, inundações, secas e estiagens.

Normalmente, esses eventos estão associados à dinâmica hidrológica, com aumento ou diminuição anormal das precipitações, que podem desencadear uma série de consequências, os desastres naturais (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2007).

Conforme o CEPED/UFSC (2013a), o número de desastres ocorridos no Brasil teve um aumento na década de 2000. Do número total de ocorrências entre o 1990 a 2012, 22% correspondem à década de 1990. Na década de 2000, foram registradas 56% das ocorrências e, apenas nos últimos três anos - de 2010 a 2012, o quantitativo de registros de desastres no Brasil obteve um percentual de 22%. As secas e estiagens são o desastre que mais afetam a população do Brasil, seguido dos desastres relacionados a enxurradas e inundações. No período de 1990 a 2012, os processos perigosos que ocasionaram o maior número de mortes foram enxurrada, inundação e movimentos de massa.

A região Sul do Brasil, composta pelos estados de Santa Catarina, Paraná e Rio Grande do Sul, tem em seu histórico, inúmeros registros de eventos adversos, com frequência e variedade consideráveis. A região é de forma frequente, afetada por alagamentos, enxurradas, inundações, deslizamentos e estiagens (CENAD, 2012).

O estado do Rio Grande do Sul é o estado do Brasil com o maior número de registros por eventos catastróficos, entre 1990 a 2012. Neste estado são observadas várias tipologias de desastre, como estiagens, enxurradas, vendavais, inundações, alagamentos, granizo, geada (CEPED/UFSC, 2013b).

A bacia hidrográfica do Taquari-Antas, localizada no nordeste do Rio Grande do Sul, é uma extensa bacia que, de forma frequente, é afetada por eventos extremos. Em inventário de desastres naturais, associados às inundações, elaborado para esta bacia, para o período de 1980 a 2007, verificou-se a ocorrência de 20 episódios de inundações na bacia, com grande recorrência, nas cidades de Lajeado e Estrela (BOMBASSARO e ROBAINA, 2010).

Para os eventos naturais serem considerados desastres deve haver a presença de uma comunidade, com certo grau de vulnerabilidade, que é um fator importante na gestão de riscos (LICCO, 2013).

O conceito de vulnerabilidade, em contexto de eventos extremos, se apresenta diversamente explorado, e ainda é considerado como um fator chave para que se possa compreender as questões envolvendo a ocorrência de desastres, bem como a sua prevenção (ALCÁNTARA-AYALA, 2002).

Para Tominaga (2009), a vulnerabilidade pode ser entendida como um estado condicionado às condições físicas, sociais, ambientais e da ordem econômica de uma sociedade, com capacidade de aumentar a sua suscetibilidade aos impactos de um evento. Alcántara-Ayala (2002) entende vulnerabilidade como uma tendência de um elemento ou comunidade em perigo, devido a um risco natural, em sofrer os danos,

impactos e perdas, conforme ao conjunto de fatores, de ordem social, econômica, cultural e política. Conforme o CEPED/RS (2014), a vulnerabilidade é um indicador das condições preexistentes que proporcionam que os elementos em exposição possam ser mais ou menos propensos a ser afetados por um processo perigoso. Sendo assim, o termo vulnerabilidade está associado à condição dos elementos sob ameaça, e a vulnerabilidade pode ser entendida ou avaliada por meio do grau esperado de danos e prejuízos no caso do evento acontecer.

A vulnerabilidade tem grande importância para se entender ocorrências de desastres, elaborar planos de prevenção, entre outras possibilidades. Devido a essa importância do conceito de vulnerabilidade sob os aspectos da gestão de riscos, algumas metodologias para a elaboração de mapas de vulnerabilidade foram sendo propostas. Essas metodologias envolvem a utilização de indicadores, sejam eles relacionados à infraestrutura, à demografia, à ocorrência de desastres, e outros indicadores voltados à área social, como renda, idade, educação, entre outros.

Cutter *et al.* (2000) propuseram uma metodologia para avaliar a vulnerabilidade de forma espacial, utilizando para isso, indicadores da ordem social e indicadores biofísicos. A metodologia desenvolvida tomou como base a utilização de banco de dados em um Sistemas de Informações Geográficas (SIG), de forma a estabelecer as áreas de vulnerabilidade baseada em indicadores de nível ambiental e social. Por meio do mapa de vulnerabilidade proposto neste trabalho, foi possível a análise de áreas de vulnerabilidade biofísica e a sua intersecção com populações socialmente vulneráveis.

Também no sentido de elaboração de mapa de vulnerabilidade, Furlan *et al.* (2011) propuseram uma metodologia para o cálculo da vulnerabilidade a eventos extremos. A metodologia empregada teve como base o ambiente em SIG (Sistemas de Informações Geográficas) por meio de consultas em Tabelas e análise espacial de dados. Como indicadores para elaboração do mapa de vulnerabilidade, foram utilizados dados socioeconômicos, de infraestrutura, de ocorrência de eventos extremos, hipsometria e declividade. Foi observado que com a utilização de técnicas de análise espacial para a elaboração de mapa de vulnerabilidade à desastres naturais, torna-se possível a efetiva identificação de padrão de ocorrências de eventos extremos, a visualização e identificação das localidades mais susceptíveis às adversidades provenientes de eventos extremos, por meio da análise dos dados de ordem socioeconômica, de infraestrutura e demografia.

Goerl *et al.* (2012) propuseram elaborar uma metodologia para mapear áreas de risco a inundação. Para cumprir esse objetivo, elaboraram mapas de vulnerabilidade e de perigo. Em relação ao mapa de vulnerabilidade, os autores utilizaram como indicadores para estimar a vulnerabilidade, as características



socioeconômicas coletadas pelo IBGE no Censo do ano 2000. Os indicadores selecionados para o cálculo da vulnerabilidade a representam, devido a estes serem representativos das três esferas principais que compõem a vulnerabilidade; demografia, educação e economia.

Neste sentido, verifica-se grande potencial do uso de dados provenientes de coletas censitárias para fomentar a elaboração de mapas de vulnerabilidade. A utilização destas informações tem como vantagem a sua disponibilização para todo o território brasileiro, além da sua atualização a cada década e de ser distribuído de forma gratuita e de fácil acesso.

### **1.1 Objetivo do projeto**

O projeto “Desenvolvimento de uma estratégia integrada de prevenção de riscos associados a regimes hidrológicos na Bacia do Taquari-Antas” tem como objetivo desenvolver uma estratégia integrada, de forma a envolver a população, as gestões municipais, as estruturas municipais e regionais de Defesa Civil dos municípios para a qualificação da gestão de risco.

No âmbito deste projeto, em sua Etapa 3 – Análise de cenários e resultados de intervenções, está previsto a elaboração de um mapa de vulnerabilidade aos regimes hidrológicos, em escala regional, compreendendo o território dos 120 municípios que compõem esta bacia.

O mapa de vulnerabilidade à inundação está baseado em variáveis do Censo do IBGE 2010 para composição de indicadores de vulnerabilidade. A utilização destas variáveis visa possibilitar a comparação da vulnerabilidade entre setores censitários, municípios e regiões que integram o território da Bacia do Taquari-Antas. O mapeamento se constitui em subsídio par as políticas públicas relacionadas à gestão de risco, podendo ser atualizado a cada censo demográfico do IBGE, ou seja, a cada década.

## **2. METODOLOGIA**

### **2.1. Levantamento bibliográfico**

Para fomentar a elaboração do mapa de vulnerabilidade à inundação foi realizado, em escala regional, um levantamento bibliográfico de metodologias com o objetivo de realizar o mapeamento de vulnerabilidade com base em dados obtidos por meio de levantamento censitários, tal como o Censo do IBGE.

Neste levantamento foram considerados publicações - artigos científicos e técnicos, com este enfoque, em ambito internacional e nacional.

As principais bases de direcionamento obtidas neste levantamento foram os trabalhos desenvolvidos por Cutter *et al.* (2000), que analisaram a vulnerabilidade espacial de desastres como inundação e vendaval, entre outros, utilizando como base informações censitárias. Também foi considerada a metodologia desenvolvida pela equipe de pesquisadores do Grupo de Pesquisas em Gestão de Risco de Desastres (GRID), vinculado ao CEPED/RS-UFRGS, para o projeto “Mapeamento de vulnerabilidades de áreas suscetíveis a deslizamentos e inundações em 8 municípios do Rio Grande do Sul”. Este Projeto teve o objetivo de avaliar as vulnerabilidades dos setores de risco delimitados pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) em cada um dos 8 municípios. As variáveis estabelecidas, com foco nos processos de inundações e movimentos de massa, foram coletadas em campo e por meio de dados secundários.

As informações de metodologia e variáveis utilizadas, obtidas por meio do levantamento bibliográfico, foram sistematizadas em planilha eletrônica, de forma a direcionar o andamento do trabalho, interferindo sobre o métodos de coleta dos dados, de definição dos dados a serem utilizados, de tratamento, e de metodologias para elaboração do mapa de vulnerabilidade.

## **2.2. Levantamento de variáveis junto ao censo do IBGE**

Tendo como base os direcionamentos de variáveis a serem utilizadas em um mapa de vulnerabilidade à inundação obtidos na fase de levantamento bibliográfico, e em conformidade com os indicadores estabelecidos no mapeamento de vulnerabilidade, foram elencadas todas as potenciais variáveis do censo do IBGE 2010, coletadas a nível censitário, para fomentar a elaboração do mapa de vulnerabilidade à inundação em escala regional.

Após a listagem das potenciais variáveis do Censo do IBGE, e tendo como base os levantamentos bibliográficos realizados, foram coletadas todas as variáveis desta lista. As variáveis foram coletadas junto ao site do IBGE (<http://downloads.ibge.gov.br/>), junto a aba Censo 2010, que disponibiliza essas informações de forma gratuita e em formato de planilha eletrônica.

As informações das variáveis do IBGE foram acessadas para todo o estado do Rio Grande do Sul e, devido a isso, realizou-se uma filtragem dos dados dos municípios correspondentes à Bacia do Taquari-Antas. Além da filtragem dos dados para o território da bacia, também foi necessário a verificação de falhas e falta de informações nos campos de cada setor, para todos os 120 municípios que compõem a Bacia.

## **2.3 Definições das variáveis do censo do IBGE**

Para a definição de quais variáveis empregadas e disponibilizadas pelo Censo do IBGE apresentavam conformidade com a metodologia de mapeamento de vulnerabilidade e com as variáveis definidas para o projeto “Mapeamento de vulnerabilidades de áreas suscetíveis a deslizamentos e inundações em 8 municípios do Rio Grande do Sul”, foi organizado um *workshop* interno com os pesquisadores do GRID. O encontro foi realizado no dia 15 de abril de 2016, no Auditório Poente, da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Seu objetivo foi discutir o emprego destas variáveis, pré-selecionadas do Censo do IBGE, que se relacionam à vulnerabilidade, considerando os riscos associados ao regime hidrológico, na composição do mapa de vulnerabilidade em escala regional, com abrangência do território da Bacia do Taquari-Antas.

#### **2.4. Método AHP para hierarquização/ponderação das variáveis**

Entendendo que, em um processo de inundação, cada variável selecionada do Censo do IBGE contribui diferentemente para a vulnerabilidade presente na Bacia do Taquari-Antas, buscou-se a definição de um método que pudesse ponderar/hierarquizar as variáveis definidas para a elaboração do mapa de vulnerabilidade para a Bacia.

Nesta etapa foi testado, como método de hierarquização, o modelo matemático desenvolvido para o projeto “Mapeamento de vulnerabilidades de áreas suscetíveis a deslizamentos e inundações em 8 municípios do Rio Grande do Sul”. No entanto, devido ao modelo matemático ter sido desenvolvido para aplicação em escala local, com definição de indicadores neste nível, as variáveis do Censo do IBGE não são capazes de abranger todos os aspectos relacionados a esta metodologia de hierarquização.

Na metodologia em questão, atribuiu-se uma maior priorização ao indicador **precariedade construtiva**, que relaciona as condições das moradias que, no Projeto Mapeamento de Vulnerabilidades, foram coletadas em campo.

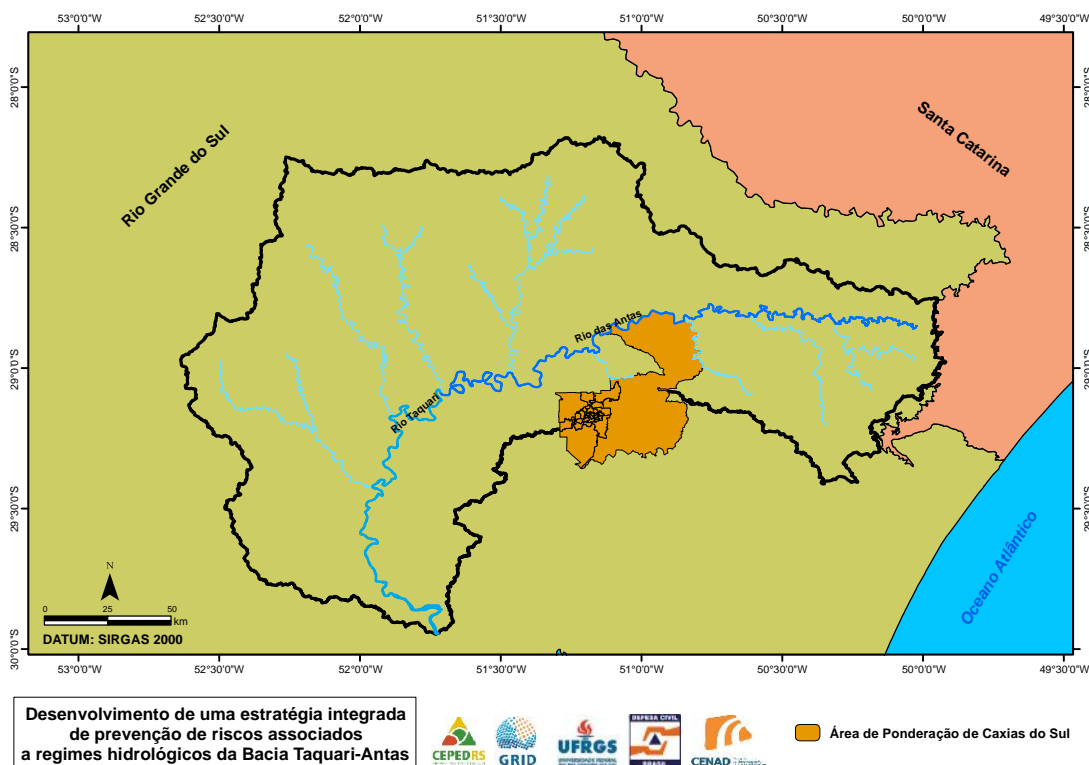
Através dos dados do Censo do IBGE não é possível chegar às informações agregadas ao àquele Projeto, uma vez que as variáveis do Censo do IBGE não apresentam informações sobre as condições da construção das moradias ou sobre a sua conservação, materiais de construção, etc. para o universo constituído por todos os domicílios dos setores censitários.

