

## Expansão urbana nas áreas inundáveis do rio Paranhana no município de Igrejinha/RS

Guilherme Garcia de Oliveira<sup>1</sup>  
Renata Pacheco Quevedo<sup>2</sup>  
Laurindo Antonio Guasselli<sup>3</sup>  
Pablo Hebert Nörnberg Menezes<sup>4</sup>

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS  
Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia - CEPSRM  
Caixa Postal 15044 - 91501-970 - Porto Alegre - RS, Brasil.

<sup>1</sup>g.g.oliveira10@gmail.com; <sup>2</sup>renata-quevedo@hotmail.com; <sup>3</sup>laurindo.guasselli@ufrgs.br;  
<sup>4</sup>pablomenezes13@hotmail.com

**Abstract.** The floods of the Paranhana river reach thousands of residents of the Igrejinha City, Brazil. Still, were observed, in field activities, evidences that the human occupation continues advancing on the Paranhana river flood areas. Such evidences can be proven from orbital data of high spatial resolution. The utilization of remote sensing data, combined with geoprocessing techniques, provides support for the analysis of the human occupation on flooded areas. The objective of this study is to analyze the urban expansion in flooded areas of the Paranhana river in Igrejinha, by using remote sensing data, geoprocessing tools and hydrologic models. The flooded areas were spatially distributed by hydrological models, considering a rain that lasts 24 hours and has the reoccurrence of 50 years. And then were identified the constructions built in the period between 09/03/2005 and 22/06/2010 - dates of orbital images used - in the flooded areas. Finally, the urban expansion in these areas was analyzed considering the vulnerability of constructions to the floods. The main results obtained were: i) the rain (24 h; reoccurrence = 50 years) was of 185 mm, generating a flow peak of 1189 m<sup>3</sup>/s and a rise of 9.5 m in the Paranhana river level, ii) the spatial distribution of flooded areas showed satisfactory results, in keeping with the records obtained in field activities, iii) it was identified 759 constructions built in the period 2005-2010, in the flooded areas, 88% of residential use, iv) 39.1% of the buildings were classified as highly vulnerable to the floods.

**Palavras-chave:** remote sensing, floods, urban settlement, sensoriamento remoto, enchentes, ocupação urbana.

### 1. Introdução

A ocupação do vale do rio Paranhana, na bacia hidrográfica do rio dos Sinos/RS, e de suas planícies de inundação remonta ao século XIX, predominantemente, por imigrantes alemães (Flores, 2004). Nesta área, historicamente, são registrados muitos casos de perdas humanas e materiais em decorrência de inundações bruscas e enxurradas. Um dos episódios mais severos foi o ocorrido em junho de 1982, que provocou algumas mortes, desabrigou centenas de famílias e resultou em sérios impactos na economia da região.

As inundações frequentemente atingem milhares de moradores nos municípios de Parobé, Taquara, Igrejinha e Três Coroas, cujas áreas urbanas estão predominantemente localizadas nas planícies e terraços fluviais do vale do Paranhana. Em janeiro de 2010, por exemplo, de acordo com a Defesa Civil do Rio Grande do Sul, as inundações atingiram mais de 57.000 pessoas nestes quatro municípios, ocasionando perdas humanas, a destruição de residências, escolas, indústrias e estradas, e a pausa no fornecimento de energia (Oliveira et al., 2012).

É importante ressaltar que as inundações e enxurradas são originadas por eventos climáticos extremos e constituem-se em fenômenos de ocorrência natural e periódica em todos os ambientes fluviais (Castro, 1998; Oliveira, 2010; Marengo, 2010). Apesar destes fenômenos ocorrerem naturalmente, diversos estudos (Alcántara-Ayala, 2002; Kobiyama et al., 2004; CRED, 2012) confirmam o aumento da frequência na qual estes fenômenos causam impactos negativos na sociedade e também o aumento dos prejuízos causados por estes (Brubacher et al., 2012).

