



## **Mapeamento das áreas urbanas suscetíveis às inundações do Rio Taquari em Lajeado/RS**

**Sofia Royer Moraes<sup>1</sup>, Rafael Rodrigo Eckhardt <sup>2</sup>, Guilherme Garcia de Oliveira<sup>3</sup>,  
Cláudio Wilson Mendes Junior<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>UFRGS/(sofiaroyermoraes@gmail.com), <sup>2</sup> UNIVATES/ (rafare@univates.br), <sup>3</sup>UFRGS/  
(g.g.oliveira10@gmail.com), <sup>4</sup>UFRGS/ (geoclaudio@yahoo.com.br)

### **Resumo**

O objetivo deste estudo é o mapeamento e análise das áreas urbanas e das edificações suscetíveis às inundações do Rio Taquari na cidade de Lajeado/RS. Foram utilizados os registros das enchentes e das inundações ocorridas no município de Lajeado, no período de 1980 até 2015, ajustados de acordo com Greiner (2014). O mapeamento das áreas e infraestruturas suscetíveis às inundações foi realizado no *software* ArcGis, a partir de uma base digital de informações espaciais, organizada pela empresa BASE S.A. em 2013, na escala 1:2.000. A validação das informações foi realizada com a inundação ocorrida em 10 de outubro de 2015, que alcançou o nível de 23,81 m, sendo 10,81 m acima do nível de referência. Foram mapeadas as áreas atingidas pelas inundações do nível de 19 m até o nível de 30 m. No nível topográfico de 19 m, o total de área abrangida pela inundação foi de 25,98 ha, variando para 112,15 ha no nível máximo estudado, 30 m, o que representa 11,50% da área total do município. O erro altimétrico médio foi de 0,74 m, com desvio padrão ( $\sigma$ ) de 0,79 m. Já o erro médio horizontal da cota de inundação mapeada de 23,81 m, em relação à área inundada observada in loco foi de 6,77 m e  $\sigma$  de 6,06 m. O mapeamento indicou ainda, que em inundações de magnitudes extremas, o número de edificações suscetíveis ao fenômeno supera 1000 unidades.

Palavras-chave: Desastres Naturais. Cartas de Inundações. SIG's.

Área Temática: Recursos Hídricos

## **Mapping of urban areas susceptible to the flooding of Taquari River in city of Lajeado / RS**

### **Abstract**

*The objective of this study is the mapping and analysis of the urban areas and the buildings susceptible to the floods of the Taquari River in the city of Lajeado / RS. The records of floods and floods occurred in the municipality of Lajeado, from 1980 to 2015, adjusted according to Greiner (2014). The mapping of areas and infrastructure susceptible to flooding was carried out in ArcGis software, from a digital base of spatial information, organized by the company BASE SA in 2013, in the scale 1: 2000. The validation of the information was made with the flood occurred on October 10, 2015, which reached the level of 23.81 m, being 10.81 m above the reference level. Flood areas were mapped from the 19 m level to the 30 m level. At the topographic level of 19 m, the total area covered by the flood was 25.98 ha, varying to 112.15 ha at the maximum level studied, 30 m, which represents 11.50% of the total area of the municipality. The average altimetric error was 0.74 m, with standard deviation ( $\sigma$ ) of 0.79 m. Meanwhile, the average horizontal error of the mapped flood quota of 23.81 m, in relation to the flooded area observed in loco was of 6.77 m and  $\sigma$  of 6.06 m. The mapping also indicated that in floods of extreme magnitudes, the number of buildings susceptible to the phenomenon exceeds 1000 units.*

*Key words: Natural disasters. Flood Charts. SIG's.*

*Theme Area: Water Resources*



## 1 Introdução

As enchentes são mais antigas que a existência do homem, pois estas são fenômenos naturais dos regimes dos rios, presentes no ciclo hidrológico de qualquer curso hídrico (TUCCI; BERTONI, 2003; ALVES *et al.*, 2013). No entanto, a ocupação antrópica ao longo das bacias hidrográficas pode ocorrer sem um planejamento adequado, com reduzida preocupação acerca da preservação do meio ambiente (TUCCI, 2013). Ao ocupar as várzeas e as planícies fluviais é comum o enfrentamento, por parte da população, de problemas com o regime fluvial dos rios, onde se verifica a ocorrência de enchentes e inundações (GUASSELLI; OLIVEIRA; ALVES, 2013).

