

## ANÁLISE DA ANTECEDÊNCIA MÍNIMA NECESSÁRIA PARA PREVISÕES DE INUNDAÇÕES EM LAJEADO NO RIO TAQUARI (RS)

Walter Collischonn<sup>1</sup>; Fernando Mainardi Fan<sup>1</sup>; Ayan Fleischmann<sup>1</sup>; Sofia Royer Moraes<sup>1</sup>; Lucas Giacomelli<sup>1</sup>; & Vinícius Alencar Siqueira<sup>1</sup>

**Palavras-Chave** – previsão de inundações, Lajeado/RS, eventos extremos.

### INTRODUÇÃO

As cidades de Lajeado e Estrela estão localizadas às margens do rio Taquari, no estado do Rio Grande do Sul (RS), Brasil, sendo afetadas por inundações com frequência, que geram prejuízos materiais e financeiros para a população, empreendimentos e infraestruturas locais. A Bacia hidrográfica do rio Taquari-Antas tem área total de 26.428 km<sup>2</sup> (FEPAM, 2018), sendo que a área de drenagem da bacia localizada a montante de Lajeado é de 22.400 km<sup>2</sup> e a vazão média é de aproximadamente 400 m<sup>3</sup>/s. De acordo com a FEPAM (2020), a vazão média do rio Taquari, medida em Muçum, a montante de Lajeado, durante o período de 1940 a 1982, foi de 321 m<sup>3</sup>/s. Nesse período, as descargas máximas observadas atingiram valores na ordem de 10.300 m<sup>3</sup>/s, enquanto as mínimas estiveram entre 10 e 20 m<sup>3</sup>/s. Na cidade de Lajeado, somando a vazão do rio Forqueta e de outros afluentes de ordem inferior, em períodos de elevada precipitação pluviométrica e de grandes cheias, a vazão do rio Taquari pode ultrapassar 12.000 m<sup>3</sup>/s e o nível da água pode subir até 15 metros em pouco mais de um dia. Além disso, em função das características da bacia hidrográfica (grande declividade e predominância de rochas basálticas), a velocidade de ascensão do hidrograma é extremamente alta, com taxas de variação do nível da água que chegam a superar 50 cm.hora<sup>-1</sup> nos períodos de maior ascensão.

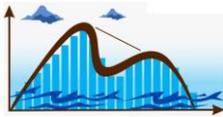
Em Lajeado e Estrela, a cota de 13 m é utilizada como nível de referência (NR) do rio Taquari para aferir a variação e o nível das inundações. Conforme apontado por Eckhardt *et al.* (2009), a partir do nível de 19 m, inicia o estado de inundação nesses municípios. Em julho de 2020, uma grande inundação atingiu as cidades do vale do rio Taquari. A inundação atingiu a marca de 27,39 m no linígrafo automático do Sistema de Alerta de Eventos Críticos (SACE, 2020), instalado no Porto Fluvial de Estrela e mantido pela Agência Nacional das Águas (ANA) / Serviço Geológico do Brasil (CPRM). A inundação de 09 de julho de 2020 é a quarta maior desde o início da série histórica e a maior nos últimos 64 anos, com tempo de retorno aproximado de 30 anos de acordo com os dados observados por Moraes (2015).

De acordo com a Defesa Civil de Lajeado, a inundação de julho de 2020 desabrigou 320 pessoas (104 famílias), abrigadas em estruturas públicas. Outras 300 famílias, cerca de 1.000 pessoas, foram desalojadas. Direta ou indiretamente, foram 40 mil pessoas afetadas em Lajeado (INFORMATIVO, 2020). O hidrograma observado do evento de julho de 2020 está apresentado na Figura 1. Esta vazão foi calculada usando a curva chave  $Q=182.3*(H-0.52)^{1.462}$  e pegando informações de medição de cota horária do site do grupo Independente de Lajeado.

A Figura 1 evidencia que a vazão de pico observada passou de 14.000 m<sup>3</sup>/s, subindo de um patamar de 2.000 m<sup>3</sup>/s até o pico em um intervalo de 30 h. Os níveis nesse evento demoraram 19 horas para subir 5 m (~ 0,26 m/h). Para a inundação de julho de 2020, que teve seu pico às 2 h da madrugada do dia 09, as previsões erraram de forma significativa tanto o nível da inundação, quanto o momento da estabilização, dificultando ainda mais as ações de resposta pelas defesas civis municipais.