Nos dados do IBGE pode-se verificar que há uma variável sobre o tipo de material das paredes externas da moradia - alvenaria, alvenaria revestida, taipa, entre outros materiais. Esse dado poderia ser utilizado para compor o indicador de precariedade construtiva, viabilizando o uso do modelo matemático desenvolvido para o Projeto Mapeamento, no entanto esta informação foi coletada apenas nos domicílios que pertencem às áreas de ponderação, que são definidas da seguinte forma:

Unidade geográfica, formada por um agrupamento mutuamente exclusivo de setores censitários, para a aplicação dos procedimentos de calibração das estimativas com as informações conhecidas para a população como um todo (IBGE, 2011).

No estado do Rio Grande do Sul existem onze áreas de ponderação, localizadas nos municípios de Alvorada, Canoas, Caxias do Sul, Gravataí, Novo Hamburgo, Pelotas, Porto Alegre, Rio Grande, Santa Maria, São Leopoldo e Viamão. Entre estes municípios, apenas Caxias do Sul está parcialmente na Bacia do Taquari-Antas, como mostra a Figura 1.

**Figura 1 - Mapa de localização da área de ponderação da região de Caxias do Sul, na Bacia do Taquari-Antas.**



Neste sentido, após ser identificado essa limitação para a adoção do método matemático desenvolvido em projeto anterior, buscou-se alternativas para a atribuição de pesos às variáveis do IBGE que foram selecionadas para composição dos indicadores de vulnerabilidade.

Um método que foi pesquisado e analisado para esta finalidade é o método AHP - *Analytic Hierarchy Process*, que é um método multicritério de tomada de decisão, que emprega um procedimento de

comparações aos pares de forma a se chegar em uma escala de priorização (SAATY e RAMANUJAM,1983).

O método AHP se apresenta como uma abordagem alternativa para resolução de problemas, no qual a tomada de decisão é facilitada pela subdivisão das tomadas de decisão em níveis menores. Enfatiza-se que o método AHP, além de facilitar a tomada de decisão por meio da organização do problema em níveis menores, também considera as percepções, julgamentos e memórias dos especialistas do tema do problema em questão (SAATY e ZOFFER, 2012).

Para o emprego do método AHP, Saaty e Ramanujam (1983) propuseram uma escala de critérios de ponderação. Por meio desta escala é possível compreender os critérios ou prioridades da escala numérica de atribuição de prioridades. Cada critério numérico representa a dominância de um elemento da coluna em relação à linha. Na Tabela 1 apresenta uma escala de fundamentos e critérios para atribuição dos graus de importância em um processo de hierarquização por pares.

**Tabela 1 - Escala Fundamental dos critérios.**

Intensidade de Importância	Definição	Explicação
1	Importância igual	Dois indicadores contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância fraca de uma sobre a outra	A experiência e julgamento favorecem levemente um indicador em detrimento de outro
5	Importância forte	A experiência e o julgamento favorecem fortemente um indicador em detrimento de outro
7	Importância muito forte	Um indicador é fortemente favorecido em relação ao outro e sua dominância é demonstrada na prática
9	Importância absoluta	A evidência, favorecendo um indicador em relação ao outro, é do mais alto grau de certeza
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre dois julgamentos adjacentes	Quando é necessária uma condição de compromisso entre duas definições.

Se o indicador na linha *i* recebe uma das designações diferentes acima de zero, quando comparada com o indicador na coluna *j*, então este tem o valor recíproco quando comparada com o indicador da linha *i*.

Fonte: SAATY e RAMANUJAM (1983).

A aplicação do método AHP inicia com a determinação dos pesos relativos das variáveis analisadas par a par. Para a obtenção do peso relativo para cada variável em análise é necessário a normalização a matriz

AHP, para esse procedimento é realizada a divisão entre cada valor da matriz pelo valor total da coluna (GOMEDE e BARROS, 2012).

Posteriormente segue-se a determinação dos pesos de cada variável. Os pesos são calculados por meio do vetor de prioridade, que informa a ordem de prioridade das variáveis. O vetor de prioridade, de acordo com Saaty (1990) é obtido através da média aritmética dos valores de cada uma das variáveis.

Para a obtenção de uma hierarquização das variáveis do IBGE, conforme o método AHP é necessário a verificação do grau de consistência das respostas dos especialistas. Esta etapa visa a análise do quão consistente foram os julgamentos dos especialistas na análise das variáveis em questão.

O grau de inconsistência (IC) dos julgamentos realizados paritariamente pode ser calculado conforme Equação 1, onde  $\lambda_n$  é o autovalor máximo e  $n$  é a dimensão da matriz.

Equação 1:

$$\text{Índice de Consistência} = \frac{\lambda_{\text{máx}} - n}{n - 1}$$

Conforme o método AHP, é sugerido a utilização da razão de consistência, para verificação se o valor obtido no índice de consistência é adequado. A razão de consistência é razão entre o índice de consistência (IC) e o índice randômico (IR) (Equação 2) e será considerada consistente se obter um valor igual ou inferior a 10% (GOMEDE e BARROS, 2012). O IR é fornecido pela Tabela 2 e varia conforme a dimensão da matriz.

Equação 2:

$$\text{Razão de consistência} = \frac{\text{IC}}{\text{IR}}$$

**Tabela 2 - Índice Randômico**

<i>n</i>	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>R.I</i>	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41

Fonte: SAATY e RAMANUJAM,1983.

Para emprego do método AHP neste projeto foram obtidas análises de especialistas da área de gestão de riscos, quanto a hierarquização das variáveis do IBGE para elaboração de mapa de vulnerabilidade para a bacia Taquari-Antas, considerando um processo de inundação.

Para a obtenção das análises dos especialistas foi elaborada um questionário - planilha eletrônica, com o apoio da pesquisadora Mariana Brito, que desenvolve um estudo mais aprofundado sobre este tema.

Foram convidados 21 pesquisadores do GRID que atuam ou já atuaram na área de gestão de risco, sendo que um percentual de 62% atendeu ao convite. O questionário foi aplicado, de forma presencial e à distância, para treze especialistas, pesquisadores de diversas áreas de conhecimento, que atuam no GRID: Engenharia Civil, Engenharia Ambiental, Arquitetura, Gestão Ambiental e Geografia. Contou com a participação de doutores, mestres, graduados e graduandos nestas áreas.

Como resultados do emprego do método AHP foram obtidas diversas planilhas, cada uma com hierarquização das variáveis do censo do IBGE.

Todas as planilhas foram sistematizadas em uma única planilha eletrônica e, por meio desta planilha, foram extraídas as médias de todos os pesos de cada variável, traduzindo o resultado de todas as planilhas que foram respondidas.

## 2.5. Elaboração dos mapas

Para a elaboração do mapa de vulnerabilidade à inundação e dos mapas de cada variável do IBGE que relaciona a questão de vulnerabilidade foi necessário trabalhar as variáveis de forma normalizada, para que estas, em uma mesma escala, pudesse informar sobre as suas condições de forma igualitária. Os valores obtidos por meio da normalização variam de 0 a 1.

Para a normalização das variáveis foi utilizada a Equação 3, conforme Goerl *et al.* (2012), onde  $V_{\text{Observado}}$  é o valor da variável observado no setor censitário e,  $V_{\text{mínimo}}$  e  $V_{\text{máximo}}$ , correspondem aos valores de mínimo e de máximo, respectivamente, observado para todos os setores censitários.

Equação 3:

$$V_{\text{normalizado}} = \frac{V_{\text{Observado}} - V_{\text{mínimo}}}{V_{\text{máximo}} - V_{\text{mínimo}}}$$

Posterior à normalização de todas as variáveis e obtenção dos pesos por meio da técnica AHP, foi elaborado o mapa de vulnerabilidade, em nível de setor censitário, para a Bacia do Taquari-Antas, utilizando a Equação 4, onde  $IV$  corresponde as variáveis do IBGE utilizadas como indicadores de vulnerabilidade neste trabalho e  $p$  é o peso obtido por meio da aplicação da técnica AHP.

Equação 4:

$$Vulnerabilidade = \sum(IV \times p)$$

O mapa de vulnerabilidade e das variáveis do IBGE foram elaborados em ambiente SIG, utilizando o software Arc Gis 10.1, sob licença do Grupo de Gestão de Riscos de Desastres.

Para todos os mapeamentos foram obtidas quatro classes, divididas igualmente, em quatro partes de 25%.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Definição das variáveis do censo do IBGE 2010

As variáveis do censo do IBGE que foram definidas para a composição dos indicadores de vulnerabilidade, bem como as dimensões dos indicadores são apresentados no Quadro 1.

**Tabela 3 - Indicadores de vulnerabilidade definidos com base nas variáveis do censo do IBGE.**

Dimensão	Abrangência	Indicador de Vulnerabilidade	Variáveis do Censo do IBGE 2010
Física	Condição da moradia	Inexistência de banheiro ou sanitário	Domicílios sem banheiro ou sanitário de uso exclusivo dos moradores
		Esgotamento sanitário precário	Domicílios com esgotamento sanitário via fossa rudimentar Domicílios com esgotamento sanitário via vala Domicílios com esgotamento sanitário via rio, lago ou mar Domicílios com esgotamento sanitário via outro escoadouro
		Abastecimento de água precário	Domicílios com Abastecimento de água da chuva armazenada em cisterna Domicílios com Abastecimento de água realizado de outra forma (ex: poço ou nascente fora da propriedade, caminhão pipa, água da chuva armazenada de outra forma, rio, açude, lago ou outra forma de abastecimento de água)
		Densidade de domicílios por setor	Número de domicílios por área do setor censitário (domicílios/km <sup>2</sup> )
Social	Capacidade de Mobilidade / Autonomia de Pessoas	Números de Crianças	Número de Pessoas com idade até 14 anos incompletos
		Números de Idosos	Número de Pessoas com idade de 60 anos ou mais
	Nível de Pobreza	Baixa renda	Domicílios sem rendimento mensal domiciliar per capita Domicílios com renda per capita de até 1/8 do salário mínimo Domicílios com renda per capita de 1/8 até 1/4 do salário mínimo



<b>Infraestrutura</b>	Saneamento Básico	Presença de lixo acumulado nas ruas	Domicílios com presença de lixo acumulado nas ruas
		Inexistência de sistema de drenagem de águas pluviais	Domicílios com inexistência de bueiro/boca de lobo em seu entorno
		Presença de esgoto a céu aberto	Domicílios com presença de esgoto a céu aberto em seu entorno
	Condição dos Acessos	Inexistência de pavimentação nas ruas	Domicílios sem pavimentação das ruas em seu entorno
		Inexistência de calçada no entorno da moradia	Domicílios sem calçada em seu entorno

Os indicadores apresentados no Quadro 1 foram compostos conforme a adequação da disponibilidade dos dados junto ao censo do IBGE e alinhado aqueles definidos em projeto anterior pelo grupo.

### 3.3.1. Condição da moradia

Neste contexto, a abrangência da “condição da moradia” engloba questões que refletem as condições da edificação, que foram coletadas no Censo do IBGE e disponibilizadas a nível de setor censitário.

Devido a limitações do Censo do IBGE, algumas variáveis consideradas de grande importância para a composição deste indicador, e que retratam as precariedades construtivas, não são abordadas.

Existe uma variável coletada pelo Censo do IBGE que se refere ao padrão construtivo das paredes externas da construção. No entanto, essa variável somente é coletada no questionário da amostra deste censo, especificamente para uma área de ponderação. Conforme citado, no estado do Rio Grande do Sul, das onze áreas de ponderação, somente uma área de pequena abrangência está localizada no território compreendido pela Bacia do Taquari-Antas, correspondendo a parte do município de Caxias do Sul.

Devido a estas limitações, para a composição deste indicador foi estabelecida a utilização dos dados referentes à inexistência de banheiro ou sanitário, inexistência de energia elétrica ou irregular, além de questões de saneamento básico, tais como o abastecimento inadequado de água e o esgotamento sanitário. Também foi considerada a densidade de domicílios por área do setor censitário, de forma a integrarem a abrangência de condição da moradia.

Estes indicadores foram definidos para integrarem as características deste grau de abrangência, pois entende que elas refletem as condições da moradia, podendo os habitantes nestas condições se apresentar, menos ou mais vulneráveis, em ocorrência de desastres de regimes hidrológicos.

#### 3.3.1.1. Inexistência de banheiro ou sanitário

A ausência de banheiro ou sanitário pode indicar uma condição de precariedade da moradia. Constitui-se em um indicador de importância considerável para a análise da vulnerabilidade à inundação, relacionada à condição da moradia.

De acordo com os conceitos adotados no Censo do IBGE 2010, “banheiro” é definido como um cômodo com disposição de chuveiro ou banheira e vaso sanitário ou privada, de uso exclusivo dos moradores. Além disso, o sanitário foi considerado como local limitado por paredes de qualquer material, coberto ou não por um teto, que dispunha de um vaso sanitário ou buraco para dejeções.

#### 3.3.1.2. Esgotamento sanitário precário

Em relação ao esgotamento sanitário, entende-se que aquelas moradias que apresentavam um esgotamento sanitário precário, ou seja, em que os dejetos são dispostos por meio de fossa rudimentar, vala, rio, lago, mar ou outra forma de escoadouro, podem proporcionar uma condição de vulnerabilidade em relação aos aspectos construtivos apresentando, conseqüentemente, uma maior precariedade da moradia, como enfatizam Silva Filho *et al.* (2015).

#### 3.3.1.3. Abastecimento de água precário

Conforme o censo do IBGE 2010, a forma de abastecimento de água pode ocorrer por meio de rede geral de distribuição, por meio de poço ou nascente na propriedade, sendo essas situações consideradas como adequadas em relação a um abastecimento de água.

O abastecimento de água considerado precário engloba as formas de abastecimento por meio de água de chuva armazenada em cisterna, por poço ou nascente fora da propriedade, por caminhão pipa, ou captada diretamente em rio, açude ou outra forma de abastecimento, sendo que nestas condições, o abastecimento de água não é realizado por companhia distribuidora.

Conforme Silva Filho *et al.* (2015), a ausência de abastecimento, seja por companhia distribuidora, podem induzir a existência de alternativas inapropriadas de condicionamento do acesso à água na moradia. O abastecimento de água potável é uma das principais funções e serviços vulneráveis que devem ser avaliados em um mapeamento.