Cabe ressaltar que as enchentes consistem na elevação do nível dos cursos de água, podendo ou não causar inundações. Quando os rios se elevam até o limite do canal principal ou leito menor, caracteriza-se o evento como uma enchente. Já as inundações, ocorrem quando há o transbordamento das águas para as áreas adjacentes, atingindo edificações localizadas nas áreas sujeitas às inundações periódicas (GOERL; KOBİYAMA, 2005).

Como soluções ambientalmente sustentáveis para as atuais infraestruturas, bem como para novos empreendimentos, é importante o gerenciamento integrado da ocupação urbana, com a preservação das funções naturais de infiltração e das redes naturais de escoamento (TUCCI, 2007). Segundo KOBİYAMA *et al* (2006), cada R\$ 1 investido em prevenção equivale, em média, entre R\$ 25 e R\$ 30 de obras de reconstrução pós-evento. Os desastres naturais podem ter magnitudes variadas, exigindo a alocação de recursos e estudos preventivos nem sempre disponíveis.

O município de Lajeado está localizado no centro-leste do Estado do Rio Grande do Sul, às margens do Rio Taquari, onde as inundações, de origem natural, ocorrem periodicamente e causam impactos no âmbito social, econômico e ambiental. Assim como a maior parte dos municípios brasileiros, Lajeado não foi devidamente planejado ao longo de seu crescimento populacional. Para Eckhardt (2008), a colonização e seu desenvolvimento ocorreram de forma espontânea à margem direita do Rio Taquari, de modo que um dos principais problemas socioeconômicos e ambientais do município está associado com a problemática das inundações. As inundações que ocorrem em Lajeado, são causadas por eventos intensos de precipitação pluviométrica na Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas. Os impactos decorrentes das inundações ocorrem, principalmente, devido à urbanização irregular das áreas sujeitas às inundações ao longo do tempo.

Com base na série histórica de inundações, o município de Lajeado determinou em seu plano diretor, de acordo com o Art. 135, Inciso I, Parágrafo 1º, a não ocupação de áreas em altitudes que se encontram abaixo de 27 m, pois as mesmas estão sujeitas às inundações. No entanto, não há documentação que comprove que o nível de referência das réguas linimétricas do porto de Estrela/RS esteja referenciado com as altitudes ortométricas, ou seja, com o nível do mar (GREINER, 2014).

Nesse sentido, Greiner (2014) avaliou o referencial de nível da água do Rio Taquari junto ao Porto de Estrela e reavaliou a série histórica dos níveis das inundações com base em uma Rede Altimétrica de Alta Precisão (RRNN). Os resultados do referido trabalho, embasado por medições topográficas com amarração nas RRNNs, indicaram que o nível de referência do Rio Taquari corresponde à altitude ortométrica de 12,30 m, junto às réguas linimétricas do Porto de Estrela, utilizadas para consolidar a série histórica das inundações. O autor concluiu que todos os níveis das inundações registrados pelo Porto de Estrela desde a sua construção e operação, em 1977, estão 70 cm acima do nível ajustado com a RRNN de Lajeado, aspecto que interfere diretamente no planejamento da ocupação urbana, na utilização da base cartográfica para a geração de cartas de inundação e, conseqüentemente, nos sistemas de previsão e alerta das inundações e nas ações preventivas e de contingência da Defesa Civil.



Com base nos resultados obtidos por Greiner (2014), torna-se necessário realizar o mapeamento atualizado das áreas afetadas pelas inundações em Lajeado, utilizando a série histórica consolidada das inundações e a base cartográfica digital disponível.