O aumento dos impactos das inundações pode ser explicado, principalmente, pela expansão da ocupação humana em áreas suscetíveis à ocorrência destes fenômenos (Kobiyama et al., 2006; Oliveira, 2010). A ocupação destas áreas ocorre pela presença de infraestrutura urbana, pela localização e mobilidade, sendo, muitas vezes, impulsionada pela especulação imobiliária. Além disso, a sociedade ocupa estas áreas em virtude dos desastres naturais possuem uma distribuição irregular no tempo, muitas vezes sem nenhuma ocorrência durante décadas (Tucci e Bertoni, 2003). Com o transcorrer dos anos, os investimentos em planejamento e prevenção se tornam insuficientes em relação à expansão urbana, e uma nova inundação causa uma destruição as vezes superior àquela registrada anteriormente.

Neste contexto, fica evidente a necessidade de espacializar as áreas suscetíveis à ocorrência de inundações, identificar e caracterizar as habitações mais vulneráveis e analisar a expansão da ocupação humana com ênfase nas áreas de inundação. Estas medidas, entre outras possíveis, podem contribuir com um planejamento mais eficiente do espaço urbano, de modo a reduzir os riscos à sociedade, e incentivar a preservação de áreas importantes para a manutenção da dinâmica fluvial.

Os dados obtidos por sensoriamento remoto, aliados às técnicas de geoprocessamento, constituem-se em importantes ferramentas, que auxiliam tanto em estudos sobre a relação entre as inundações e a dinâmica da ocupação urbana, quanto na elaboração/execução de mapas de inundação (risco, perigo e vulnerabilidade), entre outras medidas.

O objetivo do presente estudo é analisar a expansão urbana nas áreas inundáveis do rio Paranhana, no município de Igrejinha - RS, utilizando dados de sensoriamento remoto, ferramentas de geoprocessamento e modelos hidrológicos.

## **2. Materiais e métodos**

Este trabalho compreendeu quatro etapas:

- i) modelagem e espacialização das áreas inundáveis associadas a um tempo de retorno (TR), a partir de da simulação hidrológica de um evento de chuva de projeto;
- ii) processamento digital das imagens orbitais de alta resolução espacial de 09/03/2005 e de 22/06/2010, originando dois mosaicos georreferenciados;
- iii) identificação das novas construções entre 2005 e 2010, através da interpretação visual, nas áreas inundáveis modeladas na etapa i;
- iv) análise da expansão urbana nas áreas inundáveis, considerando a densidade de novas habitações nestas áreas, a vulnerabilidade e o tipo de uso urbano.

### **2.1 Área de estudo**

A bacia hidrográfica do rio Paranhana (Figura 1) possui 574 km<sup>2</sup>, sendo uma das principais bacias de contribuição do rio dos Sinos, Região Hidrográfica do Lago Guaíba. As áreas urbanizadas de Igrejinha estão localizadas, em grande parte, em áreas suscetíveis às inundações. Nestas áreas, as inundações ocorrem normalmente de forma rápida, isto é, poucas horas após o pico das chuvas, dadas as características hidrológicas da bacia à montante (tempo de concentração: < 8 horas) e morfométricas (desnível altimétrico: > 900 m; declividade média: > 25%).

### **2.2 Modelagem e espacialização das áreas inundáveis**

Nesta etapa, o conjunto de métodos adotado compreendeu, de forma simplificada, a geração da chuva de projeto com uma determinada recorrência associada, a modelagem hidrológica e a espacialização das áreas inundáveis.

A geração da chuva de projeto, com TR de 50 anos e duração de 24 horas, foi realizada com base em dados pluviométricos disponíveis, através da construção de uma equação do tipo

IDF (intensidade-duração-frequência). A construção da equação IDF é frequentemente utilizada para a geração de chuvas de projeto, que são fundamentais para o dimensionamento de obras hidráulicas, para a geração de manchas de inundação, entre outros (Bertoni e Tucci, 2007).