#### 3.3.1.4. Densidade de domicílios por Setor Censitário

O indicador densidade foi estabelecido de acordo com o número de moradias dos setores censitários por quilômetro quadrado (km<sup>2</sup>). Este indicador foi calculado, pela obtenção dos valores das áreas dos setores censitários, por meio de arquivo *shapefile*, disponibilizado pelo IBGE, na seção *Downloads*.

Para Silva Filho *et al.* (2015), a densidade das moradias se apresenta como um fator importante de vulnerabilidade, uma vez que, quanto maior a densidade das moradias em áreas desprovidas de urbanização adequada, maior é a possibilidade de estarem inseridas em um contexto de informalidade.

### 3.3.2. Capacidade de mobilidade/autonomia de pessoas e renda

Entre os indicadores de vulnerabilidade caracterizados por sua dimensão social, destacam-se a capacidade de mobilidade das pessoas e o nível de renda das famílias.

A questão da Capacidade de Mobilidade/Autonomia de pessoas engloba, neste estudo, o número de pessoas idosas, o número de crianças que residem nos setores censitários. A presença de pessoas portadoras de necessidade especiais também deveria estar inserida na abrangência deste tema. No entanto, essa variável somente é coletada pelo IBGE nas áreas de ponderação ou, em alguns municípios, a informação é disponibilizada por setores da área da assistência social e/ou da saúde.

Como o método adotado para acesso aos dados está restrito aos resultados obtidos nos setores censitários no Censo 2010, o quantitativo de pessoas portadoras de necessidades especiais não pode ser integrado, na composição da dimensão social, para a determinação da vulnerabilidade.

#### 3.3.2.1. Número de crianças

Em relação à definição da faixa etária de pessoas consideradas crianças, utilizou como base a Lei Federal Nº 11.274/2006 (BRASIL, 2006), que estabelece que o ensino fundamental tenha cerca de 9 anos de duração. O início do ensino fundamental, é obrigatório aos 6 anos de idade, sendo então completado com 14 anos. Desta forma, entende-se que a faixa etária das crianças compreende de 0 a 14 anos. Aos 14anos, ainda não teria concluído o ensino básico, podendo ser vulnerável quanto à autonomia para tomada de decisões na ocorrência de um desastre.

#### 3.3.2.2. Número de idosos

Para definição da idade dos idosos, utilizou-se como base o Estatuto do Idoso, Lei Nº 10.741/2003, que define como idosa a pessoa com idade igual ou superior a 60 anos (BRASIL, 2003). Os idosos podem apresentar certa dificuldade de locomoção, e podem necessitar de auxílio para a fuga em ocorrências de desastres (SILVA FILHO *et al.*, 2015).

#### 3.3.2.3. Baixa renda

O indicador nível de pobreza relaciona os domicílios de rendimento mensal *per capita* de até 1/4 de salário mínimo. Esta faixa de rendimentos foi estabelecida para a inserção de famílias de baixa renda como beneficiárias de programas sociais, tal como o Programa Bolsa Família, do governo Federal.

O nível de pobreza está associado à vulnerabilidade, devido a se constituir em um parâmetro que reflete, de certa forma, a qualidade de vida das famílias. Também pode condicionar a capacidade da família de promover melhorias, de forma a dotar sua moradia de condições adequadas de habitabilidade, de torná-la mais resistentes. Também limita a capacidade das famílias de reconstruírem as suas moradias após a ocorrência de um desastre (SILVA FILHO *et al.*, 2015).

### 3.3.3. Saneamento básico

O indicador saneamento básico relaciona as variáveis do IBGE correspondentes às questões de acúmulo de lixo nas ruas, da presença de esgoto a céu aberto no entorno das moradias e da falta de drenagem, representada pela ausência de bueiro/boca de lobo.

Conforme Silva Filho *et al.* (2015) o comprometimento das questões relacionadas ao saneamento básico pode influenciar na vulnerabilidade. A inexistência de sistemas de drenagem, o acúmulo de lixo nas ruas, e a presença de esgoto a céu aberto, têm influência nas questões de saúde pública, além de estar relacionada com a saturação do solo e ineficiência do sistema de drenagem, podendo acarretar o agravamento dos impactos causados pelos alagamentos e inundações.

#### 3.3.3.1. Presença de lixo acumulado nas ruas

O indicador presença de lixo acumulado nas ruas se configura como de extrema importância, uma vez que pode incidir no funcionamento das redes de drenagem pluvial.

A presença de lixo acumulado nas ruas pode causar o entupimento do sistema de drenagens, além de propiciar a veiculação de vetores de doenças, como roedores (SILVA FILHO *et al.*, 2015)

#### 3.3.3.2. Inexistência de sistema de drenagem de águas pluviais

A inexistência de bueiro ou boca de lobos nas ruas também é um importante indicador de vulnerabilidade. Este indicador reflete a inexistência ou comprometimento do sistema de drenagem, e colabora para uma rápida elevação das cotas de inundação (SILVA FILHO *et al.*, 2015)

#### 3.3.3.3. Presença de esgoto a céu aberto

A presença de esgoto a céu aberto é um forte indicador de vulnerabilidade. Pode ser indicativo da existência de um solo sempre úmido, condicionando a diminuição da capacidade de infiltração do solo, além de propiciar que as pessoas que vivem nesta condição fiquem propensas à contaminação através de doenças de veiculação hídrica (SILVA FILHO *et al.*, 2015).

### 3.3.4. Condição dos acessos

Também foram levantadas, por meio das variáveis do Censo do IBGE, as questões relacionadas às condições dos acessos aos domicílios. Neste estudo, estas variáveis contemplam os indicadores “inexistência de pavimentação nas ruas” e “inexistência de calçada no entorno da moradia”.

#### 3.3.4.1. Inexistência de pavimentação nas ruas

A inexistência de pavimentação nas ruas também está interligada às questões de urbanização do setor censitário, dificultando a acessibilidade das pessoas, notadamente quando da ocorrência de desastres. A precariedade das vias prejudica o uso de uma eventual rota de fuga, além do acesso de veículos de prestação de socorro, quando da ocorrência de desastres.

#### 3.3.4.2. Inexistência de calçada no entorno da moradia

A questão relacionada à existência de calçada, assim como a pavimentação das vias, caracteriza a condição dos acessos à moradia. Interfere, de alguma forma, na locomoção das pessoas em uma emergência em ocorrência de desastres, principalmente, quando se tratar de pessoas portadores de necessidades especiais, idosos e crianças.

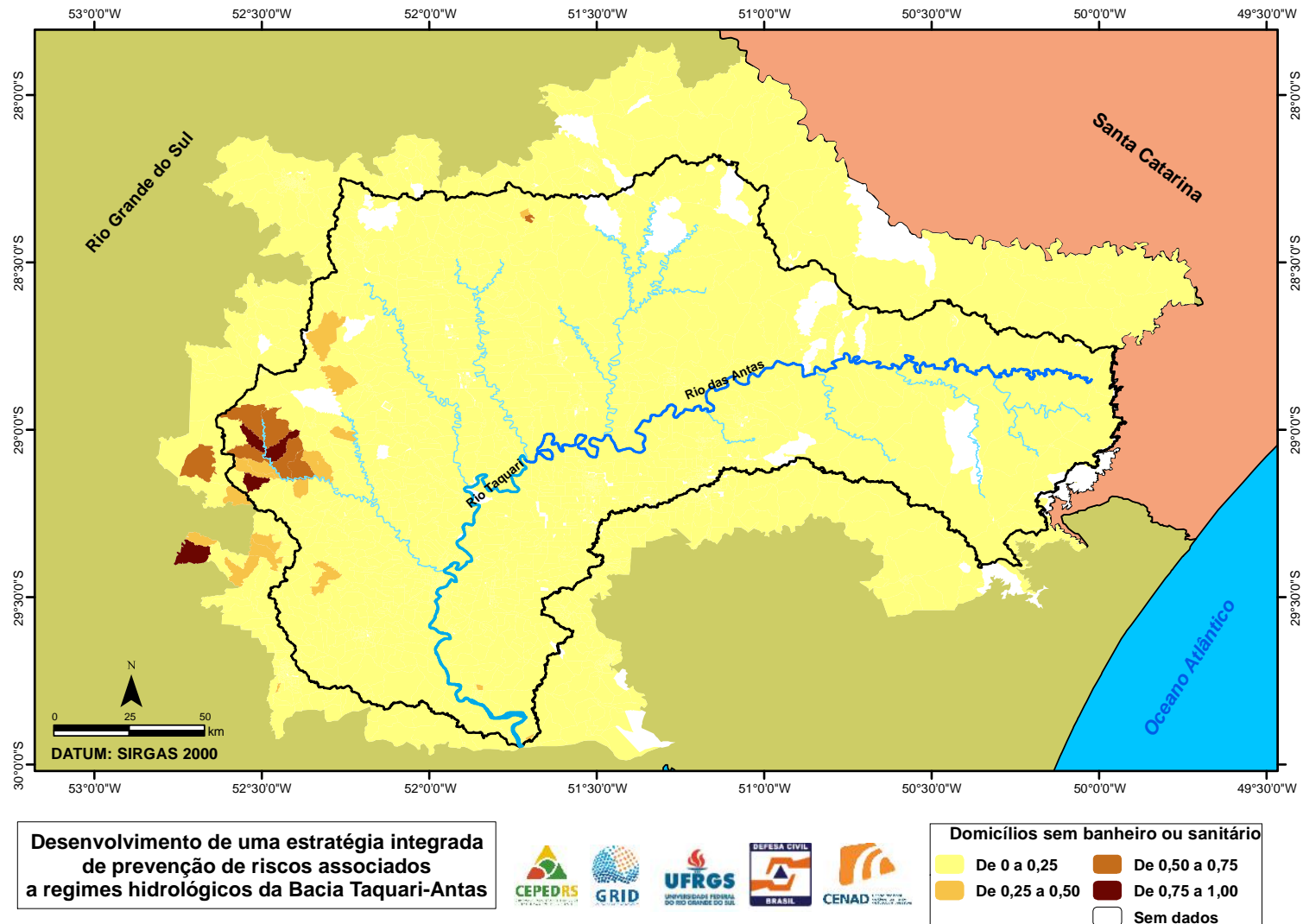
## 3.2. Espacialização das variáveis do censo do IBGE 2010

A espacialização de cada variável do Censo do IBGE de 2010, considerada para o mapeamento de vulnerabilidade na área de abrangência da Bacia do Taquari-Antas, está representada por setores censitários, em mapas temáticos. As Figuras 2 a 13 apresentam, respectivamente:

- Figura 2 - Espacialização da variável “inexistência de banheiro ou sanitário”, por setor censitário, para a Bacia do Taquari-Antas;
- Figura 3 - Espacialização da variável “esgotamento sanitário precário”, por setor censitário, para a Bacia do Taquari-Antas;
- Figura 4 - Espacialização da variável “domicílios sem abastecimento de água de companhia distribuidora”, por setor censitário, para a Bacia do Taquari-Antas;
- Figura 5 - Espacialização da variável “densidade dos domicílios”, por setor censitário, para a Bacia do Taquari-Antas;
- Figura 6 - Espacialização da variável “número de pessoas com idade até 14 anos”, por setor censitário, para a Bacia do Taquari-Antas;
- Figura 7 - Espacialização da variável “número de pessoas com idade acima de 60 anos”, por setor censitário, para a Bacia do Taquari-Antas;

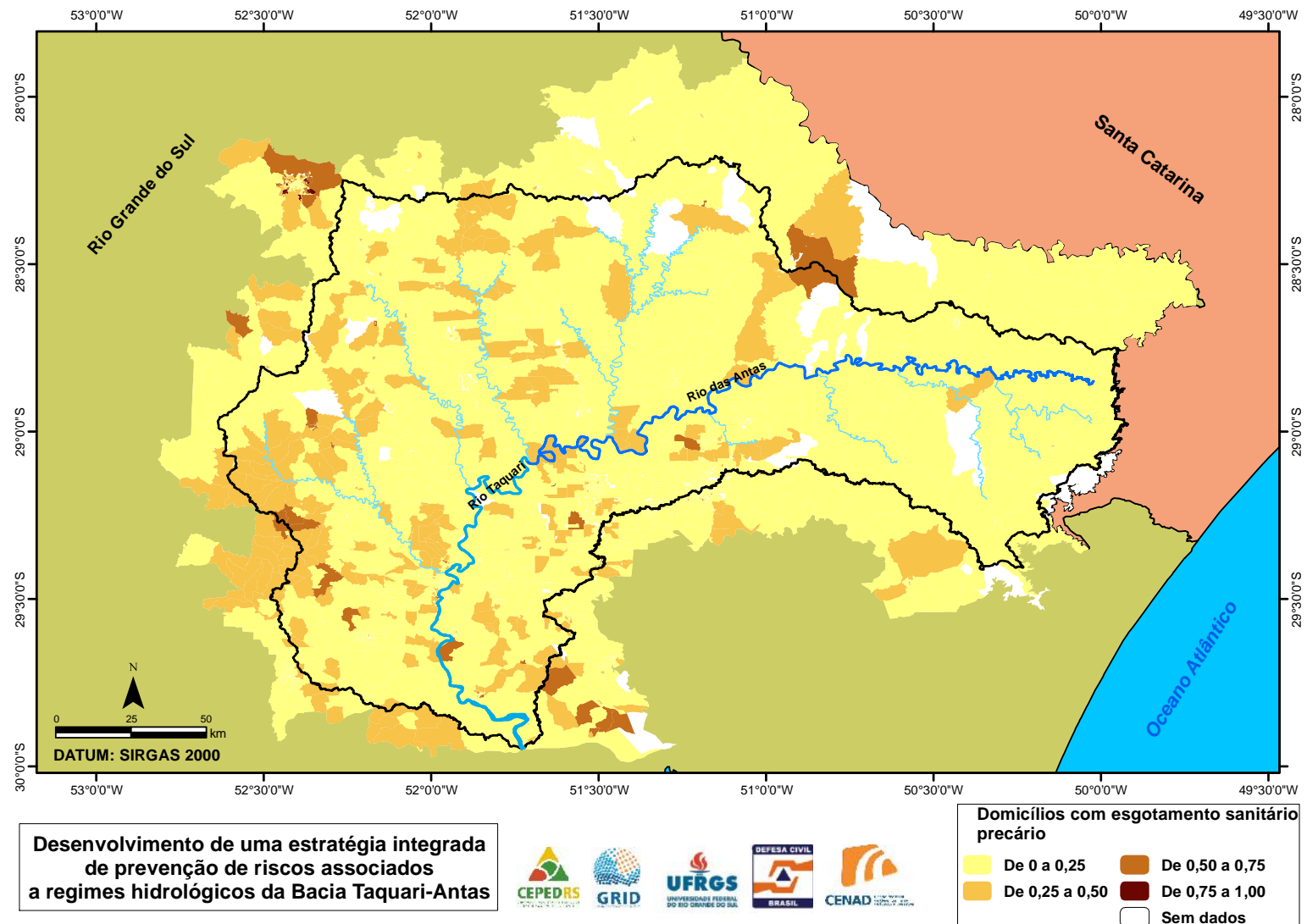
- Figura 8 - Espacialização da variável “renda mensal *per capita* de até  $\frac{1}{4}$  do salário mínimo”, por setor censitário, para a Bacia do Taquari-Antas;
- Figura 9 - Espacialização da variável “presença de lixo acumulado nas ruas”, por setor censitário, para a Bacia do Taquari-Antas;
- Figura 10 - Espacialização da variável “inexistência de bueiro ou boca de lobo”, por setor censitário, para a Bacia do Taquari-Antas;
- Figura 11- Espacialização da variável “presença de esgoto a céu aberto”, por setor censitário, para a Bacia do Taquari-Antas;
- Figura 12 - Espacialização da variável “inexistência de pavimentação nas ruas”, por setor censitário, para a Bacia do Taquari-Antas;
- Figura 13 - Espacialização da variável “inexistência de calçada”, por setor censitário, para a Bacia do Taquari-Antas.