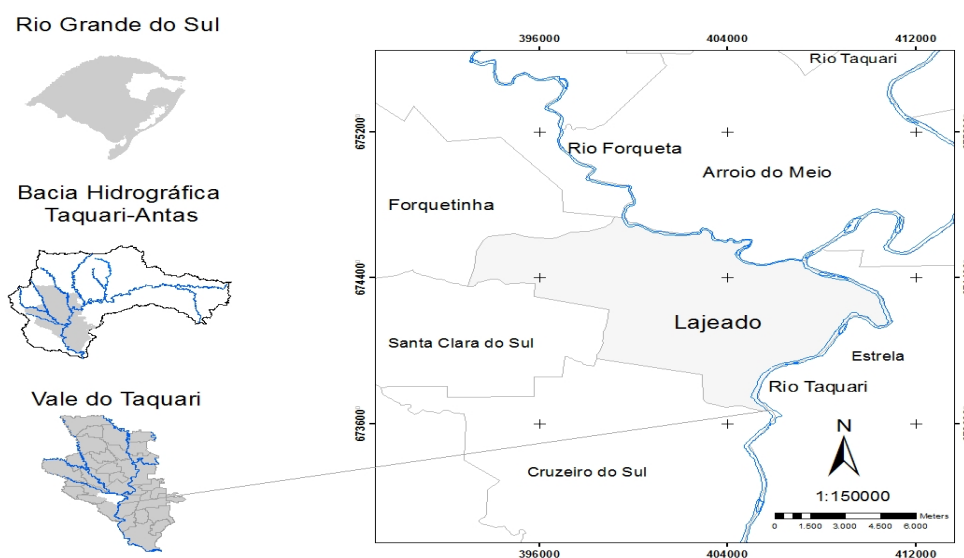
## 2 Objetivo

Desenvolver o mapeamento e a análise das áreas urbanas e edificações suscetíveis as inundações do Rio Taquari no município de Lajeado/RS, com a finalidade de desenvolver cartas de inundações a partir das informações de altitudes ortométricas, desenvolvidos por Greiner (2010)

## 3 Metodologia

A área de estudo corresponde ao município de Lajeado/RS, cuja localização geográfica esta apresentada na Figura 1.

Figura 1 – Localização do município de Lajeado/RS



Fonte: dos autores

O estudo foi realizado com a base cartográfica digital de informações disponibilizada pela prefeitura municipal de Lajeado, Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e dados de Sensoriamento Remoto, com a finalidade de gerar o mapeamento e a quantificação das áreas atingidas pelas inundações nesse município.

As curvas de nível e os pontos cotados da base cartográfica digital, na escala 1:2000, foram utilizados para a geração do Modelo Digital de Elevação do Terreno (MDT), em formato matricial, pela ferramenta *Topo to Raster*, do *software* ArcGis. Foi realizado o mapeamento das manchas de inundação em intervalos de 1 m, desde o nível de referência de 19 m até o nível de 30 m, que excede ao nível máximo de inundação já registrado no município de Lajeado: 29,22 m, em 06 de maio de 1941.

Em virtude do represamento do Rio Taquari pela Barragem Eclusa de Bom Retiro do Sul, localizado à jusante de Lajeado, o avanço das inundações foi considerado de forma plana sobre a cidade (ECKHARDT, 2008).

As edificações foram mapeadas manualmente, também no *software* ArcGis, sobre imagem fotogramétrica de altíssima resolução espacial, estando estas relacionadas a residências, comércio, indústrias, áreas de lazer, áreas públicas (escolas, postos de saúde,



etc.).

Foi realizado o mapeamento da mancha de inundação sobre o MDT de Lajeado, decorrente da inundação ocorrida em 10 de outubro de 2015, quando as águas atingiram o nível de 23,81 m, representando uma elevação do nível das águas em 10,81 m acima do nível de referência de 13 metros.

Para a validação do mapeamento da mancha de inundação do nível de 23,81 m foram utilizados 77 pontos de controle, marcados em campo com GPS de navegação, durante o pico da inundação, ocorrido em 10 de outubro de 2015. Foi analisada a diferença vertical e horizontal da mancha da inundação mapeada com os locais atingidos pela inundação no terreno e observada in loco.