Em seguida, foram utilizados dois modelos hidrológicos: um para a transformação da chuva em vazão e o outro para a propagação da onda de cheia. O primeiro modelo utilizado foi o SCS (*Soil Conservation Service*), modelo do tipo concentrado, que realiza a transformação da chuva em vazão na saída das sub-bacias, com base em uma equação empírica que calcula as perdas por evapotranspiração e por infiltração, utilizando parâmetros definidos pelo uso e cobertura do solo. Os padrões de uso e cobertura do solo foram obtidos com base em classificação supervisionada pelo método da máxima verossimilhança de uma imagem orbital multiespectral Landsat 5 (TM) de 2009. O segundo modelo hidrológico utilizado foi o Muskingum Cunge, modelo que propaga a vazão em segmentos de rios, simulando o comportamento da onda de cheia durante o evento de precipitação de projeto.

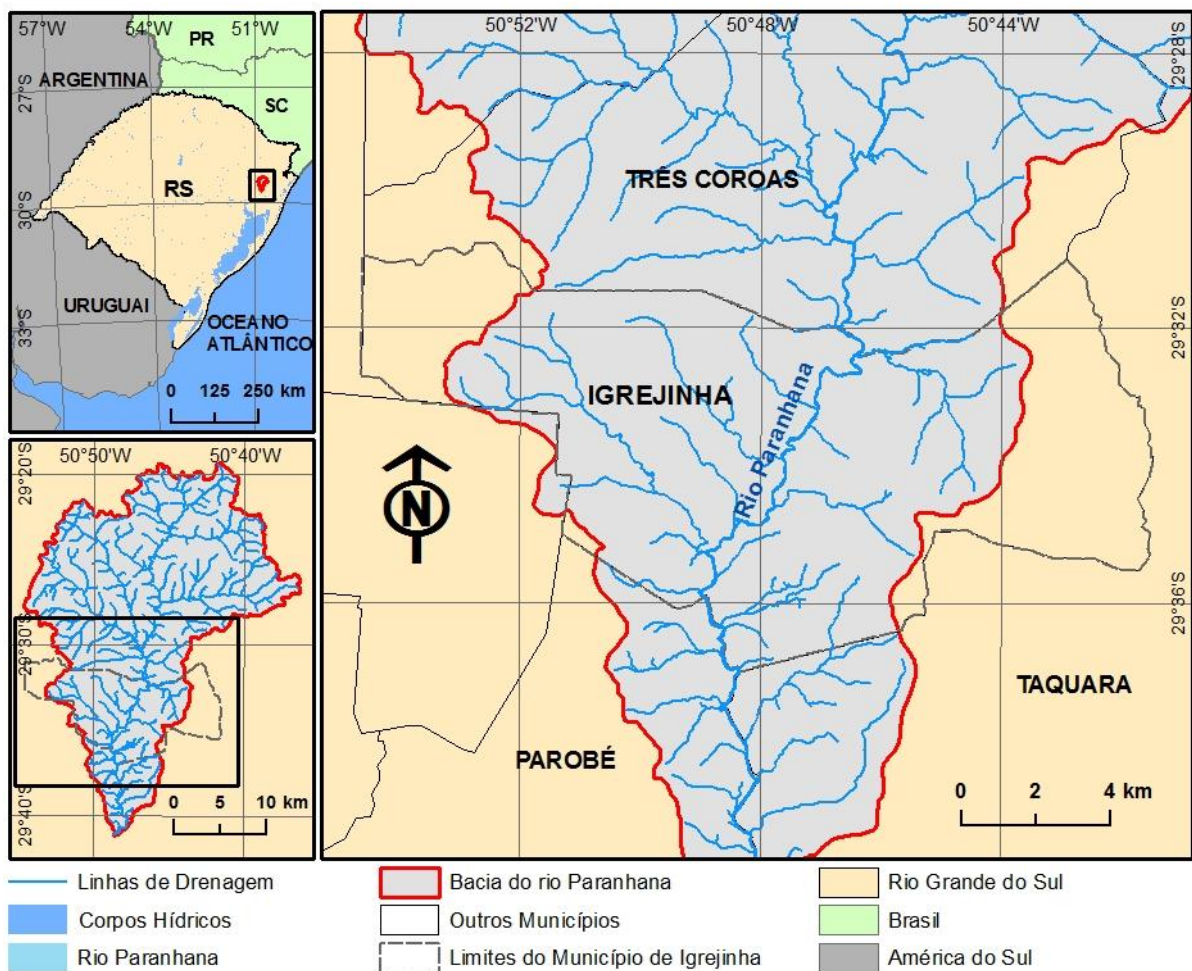


Figura 1. Localização da bacia hidrográfica do rio Paranhana e do município de Igrejinha, RS.