Figura 2 - Espacialização da variável “inexistência de banheiro ou sanitário”, por setor censitário, para a Bacia do Taquari-Antas.



Fonte: IBGE (2010).

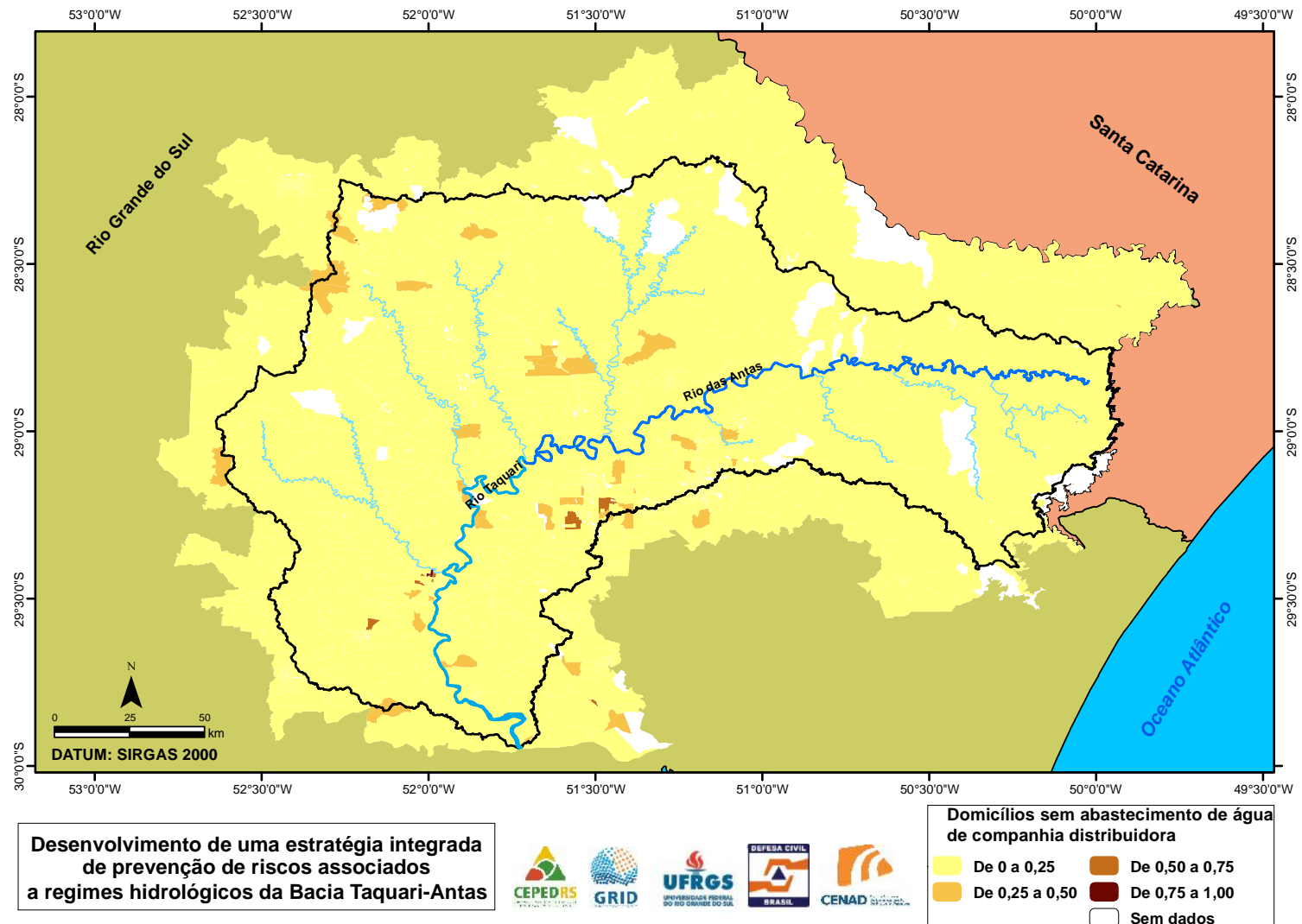
**Figura 3 - Espacialização da variável “esgotamento sanitário precário”, por setor censitário, para a Bacia do Taquari-Antas.**



Fonte: IBGE (2010).

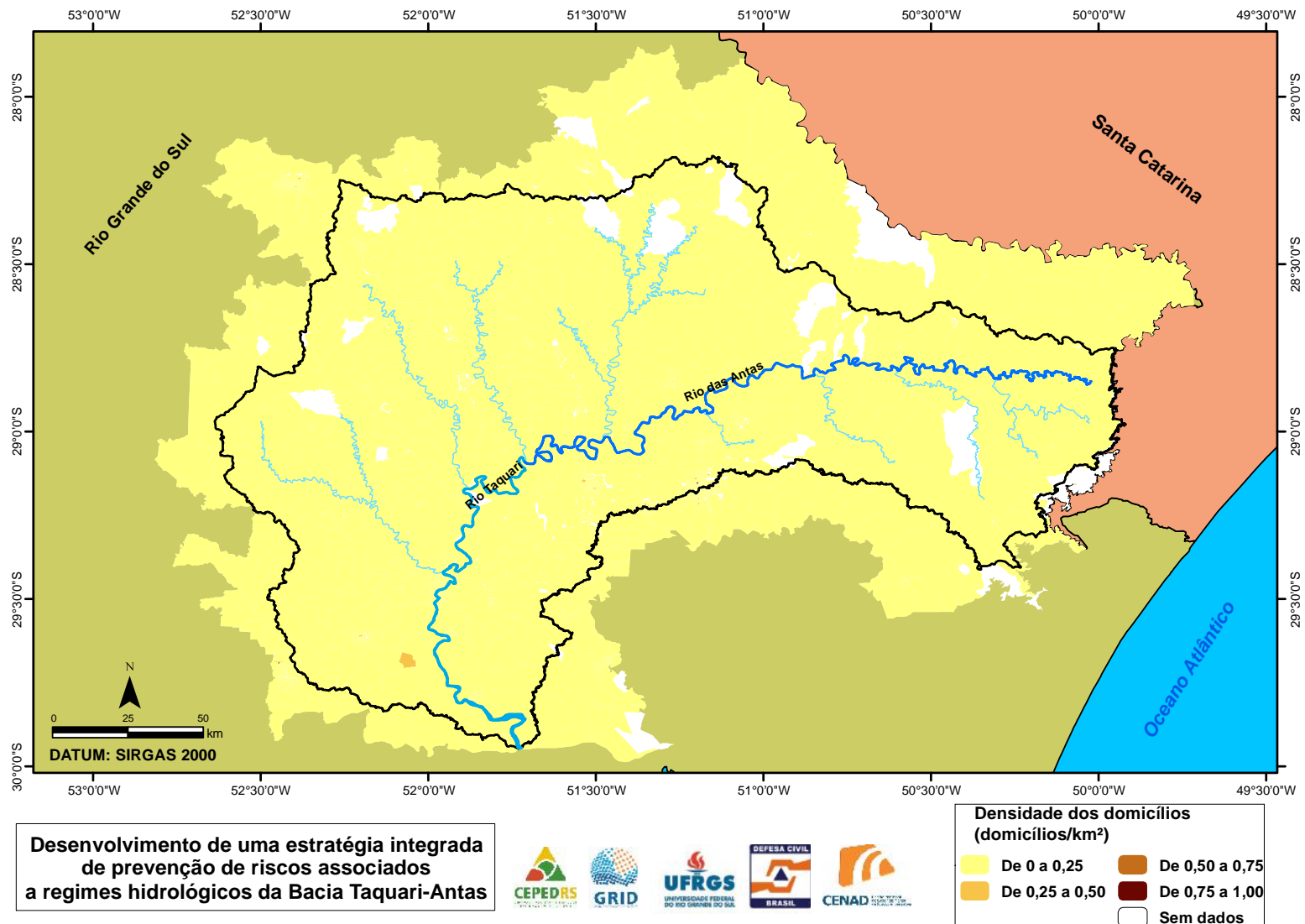


**Figura 4 - Espacialização da variável “domicílios sem abastecimento de água de companhia distribuidora”, por setor censitário, para a Bacia do Taquari-Antas.**



Fonte: IBGE (2010).

**Figura 5 - Espacialização da variável “densidade dos domicílios”, por setor censitário, para a Bacia do Taquari-Antas.**

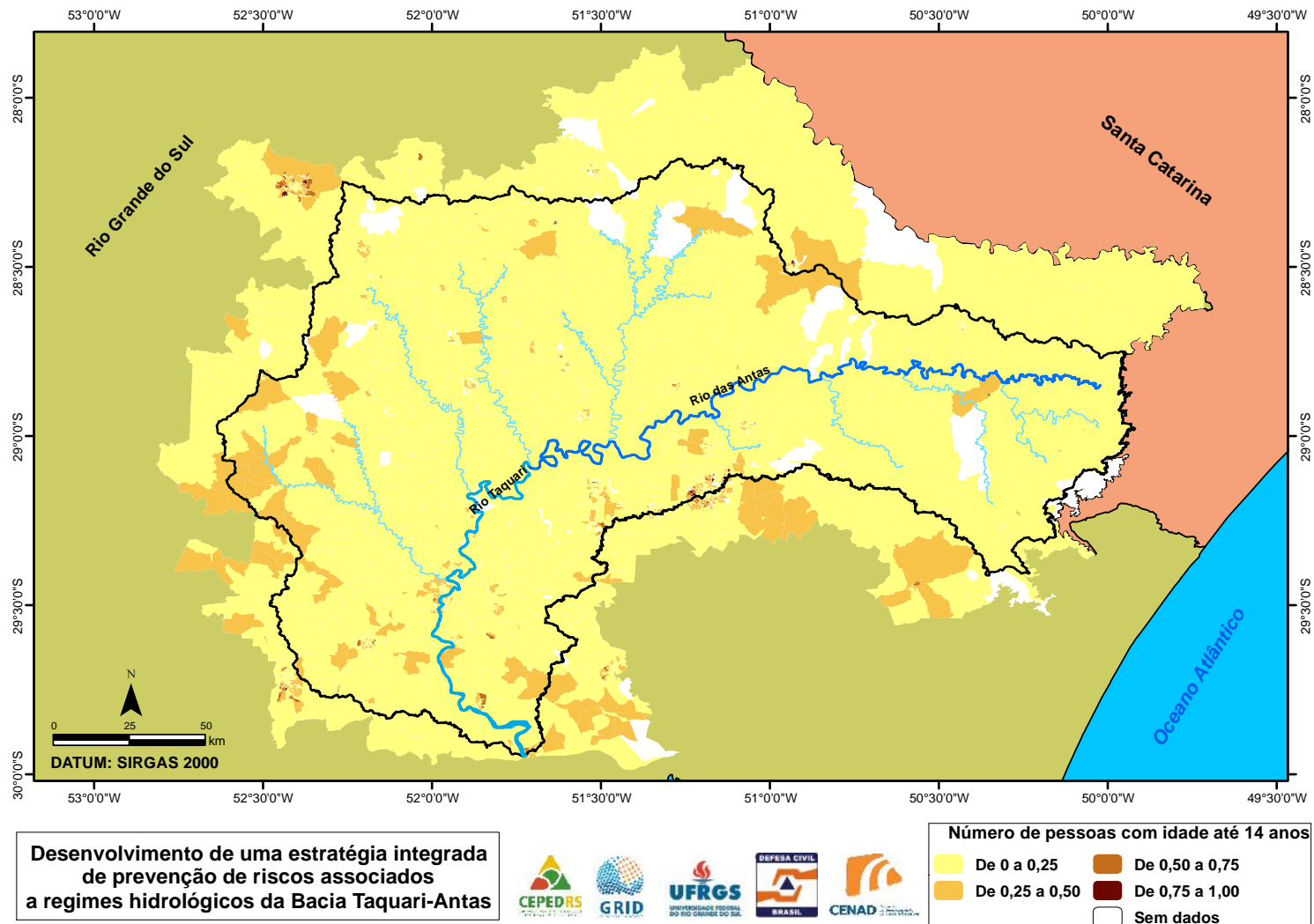


Desenvolvimento de uma estratégia integrada de prevenção de riscos associados a regimes hidrológicos da Bacia Taquari-Antas