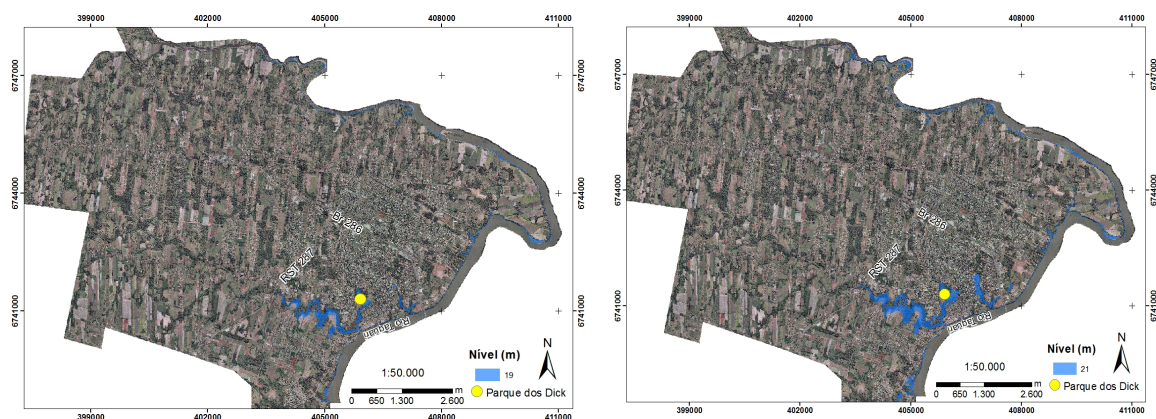
#### 4 Resultados

O desenvolvimento de sistemas de monitoramento, a consolidação das séries históricas de inundações, a disponibilidade de bases digitais de informações e de imagens de satélite de alta resolução espacial favorecem o acompanhamento do desenvolvimento de determinado evento em períodos de elevada precipitação pluviométrica, o mapeamento das áreas afetadas pelas inundações, a definição de estratégias preventivas e de contingência para a Defesa Civil, além de estratégias para o planejamento da ocupação das áreas de risco. Para Tucci (2007), a utilização de mapas de inundação é essencial para definir as regras de construção e ocupação das áreas de alto risco, devendo obrigatoriamente ser implementados no Plano Diretor e Código de Obras dos municípios.