Em ambos os modelos foram necessárias estimativas de alguns parâmetros físicos da bacia e dos principais rios (área, tempo de concentração, extensão da drenagem, etc.). Estes parâmetros foram estimados e/ou extraídos com base nos dados *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) e na hidrografia digitalizada por Hasenack e Weber (2010), escala 1:50.000, referente à cartografia da Divisão de Serviços Geográficos do Exército (DSG).

A espacialização das áreas inundáveis, no município de Igrejinha/RS, com TR de 50 anos, foi obtida através da estimativa das cotas altimétricas atingidas pelas águas no pico da cheia

em quatro seções transversais do rio Paranhana. Para tanto, com base nos dados SRTM, foram construídas curvas-chave, relacionando a vazão do rio com a cota atingida. Uma vez que as vazões de pico, nos quatro trechos do rio, foram obtidas via modelagem hidrológica, a estimativa da cota é facilmente realizada a partir das equações que definem as curvas-chave. Por fim, as cotas atingidas nas quatro seções transversais foram interpoladas de modo a produzir uma delimitação contínua das áreas de inundação no evento de precipitação hipotético, de alta magnitude e baixa recorrência.

A avaliação da delimitação foi realizada com apoio de pontos de ocorrências de inundações obtidos em atividades de campo, de registros de inundações obtidos a partir de jornais e de uma lista de residências afetadas fornecida pela prefeitura municipal.

### **2.3 Processamento digital das imagens orbitais**

O processamento digital das imagens orbitais de alta resolução espacial compreendeu os seguintes procedimentos:

i) captura de cenas da imagem orbital de alta resolução espacial do satélite QuickBird (*Digital Globe*), adquirida em 09/03/2005, através do aplicativo Google Earth, com altura de voo pré-estabelecida em 750 m, perfazendo um total de 74 cenas que compreenderam todas as áreas inundáveis do município de Igrejinha;

ii) captura de cenas da imagem de alta resolução espacial do satélite GeoEye, adquirida em 22/06/2010, através do mesmo aplicativo, com mesma altura de voo;

iii) registro entre as 74 cenas de cada passagem, originando dois mosaicos de imagens de alta resolução. Em virtude das capturas de cena terem sido realizadas na mesma escala, definida pela altura de voo, tal procedimento pode ser realizado no aplicativo CorelDraw, originando um mosaico sem deslocamentos entre as cenas;

iv) georreferenciamento dos mosaicos, realizado no aplicativo ENVI 4.5.

### **2.4 Identificação das novas construções no período 2005-2010**

Nesta etapa foi realizada a identificação de novas construções (concluídas entre 09/03/2005 e 22/06/2010) nas áreas inundáveis em relação a um evento de chuva com TR de 50 anos e duração de 24 horas. A vetorização das construções foi realizada por interpretação visual, na escala visual de 1:1.000 (aproximadamente), em formato de polígonos, desconsiderando as obras em lotes que já haviam construções em 2005. O aplicativo utilizado foi o ArcGIS 9.3.

### **2.5 Análise da expansão urbana (2005-2010) nas áreas inundáveis**

A análise espacial da expansão urbana nas áreas de inundação (TR = 50 anos), no período entre 2005 e 2010, compreendeu a elaboração de uma base referente à densidade das novas construções nestas áreas, a quantificação do número de construções por tipo de uso urbano (residencial, comercial/serviços, industrial ou uso misto) e por condições de infraestrutura (classes de vulnerabilidade às inundações).

Para a obtenção da densidade das novas construções nas áreas inundáveis, os polígonos foram convertidos para formato de pontos, sendo aplicada a ferramenta de análise espacial “*Point Density*”, no ArcGIS 9.3. Os tipos de uso urbano e as classes de vulnerabilidade foram obtidos com o auxílio de atividades de campo e do aplicativo *Google Street View*.