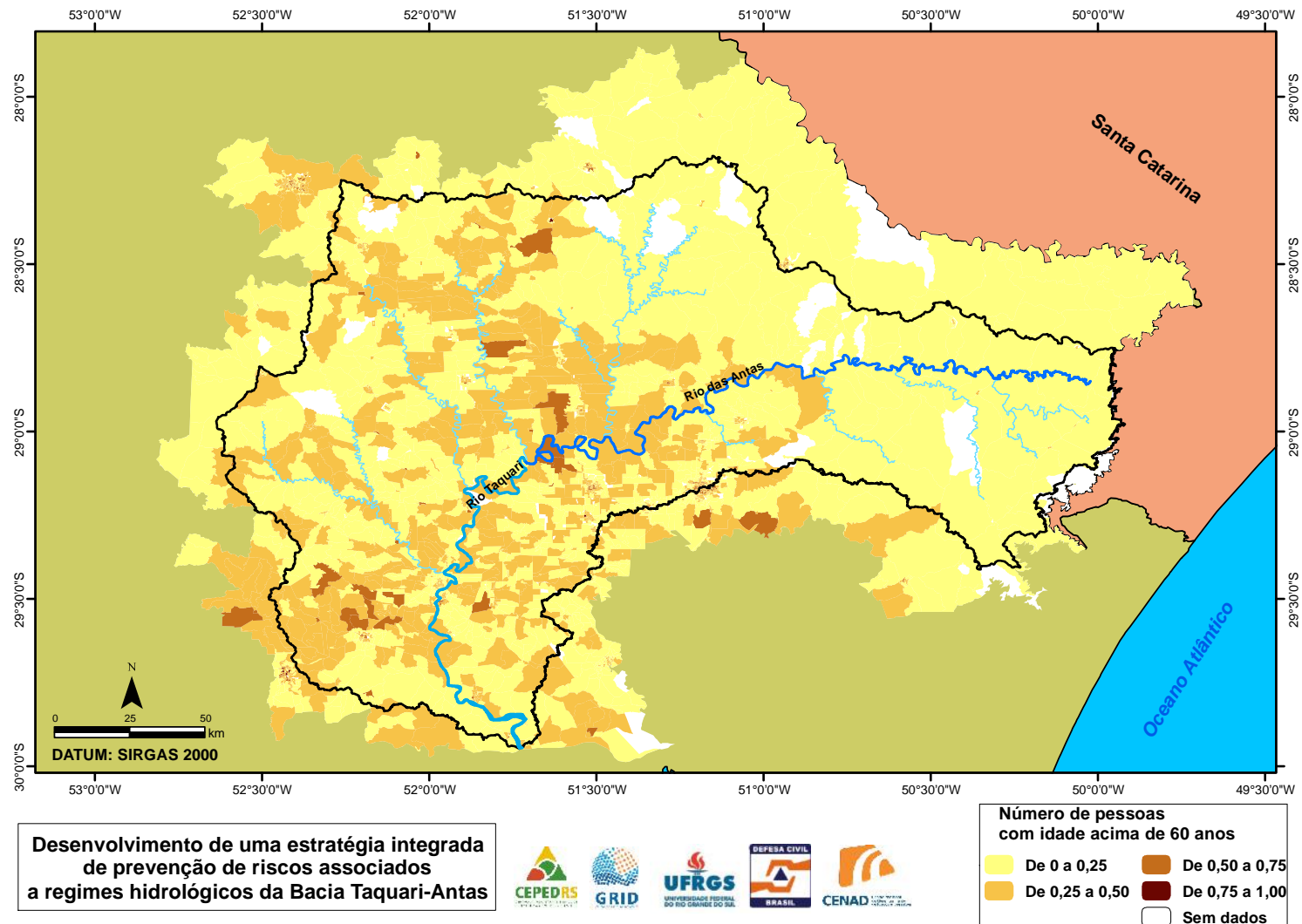
Fonte: IBGE (2010).

**Figura 6 - Espacialização da variável “número de pessoas com idade até 14 anos”, por setor censitário, para a Bacia do Taquari-Antas.**



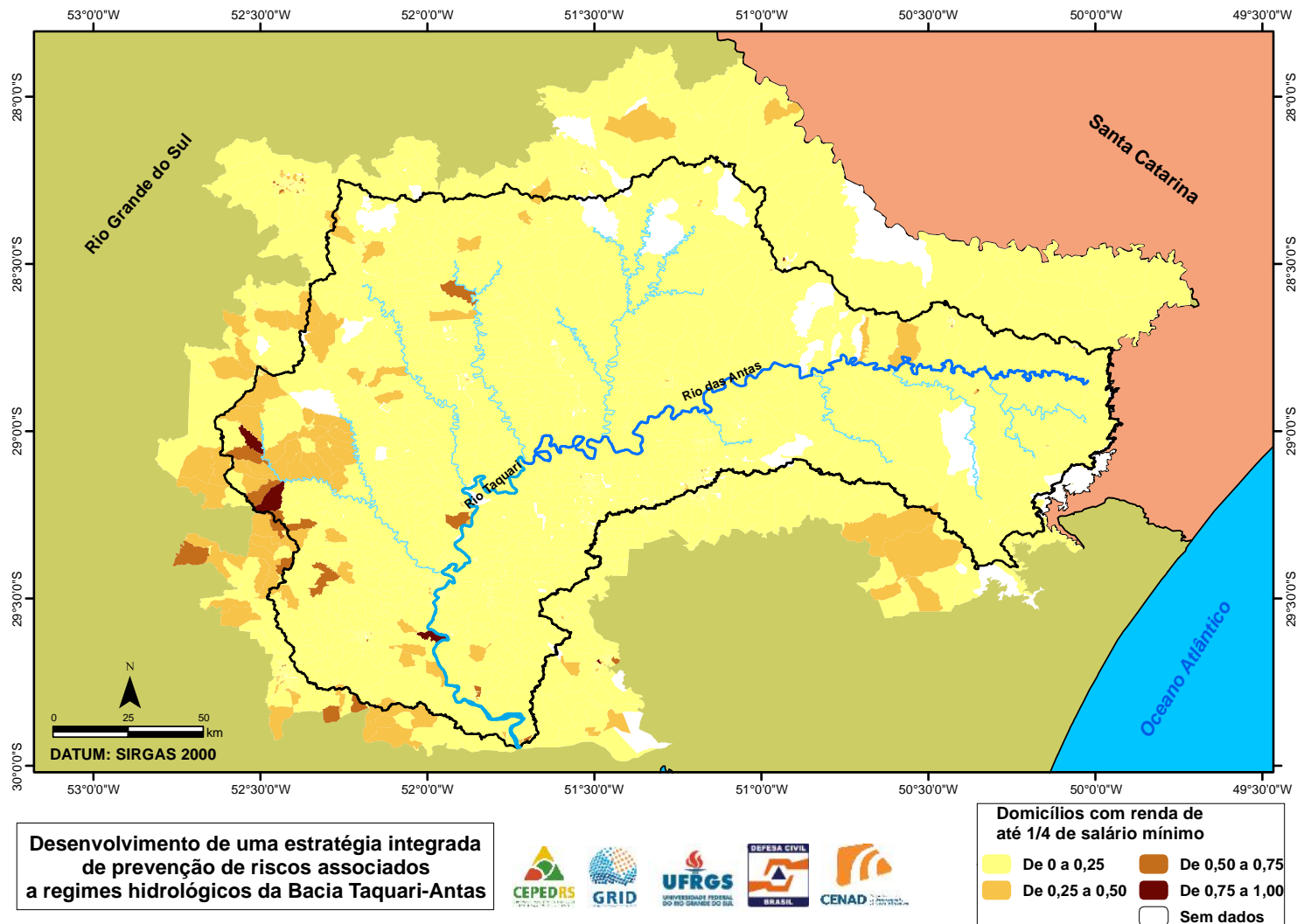
Fonte: IBGE (2010).

Figura 7 - Espacialização da variável “número de pessoas com idade acima de 60 anos”, por setor censitário, para a Bacia do Taquari-Antas.



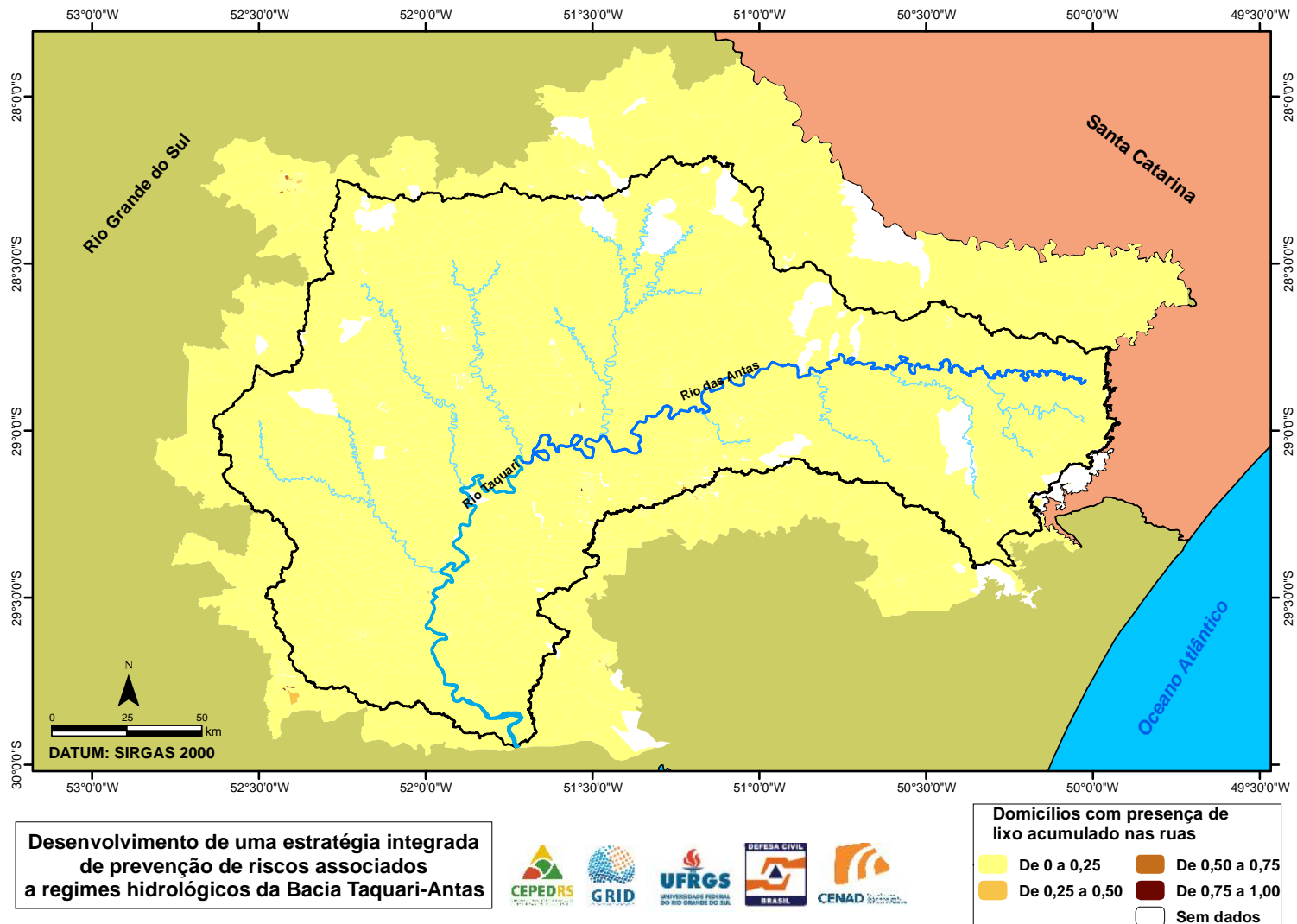
Fonte: IBGE (2010).

**Figura 8 - Espacialização da variável “renda mensal per capita de até 1/4 do salário mínimo”, por setor censitário, para a Bacia do Taquari-Antas.**



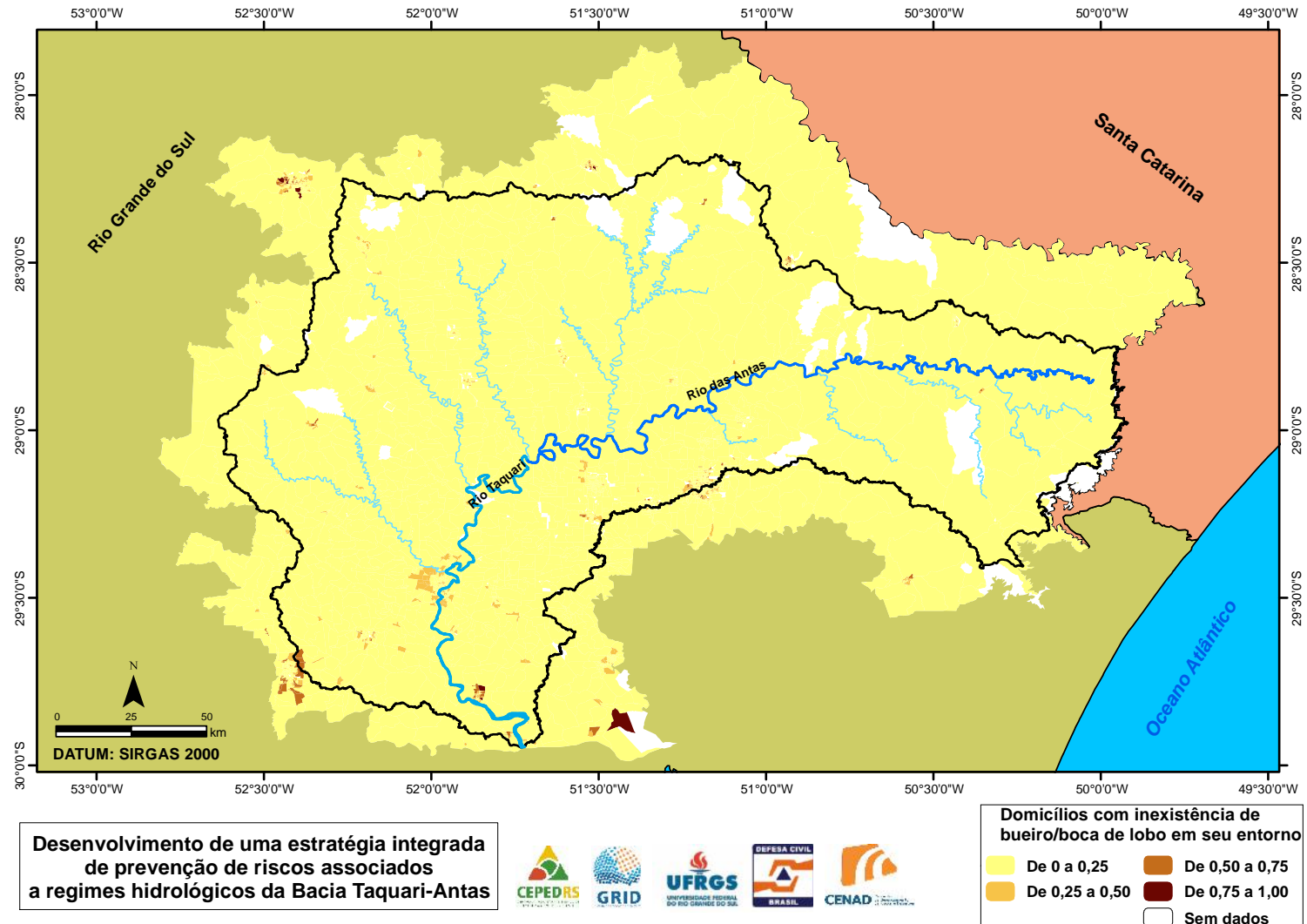
Fonte: IBGE (2010).