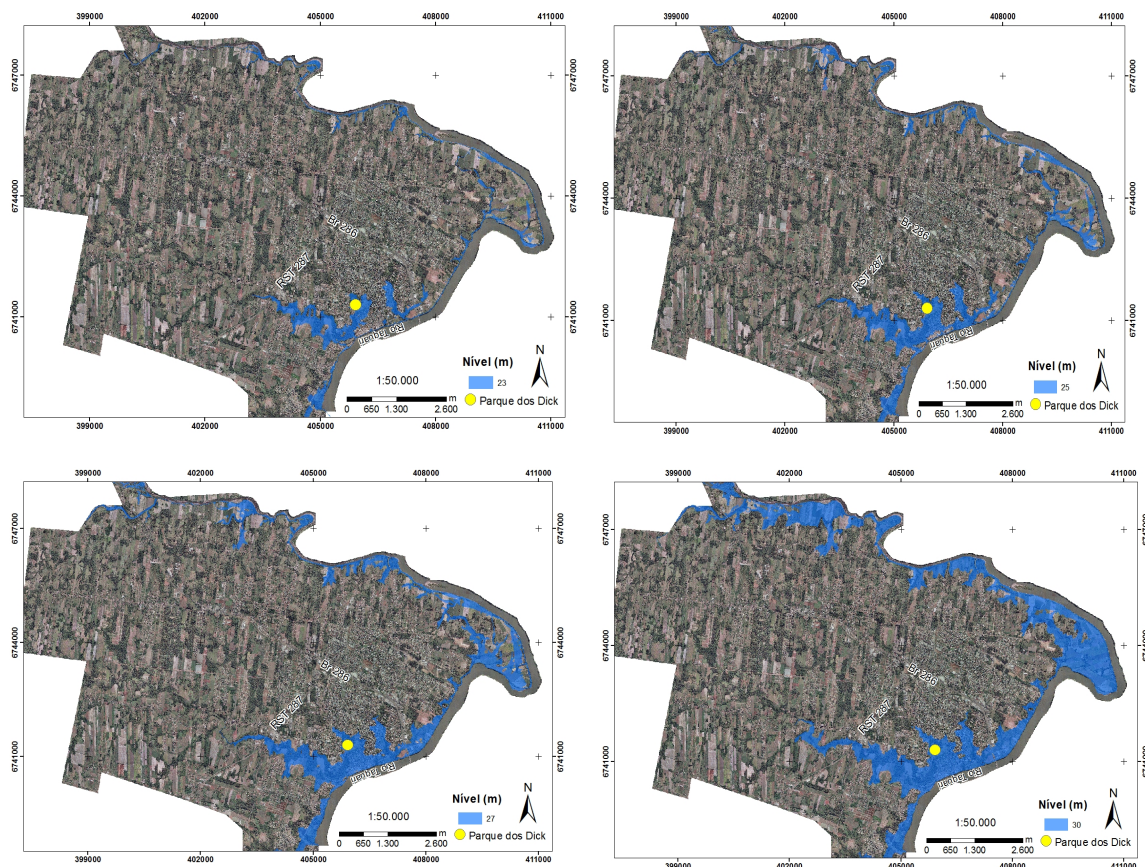
Na cidade de Lajeado, o nível de referência do Rio Taquari corresponde à altitude de 13 m. Para a ocorrência de inundações no referido município, é necessária uma elevação mínima de 6 m, ou seja, que o Rio Taquari supere a altitude de 19 m. A elevação máxima já registrada pelo Rio Taquari em Lajeado foi de aproximadamente 17 m, quando alcançou o nível de 29,22 m. Para este trabalho foram geradas as manchas de inundação com equidistância de um metro, desde o nível de 13 m até a altitude de 30 m. A série história consolidada, é apresentado no trabalho de Moraes (2015), entre as páginas 62 e 64, disponível na seguinte página: <http://hdl.handle.net/10737/997>.

A Figura 2 apresenta áreas inundadas de 2 em 2 metros, desde o nível de 19 m até o de 30 m, permitindo uma visualização da ocupação em relação aos níveis altimétricos estudados.

Figura 2 – Mapeamento das áreas suscetíveis às inundações (altitudes de 19 m a 30 m).







Fonte: dos autores

A Tabela 1 apresenta a área atingida por cada nível de inundação, no intervalo de 13 m até 30 m. Cabe ressaltar que, em termos de área, os níveis que variam entre a normalidade do Rio Taquari em Lajeado, que é igual a 13 m, até o seu nível de transbordamento, de 19 m, são dados úteis para melhor compreender a espacialização do ponto de transbordamento desse rio.

Tabela 1- Área (ha) atingida por cada nível de inundação no município de Lajeado.

Nível (m)	Área (ha)	Varição (ha)	% Área Inundável	% Área municipal inundável
13	6,43	-	0,62	0,07
14	13,22	6,79	1,28	0,15
15	21,90	8,68	2,11	0,24
16	24,10	2,20	2,33	0,27
17	43,35	19,25	4,18	0,48
18	60,43	17,08	5,83	0,67
19	86,41	25,98	8,34	0,96
20	119,41	33,00	11,53	1,33
21	179,56	60,15	17,33	1,99
22	209,42	29,86	20,21	2,32
23	323,62	114,20	31,24	3,59
24	341,32	17,70	32,95	3,79
25	427,16	85,84	41,23	4,74



Nível (m)	Área (ha)	Variação (ha)	% Área Inundável	% Área municipal inundável
26	532,76	105,60	51,42	5,91
27	654,63	121,87	63,19	7,27
28	788,92	134,29	76,15	8,76
29	923,85	134,93	89,17	10,26
30	1036,00	112,15	100,00	11,50

Fonte: dos autores

A área total de inundação no município de Lajeado é igual a 10,36 km<sup>2</sup>, considerando como nível máximo de inundação a altitude de 30 m, valor que corresponde a 11,50% da área total de Lajeado. A Tabela 2 apresenta o número de edificações mapeadas por nível de inundações.