Foram consideradas três classes de vulnerabilidade: i) alta vulnerabilidade – casas com infraestrutura precária, normalmente de madeira, construídas em cota altimétrica facilmente atingida pelas águas; ii) média vulnerabilidade – casas de alvenaria, porém construídas em cota altimétrica facilmente atingida pelas águas; iii) baixa vulnerabilidade – casas ou edificações de alvenaria construídas em cotas dificilmente atingidas.

### 3. Resultados e discussão

O primeiro resultado de destaque se refere às condições hidrológicas simuladas. A chuva de projeto apresentou o valor acumulado de 185 mm, com intensidade média de 7,7 mm/h, considerando um evento com TR de 50 anos e duração de 24 horas. O pico da chuva ocorreu na metade do evento (após 12 horas), com 18 mm em apenas cinco minutos e intensidade de 216 mm/h. O pico das vazões no rio Paranhana, próximo ao Centro de Igrejinha (Figura 2), ocorreu cerca de duas horas após o pico da chuva, atingindo 1.189 m<sup>3</sup>/s. No evento, o nível do rio Paranhana chegou a subir 9,5 m em alguns pontos da cidade. A extensão lateral média das áreas inundáveis neste evento foi de 450 m, isto é, mais de 200 m sobre cada margem. O escoamento superficial cessou nove horas após o término da chuva.

Na Figura 2 são apresentados dois mapas: i) mapa das áreas inundáveis de Igrejinha durante o evento de chuva simulado, sobre o mosaico de imagens de alta resolução espacial (22/06/2010); ii) mapa da densidade de novas construções nas áreas inundáveis de Igrejinha.

Considerando um evento de grande magnitude como o simulado neste trabalho, cerca de 6 km<sup>2</sup> (4,4%) do município de Igrejinha seria atingido pelas águas do rio Paranhana e de seus principais afluentes. Quanto às áreas urbanas, foram observados 2,15 km<sup>2</sup> de áreas atingidas, que equivale, aproximadamente, a 15% da área urbana total do município.