**Figura 9 - Espacialização da variável “presença de lixo acumulado nas ruas”, por setor censitário, para a Bacia do Taquari-Antas.**



Fonte: IBGE (2010).

**Figura 10 - Espacialização da variável “inexistência de bueiro ou boca de lobo”, por setor censitário, para a Bacia do Taquari-Antas.**

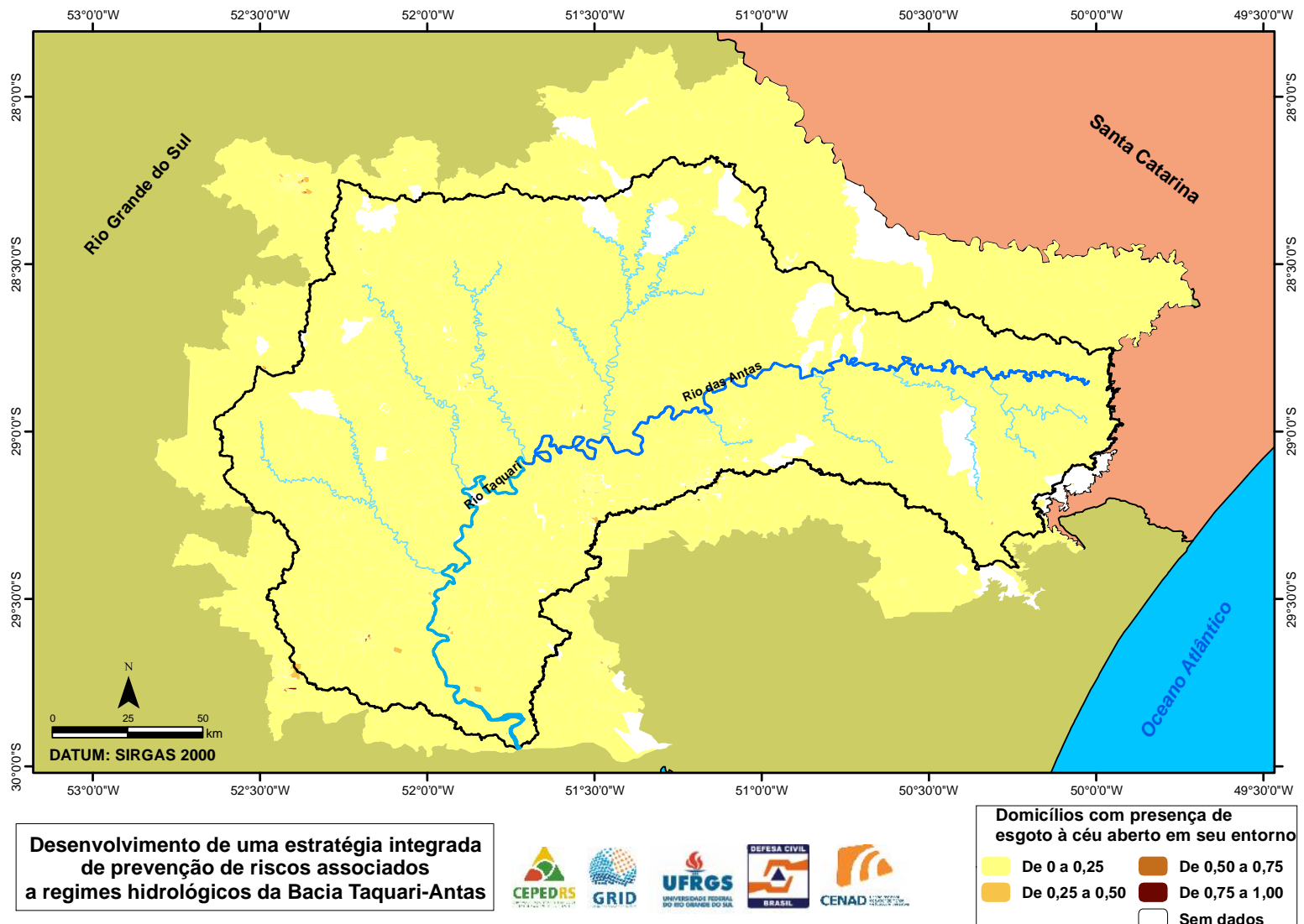


Desenvolvimento de uma estratégia integrada de prevenção de riscos associados a regimes hidrológicos da Bacia Taquari-Antas



Fonte: IBGE (2010).

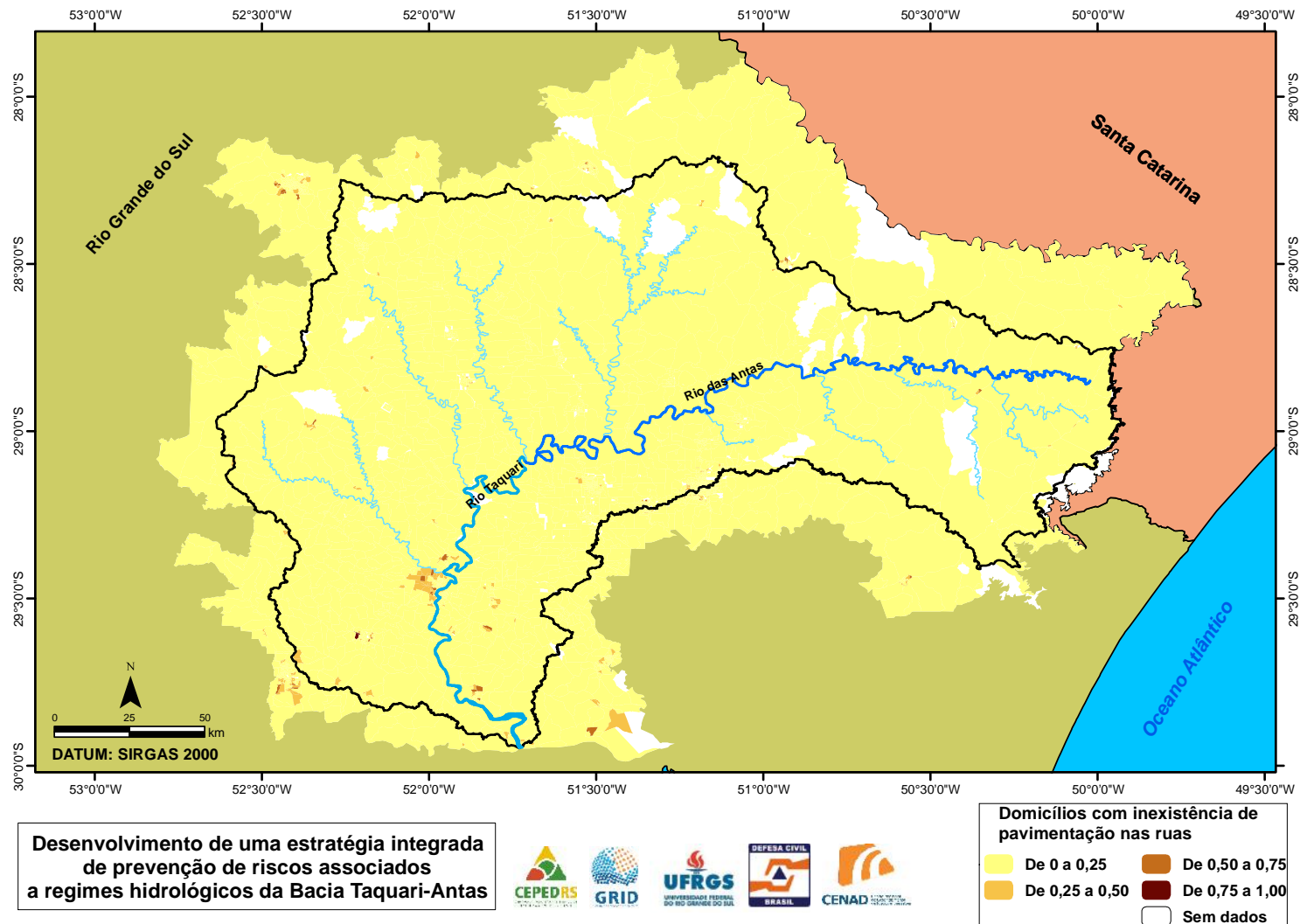
**Figura 11 - Espacialização da variável “presença de esgoto à céu aberto”, por setor censitário, para a Bacia do Taquari-Antas.**



Fonte: IBGE (2010).

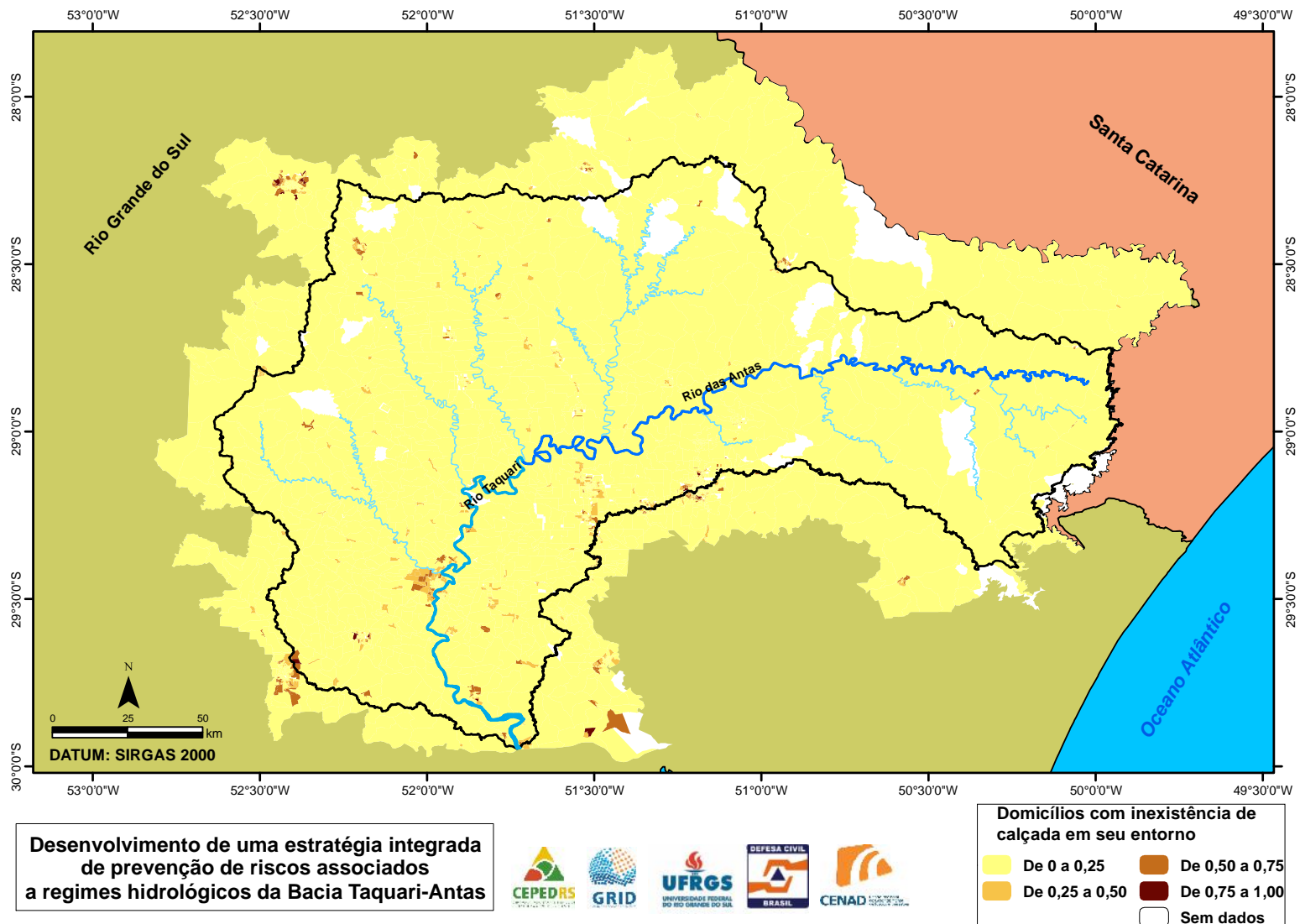


**Figura 12 - Espacialização da variável “inexistência de pavimentação nas ruas”, por setor censitário, para a Bacia do Taquari-Antas.**



Fonte: IBGE (2010).

**Figura 13 - Espacialização da variável “inexistência de calçada”, por setor censitário, para a bacia do Taquari-Antas.**



Fonte: IBGE (2010).

Através da espacialização dos dados, pode-se compreender a situação da Bacia, retratada pela caracterização dos setores censitários que a compõe, nos diferentes indicadores de vulnerabilidade considerados. Com base nos mapeamentos elaborados é possível tecer algumas considerações, no âmbito da Bacia do Taquari-Antas:

- A variável “inexistência de banheiro ou sanitário” apresentou uma concentração de domicílios com esta condição, principalmente em setores censitários localizados à Oeste na Bacia, compreendendo os municípios de Soledade, Fontoura Xavier e Barros Cassal (Figura 2);
- A variável “esgotamento sanitário precário” apresentou ocorrência significativa em uma quantidade considerável de municípios, compreendendo uma grande extensão da Bacia (Figura 3);
- A variável “domicílios sem abastecimento de água de companhia distribuidora”, aparece de forma pontual e, na maior parte dos setores, em níveis médios, o que representa uma pequena quantidade de domicílios nesta condição (Figura 4);
- A variável “densidade dos domicílios” é representada de forma homogênea nos setores censitários, apresentando índices de baixa densidade (Figura 5);
- Através da variável “número de pessoas com idade até 14 anos” pode-se observar uma concentração em níveis médios nas regiões próximas aos limites da área de abrangência da Bacia, coincidindo, de forma geral, com as áreas que concentram as maiores populações urbanas, como é o caso de Caxias do Sul e seu entorno. (Figura 6);
- A variável “número de pessoas com idade acima de 60 anos” destaca a presença de grande número de idosos na Bacia, com exceção da região dos Campos de Cima da Serra, na qual predominam uma ocupação humana rarefeita (Figura 7);
- Os maiores índices apresentados pela variável “renda mensal *per capita* de até 1/4 do salário mínimo”, se concentram na zona Oeste da Bacia, nas proximidades do limite de seu território, onde não se concentram áreas com urbanização significativa. A variável apresenta semelhança, espacialmente, ao resultado do indicador que se refere à “inexistência de banheiro ou sanitário”, apontando estar associada à precariedade construtiva (Figura 8);
- A variável referente ao indicador “presença de lixo acumulado nas ruas” se apresenta de forma homogênea e com baixos índices em toda a Bacia (Figura 9);

- Outra variável que integra a dimensão infraestrutura, a “inexistência de bueiro ou boca de lobo”, apresenta índices mais representativos apenas pontualmente junto às áreas mais populosas da Bacia (Figura 10);
- O indicador “presença de esgoto a céu aberto” apresenta baixos índices em toda a bacia hidrográfica (Figura 11);
- A variável “inexistência de pavimentação das ruas” se destaca com índices mais expressivos em uma pequena região que sofre inundações na parte do rio denominada baixo Taquari, nas proximidades do município de Lajeado (Figura 12);
- A “inexistência de calçada” se expressa na mesma região da variável acima descrita, porém se estende, pontualmente a outras zonas do Bacia do taquari-Antas (Figura 13).