Tabela 2 - Edificações delimitadas em cada nível de inundação mapeado.

Magnitudes	Nível da inundação (m)	Edificações vulneráveis (un)	Incremento de Edificações por nível	Edificações
Pequena	19	14	14	98
	20	31	17	
	21	98	67	
Média	22	187	89	545
	23	335	148	
	24	545	210	
Grande	25	781	236	1015
	26	928	147	
	27	1015	87	
Extrema	28	1033	18	1039
	29	1037	4	
	30	1039	2	

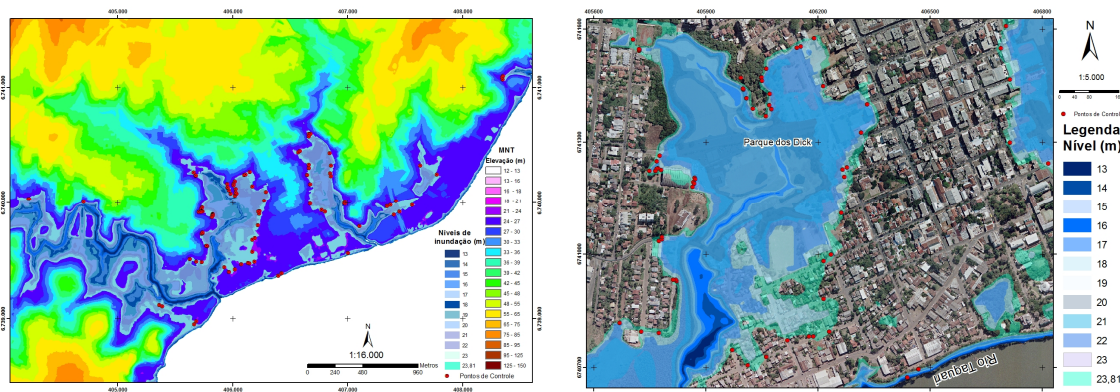
Fonte: dos autores

À medida que o nível da inundação se eleva, verifica-se um incremento considerável na quantidade de edificações atingidas pela inundação. O número de edificações atingidas por uma inundação de magnitude pequena (níveis entre 19 e 21 metros) é de 98 unidades, considerada baixa quando comparada a uma inundação de magnitude média (níveis entre 22 e 24 metros) que pode chegar a atingir 545 edificações e de grande magnitude (níveis entre 25 e 28 metros) pode atingir até 1.015 edificações.

De acordo com os dados observados na Tabela acima, verifica-se que o número de edificações varia de 98 em inundações de pequena magnitude, para 1039 em inundações de extrema magnitude, evidenciando um grande número de edificações suscetíveis aos fenômenos de inundação na área urbana de Lajeado.

As Figuras 3 e 4 mostram a localização dos pontos de controle utilizados para validar o mapeamento da cota de inundação de 23,81 m, respectivamente sobre o MDT e sobre o mosaico da fotografia aérea do município de Lajeado.

Figura 3 e 4 - Localização dos pontos de controle sobre o MDT; Localização dos pontos de controle sobre a imagem fotogramétrica.



Fonte: dos autores

Em cada ponto de controle foi analisado o erro altimétrico ( $\epsilon_a$ ) do ponto com relação ao MDT (erro inerente à base topográfica), assim como o erro horizontal ( $\epsilon_d$ ), relacionado com a diferença entre a área de inundação mapeada e a observada no solo (FIGURA 5).