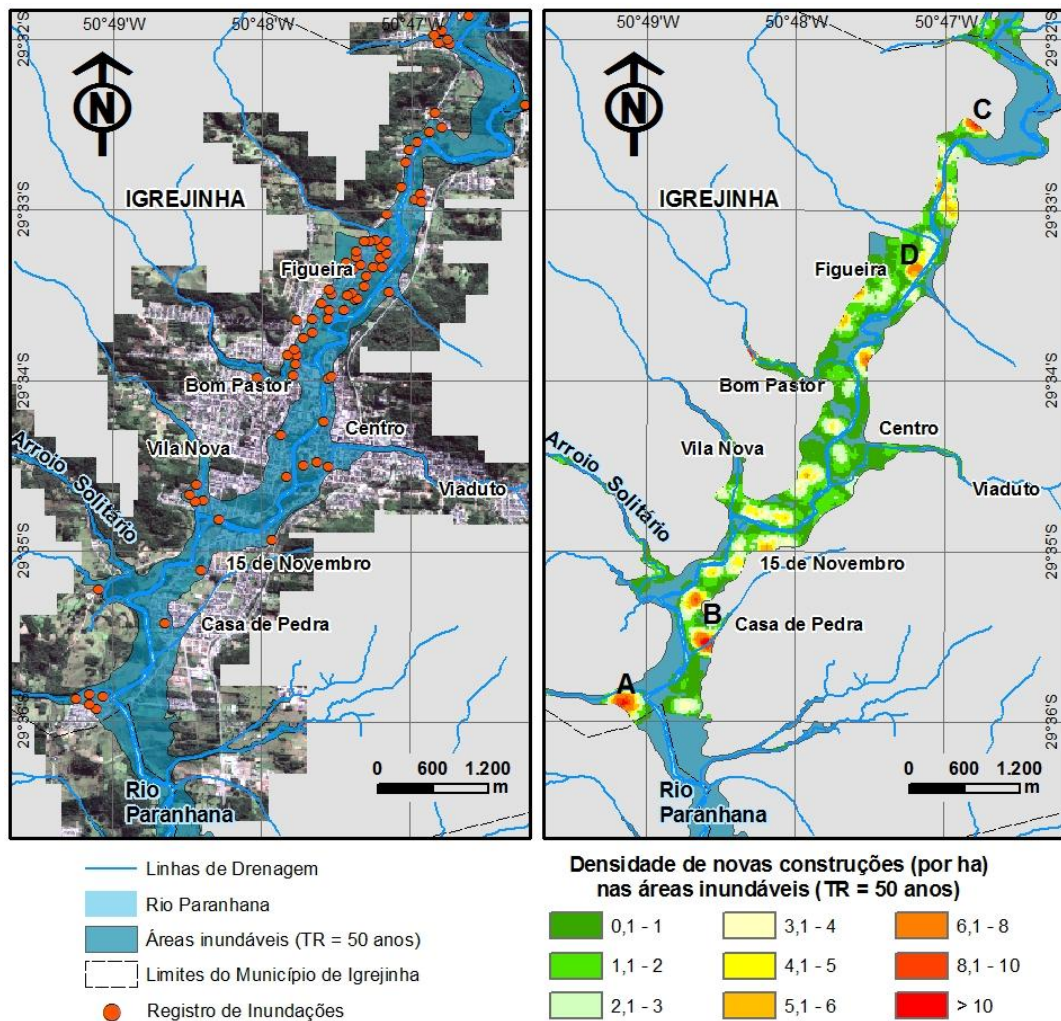


Figura 2. Áreas inundáveis em evento de chuva com TR de 50 anos, duração de 24 horas; Densidade de novas construções (2005-2010) nas áreas inundáveis de Igrejinha – RS.

Os pontos com registro de inundações (Figura 2) foram coletados em eventos que ocorreram na bacia nos anos de 2009, 2010 e 2011. Ao todo, dos 92 pontos com registro,

apenas 3 não coincidiram com as áreas mapeadas de inundação. Isto indica que a espacialização apresentou resultados satisfatórios, mesmo com as limitações relacionadas à escala dos dados hidrológicos e altimétricos disponíveis. A precisão da espacialização tende a melhorar à medida que dados altimétricos de maior resolução espacial sejam adquiridos, aumentando a confiabilidade dos perfis topográficos das seções transversais.

A densidade de construções realizadas, entre 2005 e 2010, em áreas inundáveis, apresentou valores de até 12 habitações novas por hectare. Isto ocorreu no bairro Casa de Pedra, localizado na porção sul da área urbana de Igrejinha, em dois locais (A e B, Figura 2), sendo que, na localidade A, já estavam construídos os arruamentos em 2005, enquanto que, na localidade B, houve a construção de novos arruamentos e o loteamento das quadras.

Na porção norte da área urbana de Igrejinha, bairro Figueira, também existem locais com elevada densidade de novas construções, com valores próximos de 10 por hectare (C e D, Figura 2). Outros bairros com densidades superiores a seis construções novas por hectare foram: 15 de Novembro e Bom Pastor, ambos na porção central do município.

A Figura 3 apresenta a localização das construções realizadas no período, na área de inundação, considerando o tipo de uso urbano e a vulnerabilidade às inundações. Ao todo, foram observadas 759 construções referentes ao período entre 2005 e 2010, sendo que, destas, 667 foram concebidas para o uso residencial (87,9%), 80 para o uso comercial ou de serviços (10,5%) e cinco para o uso industrial (0,7%). Também foram observadas sete construções de uso misto (0,9%).