### 3.3. Definição dos pesos das variáveis do censo do IBGE

Na aplicação do método AHP para hierarquização/ponderação das variáveis foram encontradas algumas limitações de aplicação. A limitação se deve à necessidade de aplicação individual com os especialistas, uma vez que alguns dos especialistas não possuíam familiaridade com o método, restringindo, desta forma, o número de aplicações do questionário e uma menor diversidade de opiniões a respeito dos graus de importância de cada variável em análise.

As Figuras a seguir apresentam os resultados da aplicação do método AHP para ponderação/hierarquização.

Por meio da análise dos resultados, pode-se observar que houve heterogeneidade nas respostas dos especialistas quanto ao grau de importância das variáveis selecionadas para expressar a vulnerabilidade em um processo de inundação. No entanto, também se observou a concordância dos especialistas em relação ao grau de importância das variáveis, “inexistência de pavimentação das ruas” e “inexistência de calçada”.

Em relação à variável “inexistência de banheiro ou sanitário”, houveram opiniões diversas. Cerca de 46 das opiniões dos especialistas consideraram que esta variável possui baixa importância na análise de vulnerabilidade à inundação, e do lado contrário, 54% das opiniões relacionaram um grau maior para a influência desta variável, como pode ser observado pela Figura 14, onde se observa uma diversidade nas respostas obtidas.

Neste sentido, tomando por base a média aritmética dos resultados obtidos pela aplicação do questionário AHP, considerou-se para esta variável, o peso de 0,291, aproximadamente 29%, de contribuição global para a vulnerabilidade à inundação para a bacia do Taquari-Antas (Figura 14).

**Figura 14 - Gráfico da distribuição dos pesos atribuído pelos especialistas e peso médio da variável “inexistência de banheiro ou sanitário”.**



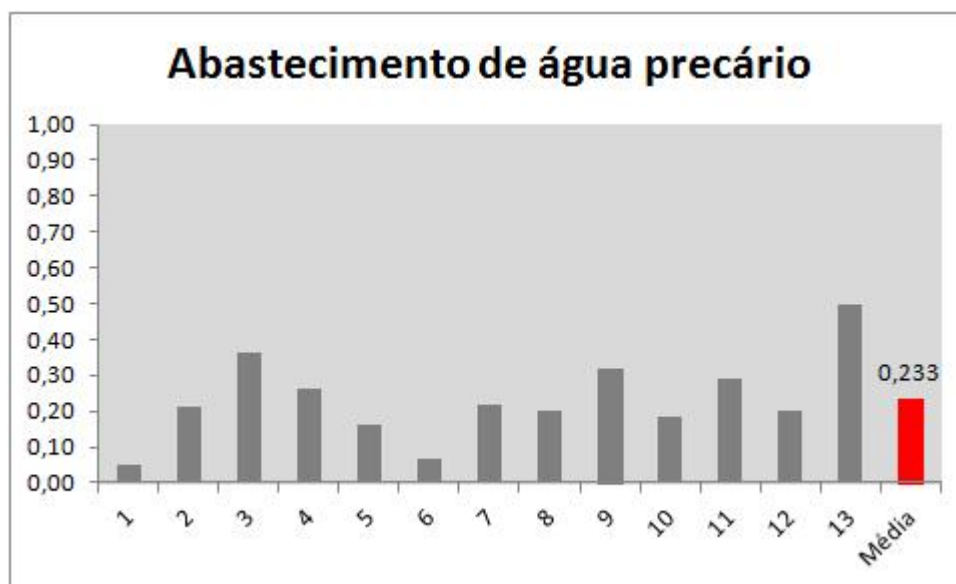
A variável “esgotamento sanitário precário”, conforme os resultados, obteve uma contribuição média global para o processo de vulnerabilidade de 0,204. Na Figura 16 são apresentados os resultados desta variável, expressando que há uma boa concordância dos especialistas que responderam ao questionário sobre a sua influência na vulnerabilidade a inundações na Bacia.

**Figura 15 - Gráfico da distribuição dos pesos atribuídos pelos especialistas e peso médio da variável “esgotamento sanitário precário”.**



A maioria dos especialistas que participaram da pesquisa concordam que a importância da variável “abastecimento de água precário” contribui para ao cálculo da vulnerabilidade a inundações em cerca de 20% do peso, conforme demonstra a Figura 16. Os especialistas nominados 1 e 7 foram exceção ao atribuir importância inferior a 10%. A média global das opiniões dos especialistas para esta variável foi de 0,233.

**Figura 16 - Gráfico da distribuição dos pesos atribuídos pelos especialistas e peso médio da variável “abastecimento de água precário”.**

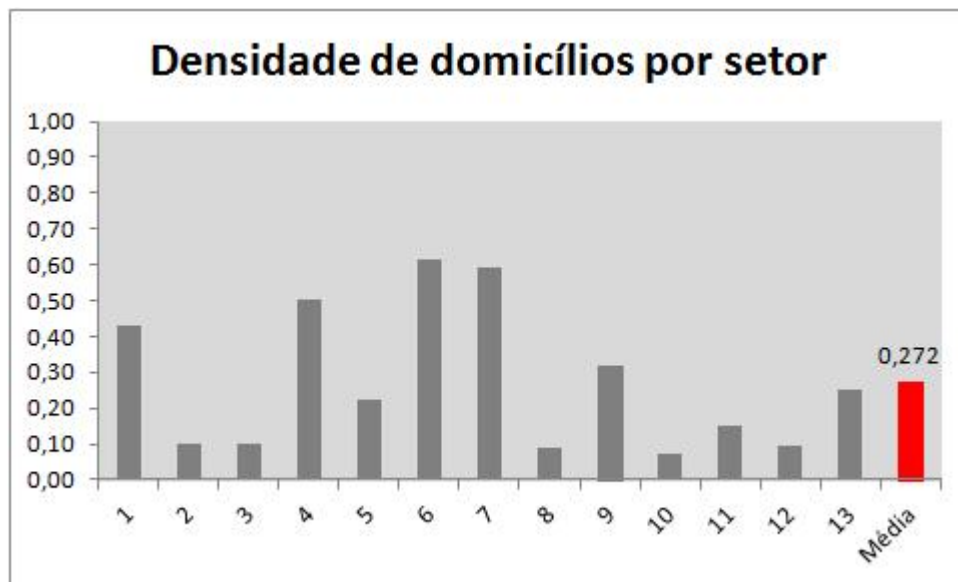


A contribuição da variável “densidade dos domicílios” por setor censitário em relação a vulnerabilidade à inundação, obteve uma diversidade de opiniões entre os especialistas que responderam ao questionário AHP. Do total das respostas, 53,84% concordaram que a questão da densidade de domicílios por setor censitário possui uma contribuição igual ou superior a 0,2 para a vulnerabilidade. A média das opiniões dos especialistas foi de 0,272. Os resultados podem ser observados na Figura 17.

A variável “número de pessoas com idade até 14 anos” obteve média de 20% na contribuição para a vulnerabilidade a inundações. A opinião dos especialistas sobre esta variável também foi diversificada, mas a maioria concordou com este índice. Os resultados são apresentados na Figura 18.

Em relação à variável “número de pessoas com idade acima de 60 anos” também se observa que existe uma diversidade de opiniões (Figura 19). Cinco repostas atribuíram a essa variável um grau de importância considerável, de cerca de 40%. No entanto, a média das opiniões, utilizada como peso para a ponderação da contribuição de cada variável para determinar a vulnerabilidade, foi de 0,283.

**Figura 17 - Gráfico da distribuição dos pesos atribuídos pelos especialistas e peso médio da variável “densidade dos domicílios”.**

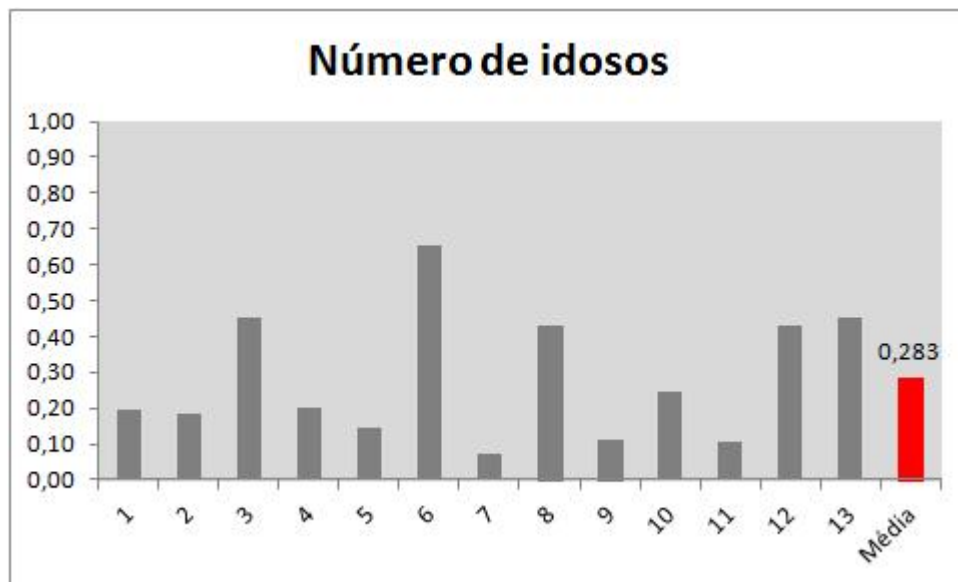


**Figura 18 - Gráfico da distribuição dos pesos atribuídos pelos especialistas e peso médio da variável “número de pessoas com idade até 14 anos”.**

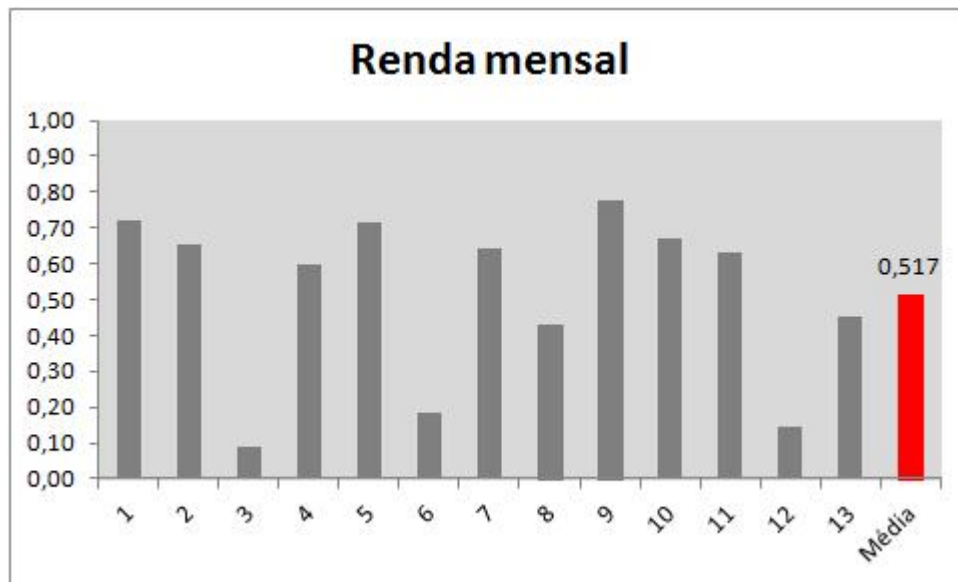


A variável “renda mensal *per capita* de até 1/4 do salário mínimo” foi aquela que obteve, na opinião dos especialistas, o maior grau de importância em relação a vulnerabilidade. A maioria das opiniões convergiram para uma contribuição para a vulnerabilidade a inundações superior a 40%. A média global para essa variável calculada foi de 0,517 (Figura 20).

**Figura 19 - Gráfico da distribuição dos pesos atribuídos pelos especialistas e peso médio da variável “número de pessoas com idade acima de 60 anos”.**



**Figura 20 - Gráfico da distribuição dos pesos atribuídos pelos especialistas e peso médio da variável “renda mensal per capita de até 1/4 do salário mínimo”.**



A variável “presença de lixo acumulado nas ruas” obteve certa concordância entre os especialistas. A maioria julgou que a presença de lixo acumulado nas ruas possui um grau de contribuição para a vulnerabilidade superior a 10%. A média desta variável foi de 0,240 (Figura 21).



**Figura 21 - Gráfico da distribuição dos pesos atribuídos pelos especialistas e peso médio da variável “presença de lixo acumulado nas ruas”.**



A variável “inexistência de bueiro ou boca de lobo”, para analisar a vulnerabilidade, na opinião dos especialistas, obteve o segundo maior peso. Esta variável apresentou pouca discordância entre as opiniões coletadas, apenas três especialistas a julgarem com grau de contribuição inferior a 20%. A média global da variável para analisar a vulnerabilidade foi de 0,352 (Figura 22).