Figura 5- Diferença entre a área de inundação mapeada e a observada



Fonte: dos autores

A análise heurística revelou que há um bom ajuste entre os locais observados da inundação, representados pelos pontos em vermelho marcados em campo, e a mancha de inundação correspondente mapeada sobre o MDT. A partir dos 77 pontos de controle utilizados para a validação, o erro altimétrico médio foi de 0,74 m, com desvio padrão ( $\sigma$ ) de 0,79 m. Já o erro médio horizontal da cota de inundação mapeada de 23,81 m, em relação à área inundada observada in loco foi de 6,77 m e  $\sigma$  de 6,06 m. O coeficiente de Pearson ( $r$ ) entre  $\epsilon_a$  e  $\epsilon_d$  foi de 0,78, indicando a existência de uma relação linear entre o  $\epsilon_a$  e  $\epsilon_d$ . Observou-se que o erro na simulação da área inundada aumentou com o aumento do erro da base topográfica. Eckhardt (2008) aponta que um dos fatores que também influenciam o  $\epsilon_d$  é a declividade.





## 5 Conclusões

No município de Lajeado, as inundações são fenômenos naturais recorrentes, que causam impactos significativos sobre as áreas e edificações atingidas. Nesse sentido, estudos vinculados com sistema de monitoramento e previsão de inundações são importantes para a sociedade e para o poder público, uma vez que contribuem para prevenir, reduzir e mitigar danos socioeconômicos e ambientais ocasionados pela passagem das inundações.

Este estudo permitiu atualizar os níveis das inundações locais, de forma a criar uma compatibilização entre os níveis das inundações com a base topográfica digital do município de Lajeado, a qual foi amarrada a 18 novos referenciais de nível implantados em 2013. Desta forma, foi possível mapear as áreas e edificações atingidas pelas inundações, bem como validar os resultados com a área atingida pela inundação ocorrida em 10 de outubro de 2015. Este evento de inundação foi utilizado como verdade terrestre para validar o mapeamento das manchas de inundação e a própria carta de inundação da cidade.

No que se refere ao mapeamento das áreas atingidas pelas inundações, é muito importante destacar a importância de se ter acesso a uma base cartográfica e topográfica de qualidade. Houve um ajustamento muito bom entre o mapeamento da área de inundação sobre o MDT com a verdade terrestre, uma vez que foi possível obter pontos de controle com GPS durante o pico da inundação de 10 de outubro, que permitiu validar esses dados.

## Referências

- Alves, A.; Bianchini, C. D.; Malheiros, M.; Quartieri, M. T.; Salvador P. F.; Eckhardt, R. R. **Correlação entre o nível atingido e os prejuízos causados pelas inundações do Rio Taquari no Município de Cruzeiro do Sul-RS**. Revista Destaques Acadêmicos, vol. 5, n. 4, - CETEC/UNIVATES, 2013.
- CIH - Centro de Informações Hidrometeorológicas. **Dados sobre Enchentes no Vale do Taquari** (informações não publicadas). Lajeado: UNIVATES, 2015.
- ECKHARDT, R. R. **Geração de Modelo Cartográfico Aplicado ao Mapeamento das Áreas Sujeitas às Inundações Urbanas na Cidade de Lajeado / RS**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – CEPARM, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2008.
- GREINER, C. **Avaliação do Referencial de Nível das Inundações da Cidade de Lajeado/RS**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental, Centro Universitário (UNIVATES), Lajeado, 2014.
- GOERL, R. F.; KOBIYAMA, M. **Considerações sobre as inundações no Brasil**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16, 2005, João Pessoa. Anais... Porto Alegre: ABRH, 2005.
- GUASSELLI, L. A.; OLIVEIRA, G. G de; ALVES, R. de C. M. (orgs.) **Eventos Extremos no Rio Grande do Sul: Inundações e Movimentos de Massa**. Porto Alegre: Evangraf, 2013.
- KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D. A.; MARCELINO, I. P. V. de O.; MARCELINO, E. V.; GONÇALVES, E. F.; BRAZETTI, L. L. P.; GOERL, R. F.; MOLLERI, G. S. F.; RUDORFF, F. de M. **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos** – Curitiba: Ed. Organic Trading, 2006.
- TUCCI, C. E. M. (org.) **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4 ed. 5ª reimp. Porto Alegre: Editora UFRGS/ABRH, 2013.
- TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. (ORG.) **Inundações Urbanas da América do Sul**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003. 471p.
- TUCCI, C. M. **Inundações urbanas** – Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos: 2007. 393p.