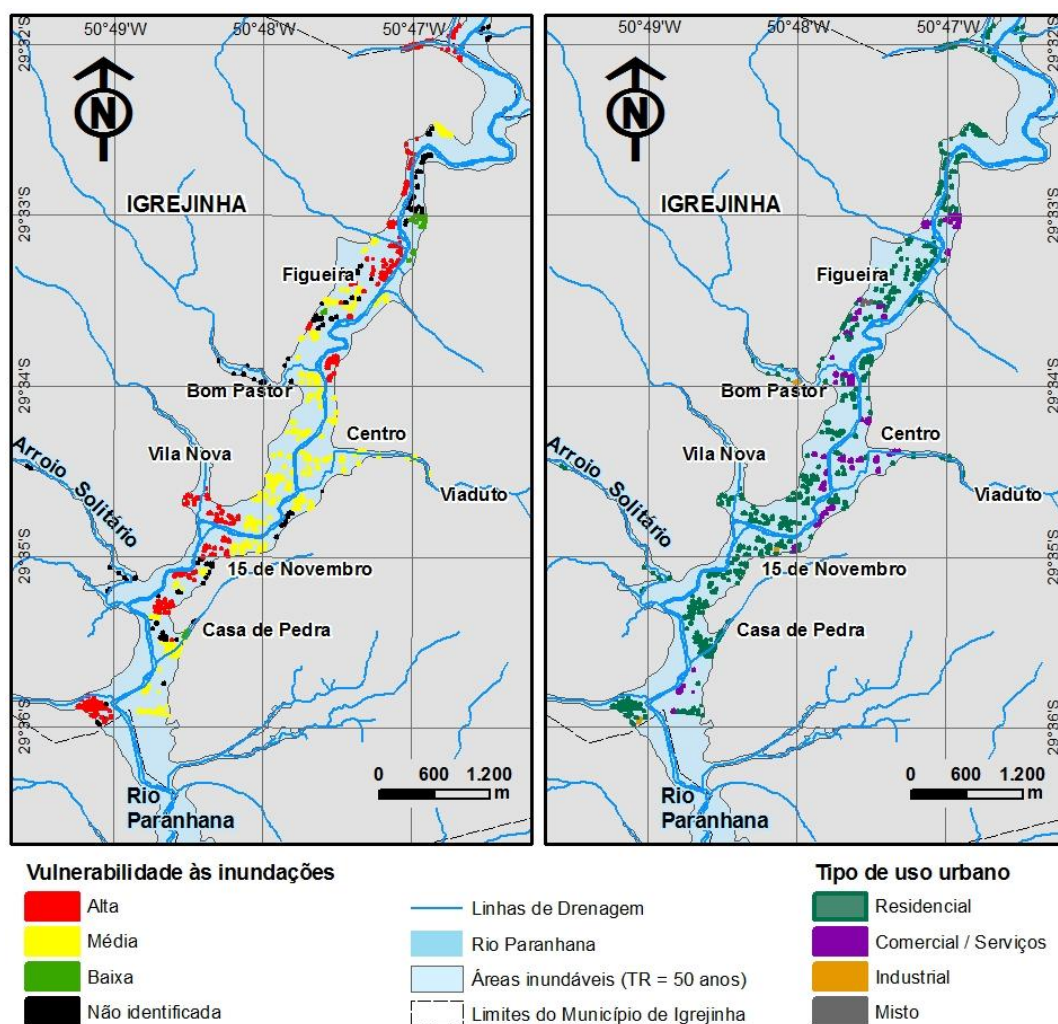


Figura 3. Construções realizadas nas áreas inundáveis (TR = 50 anos) de Igrejinha – RS, entre 2005 e 2010: vulnerabilidade às inundações e o tipo de uso urbano.

Quanto à vulnerabilidade às inundações, das 759 construções novas, 297 apresentaram alta vulnerabilidade (39,1%), 308 foram classificadas como média vulnerabilidade (40,6%) e 21 apresentaram baixa vulnerabilidade (2,8%). Não foram classificadas 133 construções (17,5%), em virtude da inexistência de fotos no aplicativo *Google Street View* ou de pontos coletados em campo.

As áreas de alta vulnerabilidade às inundações estão localizadas preferencialmente na periferia da área urbana, em locais mais afastados do Centro, nos bairros Casa de Pedra, 15 de Novembro, Vila Nova e Figueira. De modo geral, estas construções estão associadas ao tipo de uso residencial (Figura 3).

No Centro predominam novas construções com média vulnerabilidade às inundações, caracterizados pelo tipo de uso comercial ou de serviços. No bairro Figueira, na porção norte da área urbana, está localizado um loteamento construído no período analisado que se destaca pela sua baixa vulnerabilidade às enchentes do rio Paranhana: tratam-se de edificações comerciais, com dois pavimentos, em área muito próxima do rio, porém com infraestrutura mais adequada para evitar prejuízos com as inundações.