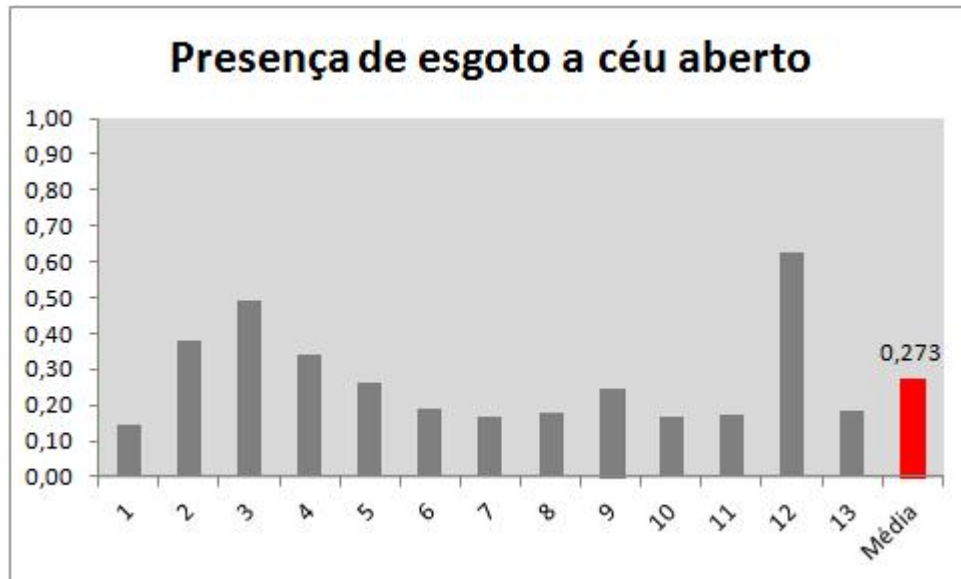
**Figura 22 - Gráfico da distribuição dos pesos atribuídos pelos especialistas e peso médio da variável “inexistência de bueiro ou boca de lobo”.**



A variável “presença de esgoto a céu aberto” obteve, de acordo com média atribuída pelos especialistas na área de gestão de riscos, um peso de 0,273. No entanto, conforme a Figura 23, pode ser observado

uma heterogeneidade nos graus atribuídos pelos especialistas, onde a maioria das respostas apontaram percentuais de peso por volta de 20%.

**Figura 23 - Gráfico da distribuição dos pesos atribuídos pelos especialistas e peso médio da variável “presença de esgoto a céu aberto”.**



As duas últimas variáveis consideradas para a elaboração do mapa de vulnerabilidade, cuja contribuição foi analisada no desenvolvimento deste processo, foram a “inexistência de pavimentação das ruas” e a “inexistência de calçada no entorno da moradia”.

Estas duas variáveis obtiveram certo consenso na opinião dos especialistas. Apenas em um julgamento a variável “inexistência de calçada no entorno da moradia” foi considerada com grau de importância alto. Ambas as variáveis em análise apresentaram um peso baixo e próximo entre si, na opinião dos especialistas. Foi atribuído o peso 0,081 para a variável “inexistência de pavimentação nas ruas”, e 0,082 para a variável “inexistência de calçada no entorno da moradia” (Figuras 24 e 25).

**Figura 24 - Gráfico da distribuição dos pesos atribuídos pelos especialistas e peso médio da variável “inexistência de pavimentação nas ruas”.**



**Figura 25 - Gráfico da distribuição dos pesos atribuídos pelos especialistas e peso médio da variável “inexistência de calçada no entorno da moradia”.**



### 3.4. Mapa de vulnerabilidade à inundação

A Figura 26 apresenta o Mapa de Vulnerabilidade à Inundação para a Bacia do Taquari-Antas, elaborado com base nas variáveis do Censo do IBGE, realizado no ano de 2010, e utilizando como ponderação, os pesos obtidos por meio da aplicação do método AHP.

Observando a contribuição das variáveis adotadas na elaboração deste mapa, pode-se verificar que o mapeamento preservou as características atribuídas a cada variável pelo método AHP.

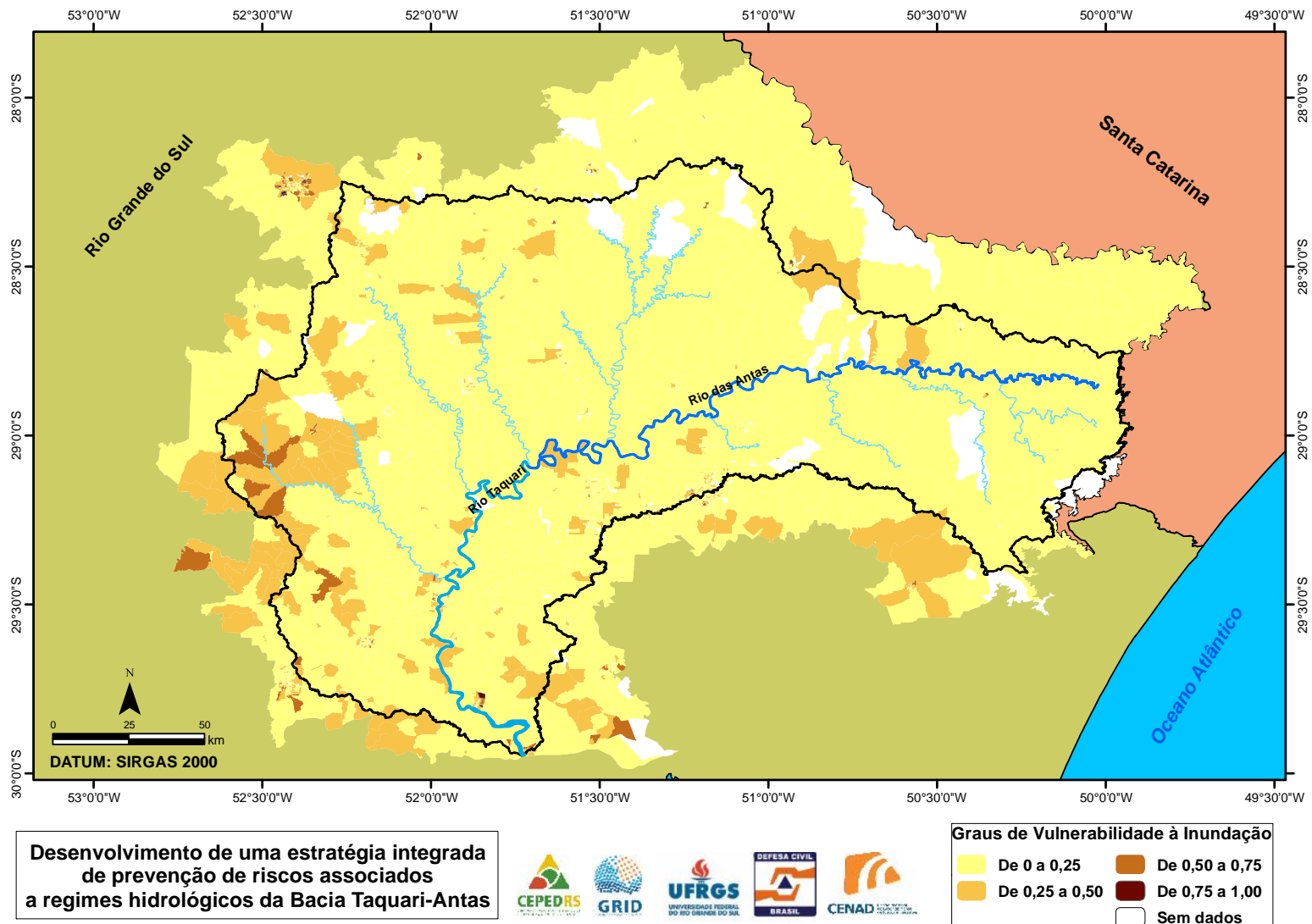
Conforme analisado anteriormente, a variável “renda mensal *per capita* de até  $\frac{1}{4}$  do salário mínimo”, de acordo com a opinião dos especialistas, foi a variável que apresentou o maior grau de importância para a análise da vulnerabilidade em processo de inundação. O mapeamento da vulnerabilidade preservou, de forma consistente, a espacialização obtida para esta variável. Consta-se que as regiões da Bacia onde esta variável apresenta-se em maior grau foram bem representativas no resultado do Mapa de Vulnerabilidade à Inundação.

Além disso, por meio do mapeamento elaborado, pode ser observado que existe uma quantidade razoável de locais na Bacia do Taquari-Antas com algum grau de vulnerabilidade, o que se deve às características da população e dos domicílios, levantadas pelo Censo do IBGE 2010.

Os graus de vulnerabilidade a inundação se distribuem no território compreendido pela Bacia do Taquari-Antas da seguinte forma:

- A maior parte do território da Bacia do Taquari-Antas é formada por setores censitários que apresentam o índice mais baixo de vulnerabilidade calculado, ou seja, de 0 a 0,25;
- Com a segunda maior quantidade de setores censitários na Bacia, estão aqueles que apresentam índice de vulnerabilidade entre 0,25 e 0,50. Estão localizados em áreas contíguas ao Rio Taquari-Antas, desde o Rio da Prata até a região do Baixo Taquari, na altura do município de Taquari. Outros setores com este índice se localizam às margens dos rios Carreiro, Forqueta e Fão – região que se destaca pela recorrência de enxurradas. Outros setores censitários com esta característica estão localizados, de forma esparsa, em diversos pontos da Bacia;
- Com grau de vulnerabilidade a inundação entre 0,50 e 0,75, encontram-se apenas alguns setores censitários que se localizam na região a Oeste na Bacia, nas proximidades do Rio Fão;
- O maior grau de vulnerabilidade a inundação está presente apenas em alguns dos setores censitários localizados no município de Taquari.

**Figura 26 - Mapa de Vulnerabilidade à Inundação para a Bacia do Taquari-Antas, com base nas variáveis do Censo IBGE (2010).**



#### 4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O emprego das variáveis, definidas por meio de análises e discussões com pesquisadores da área, obteve êxito na identificação de graus de vulnerabilidade para a Bacia, demonstrando que esses dados possuem potencial para serem empregados em estudos de gestão de riscos.

A aplicação do método AHP neste estudo apresentou uma limitação em seu emprego. Isso se deve à necessidade de aplicação individual para os envolvidos que ainda não possuem familiaridade com o método, restringindo o número de participantes e reduzindo a gama de julgamentos sobre as questões. Apesar desta limitação, houve uma aderência de 61,90% dos pesquisadores convidados a responder o questionário.

As respostas obtidas apresentaram-se heterogêneas para algumas variáveis e consensuais em outras, evidenciando a diversidade de formações e experiências com o tema, dos especialistas consultados, enriquecendo a metodologia de determinação dos pesos.

O método AHP mostrou-se consistente para a hierarquização/ponderação das variáveis do IBGE, fomentando a elaboração do Mapa de Vulnerabilidade à Inundação.

Por fim, recomenda-se para futuras análises o comparativo entre o mapa de vulnerabilidade obtido por meio de variáveis do IBGE com um mapa de ocorrências de desastre em estudo, de forma a verificar, se a vulnerabilidade espacial obtida ocorre nas áreas onde possuem mais recorrência do desastre.

## REFERÊNCIAS

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

BOMBASSARO, M.; ROBAINA, L. E. S. Contribuição geográfica para o estudo das Inundações na bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas, RS. **Revista Geografias**, v. 6, n. 2, p. 69-86, 2010.

BRASIL. Estatuto do Idoso. Lei 10741 de 2003. 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 24 de Fevereiro de 2016.

BRASIL. Lei 11.274 de 2006. Disponível em < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2006/lei/l11274.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/l11274.htm)> Acesso em 24 de Abril de 2016.

CENAD - Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres Brasil. Anuário brasileiro de desastres naturais: 2011 / Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil - Brasília: CENAD, p. 80, 2012.

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES. Universidade Federal de Santa Catarina (CEPED/UFSC)a. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais: 1991 a 2012**. 2 ed. – Florianópolis – SC, 126 p, 2013.

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES. Universidade Federal de Santa Catarina (CEPED/UFSC)b. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais: 1991 a 2012**. 2 ed. Volume Rio Grande do Sul – Florianópolis – SC, 184 p, 2013.

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES. Universidade Federal de Santa Catarina (CEPED/UFSC)a. Laboratório de Gestão de Riscos de Desastre - LabGrid. **Comparação de produtos e metodologias para mapeamento de vulnerabilidade a desastres**. – Florianópolis – SC, 115 p, 2014.

CUTTER, S. L.; MITCHELL, J. T.; SCOTT, M. S. Revealing the vulnerability of people and places: a case study of Georgetown County, South Carolina. **Annals of the association of American Geographers**, v. 90, n. 4, p. 713-737, 2000.

FURLAN, C. M.; LACRUZ, M. S. P.; SAUSEN, T. M. Vulnerabilidade socioeconômica à ocorrência de eventos extremos: proposta metodológica. **Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR**, p. 4540-4546, 2011.

GOERL, R. F.; KOBIYAMA, 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-doi: 10.4025/bolgeogr.v30i1.13519. **Boletim de Geografia**, v. 30, n. 1, p. 81-100, 2012.

GOMEDE, E.; BARROS, R. M. Utilizando o método analytic hierarchy process (ahp) para priorização de serviços de ti: Um estudo de caso. **VIII Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação, São Paulo**, p. 408-419, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo Demográfico 2010 Resultados Preliminares da Amostra**, Rio de Janeiro 2011. Disponível em <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/resultados\\_preliminares\\_amostra/notas\\_resultados\\_preliminares\\_amostra.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/resultados_preliminares_amostra/notas_resultados_preliminares_amostra.pdf)> Acesso de 1º de Julho de 2016.

LICCO, E. A. Vulnerabilidade social e desastres naturais: uma análise preliminar sobre Petrópolis, Rio de Janeiro. **InterfaceHS-Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 8, n. 1, 2013.

MARCELINO, E. V.; NUNES, L. H.; KOBİYAMA, M. Mapeamento de risco de desastres naturais do estado de Santa Catarina. **Caminhos de Geografia**, v. 7, n. 17, 2006.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Vulnerabilidade Ambiental. Org: SANTOS, R. F. Brasília, 192 p, 2007.

SAATY, T. L.; RAMANUJAM, V. An objective approach to faculty promotion and tenure by the analytic hierarchy process. **Research in Higher Education**, v. 18, n. 3, p. 311-331, 1983.

SAATY, T. L. How to make a decision: the analytic hierarchy process. **European journal of operational research**, 1990, 48.1: 9-26.

SAATY, T. L.; VARGAS, L. G. A new approach to the middle east conflict: the analytic hierarchy process. In: **Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process**. Springer US, p. 203-247, 2012.

SILVA FILHO, L. C. P.; PASSUELLO, A.; GIAZZON, E. M. A.; FIGUEIREDO, I. A. **Metodologia - Mapeamento de vulnerabilidade de áreas suscetíveis a deslizamentos e inundações**. Porto Alegre. GRID/CEPED-UFRGS, 2015 (Relatório Técnico-Científico).

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. Instituto Geológico, São Paulo – SP, 196 p. 2009.

TOMINAGA, L. K. Desastres Naturais: Por que ocorrem?. In: **Desastres Naturais: conhecer para decidir**. Org: TOMINAGA, L. K; SANTORO, J.; AMARAL, R. 3 ed. – São Paulo – SP, Instituto Geológico, 2015.