#### 4. Conclusões

O presente estudo analisou a expansão urbana nas áreas inundáveis do rio Paranhana, no município de Igrejinha, RS, utilizando dados de sensoriamento remoto, ferramentas de geoprocessamento e modelos hidrológicos. Os materiais e os métodos utilizados se mostraram eficientes, considerando o objetivo proposto.

A delimitação das áreas inundáveis apresentou uma satisfatória precisão, com apenas três dos 92 pontos com registros de inundações (3,3%) não coincidindo com o mapa. Ainda assim, é evidente que a precisão da espacialização tende a melhorar à medida que dados altimétricos de maior resolução espacial sejam adquiridos, aumentando a confiabilidade dos perfis topográficos das seções transversais.

Ao todo, foram identificadas 759 novas construções nas áreas inundáveis, entre 2005 e 2010, sendo 88% do tipo de uso residencial. É importante destacar que 39,1% das novas habitações apresentaram alta vulnerabilidade às inundações, o que poderá agravar as consequências das inundações em episódios futuros.

Ainda que os resultados tenham sido positivos, salienta-se a necessidade de refinar o mapeamento de áreas de inundação, adotando-se outros TRs, e de iniciar o monitoramento sistemático de níveis e de vazão. Estas medidas podem subsidiar novas ações de planejamento de ocupação do solo no município de Igrejinha e incentivar criação de um sistema de alerta a eventos extremos relacionados com as enchentes do rio Paranhana.

#### Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro ao projeto de pesquisa. Ao Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia (CEPSRM) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) pela infraestrutura indispensável à realização do projeto.

#### Referências Bibliográficas

Alcántara-Ayala, I. Geomorphology, natural hazard, vulnerability and prevention of natural disasters developing countries. *Geomorphology*, v. 47, p. 107-124, 2002.

Bertoni, J.C.; Tucci, C.E.M. Precipitação. In: Tucci, C.E.M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ANRH, 2007. Cap. 5, p. 177-242.

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.

Castro, A.L.C. **Glossário de defesa civil, estudos de riscos e medicina de desastres**. 2 ed. Brasília: Ministério do Planejamento e Orçamento, 1998. 283 p.

CRED - CENTRE FOR RESEARCH ON THE EPIDEMIOLOGY OF DISASTERS. **The international disaster database (EM-DAT)**. 2012. Disponível em: <<http://www.emdat.br/database>>. Acesso em: 24.fev.2012.

Flores, H.A.H. **História da imigração alemã no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EST Edições, 2004. 144 p.

Hasenack, H.; Weber, E. (Org.). **Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul - escala 1:50.000**. Porto Alegre: UFRGS-IB-Centro de Ecologia, 2010. DVD-ROM (Série Geoprocessamento, 3).

Kobiyama, M.; Checchia, T.; Silva, R.V.; Schröder, P.H.; Grando, A.; Reginatto, G.M.P. Papel da comunidade e da universidade no gerenciamento de desastres naturais. In: Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais, 1., 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004. p. 834-846, CD-ROM.

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.; Moller, G.S.F.; Rudorff, F.M. **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos**. Florianópolis: Ed. Organic Trading, 2006. 109 p.

Marengo, J.A. **Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil**. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável – FBDS. 2010. Disponível em: <<http://www.fbds.org.br/fbds/IMG/pdf/doc-504.pdf>>. Acesso em: 23.fev.2012.

Oliveira, G.G. **Modelos para previsão, espacialização e análise das áreas inundáveis na bacia hidrográfica do rio Cai, RS**. 2010. 148 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, UFRGS, Porto Alegre. 2010.

Oliveira, G.G.; Valente, P.T.; Guasselli, L.A. Espacialização das áreas de inundação nos municípios de Igrejinha e Três Coroas, bacia hidrográfica do rio Paranhana/RS. In: Simpósio Nacional de Geomorfologia (SINAGEO), 9., 2012, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: UFRJ, 2012. Artigos, CD-ROM.

Tucci, C.E.M.; Bertoni, J.C. (Org.) **Inundações urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003. 150 p.