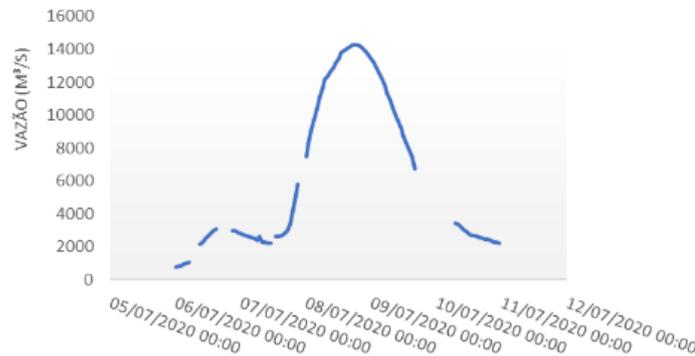
No presente trabalho propõem-se um olhar diferente sobre a situação da cidade de Lajeado. A infraestrutura urbana da cidade foi implantada ao longo de quase 200 anos, com edificações estabelecidas de uma forma geral com um ou dois pavimentos. Na dinâmica das inundações, os moradores das edificações com somente um pavimento acabam retirando os seus pertences, ficam

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (IPH/UFRGS), Avenida Bento Gonçalves 9500, (51) 3308-6686, collischonn@iph.ufrgs.br, [fernando.fan@ufrgs.br](mailto:fernando.fan@ufrgs.br), [ayan.fleischmann@gmail.com](mailto:ayan.fleischmann@gmail.com), [sofia.rover@ufrgs.br](mailto:sofia.rover@ufrgs.br).



desabrigados algum tempo e retornam para o local após o rio Taquari retornar para o leito regular. Estes moradores, quando está prevista a ocorrência de uma inundação, sem importar tanto a magnitude da mesma, ficam preparados, alertas e até antecipam, de forma voluntária e com independência, a sua retirada, bem como seus pertences, para áreas mais seguras.

**Figura 1** - Hidrograma do rio Taquari de julho de 2020 registrado em Encantado a montante de Lajeado.



Por sua vez, os moradores que residem em edificações com dois pavimentos, na tentativa de melhorar a convivência com as inundações e minimizar os danos e prejuízos materiais, tem 2 opções durante as cheias: 1) retirar tudo da casa; 2) deslocar todos os seus pertences para o pavimento superior; A segunda opção acaba sendo a escolhida pelos moradores, de modo que a maioria das inundações, ao atingir o andar térreo, não gera maiores consequências e prejuízos materiais. Em geral, esses pavimentos superiores são construídos a altitude de  $\approx 27$  m, nível a partir do qual são permitidas novas construções em Lajeado. Em 2020, ocorreu uma inundação aferida em 27,39 m, que atingiu o pavimento superior de muitas edificações, inclusive apartamentos de 2º andar em edifícios, sem permitir condição de retirada de pertences.

A decisão entre a opção 1 (*retirar todos os pertences e sair*) e a opção 2 (*deslocar todos os pertences para o pavimento superior e permanecer*) durante uma inundação deve ser feita considerando não apenas o que vai acontecer nas próximas X horas, mas o que vai se desencadear até o evento alcançar o nível máximo, com gestão de previsões acurados e análises da antecedência das previsões de vazões e níveis para região, ampliando a eficiência na mitigação dos impactos negativos.

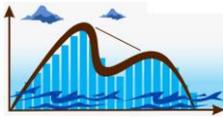
## METODOLOGIA

Muitas famílias residem nas áreas de risco de inundações na cidade de Lajeado, isso, devido a evolução antrópica a partir da relação primária de dependência com o rio. A **Figura 2** apresenta, respectivamente, cenários de inundação da cidade de Lajeado em 1942 e 2020.

**Figura 2** - Inundação na cidade de Lajeado em 1942 (BOUVIE, 2016)/ Inundação na cidade de Lajeado em 2020 (IMAGEMAEREARS, 2020).



As duas imagens apresentam cenários de inundações em Lajeado, sendo uma do passado “distante” e outra do passado mais recente, evidenciando que as enchentes do rio Taquari afetando a cidade são eventos que ocorrem a partir das características e fatores naturais na região. Assim, quando há a ocorrência de uma cheia do Rio Taquari, com potencial para causar uma inundação, existem três coisas que podem acontecer sobre a relação das pessoas e das infraestruturas urbanas com as inundações: 1) A inundação não chega no térreo das edificações; 2) A inundação atinge o térreo, mas não chega ao pavimento superior ou; 3) A inundação também alcança o pavimento superior. A partir desses cenários, os moradores dessas áreas de risco tem três opções, devendo ser escolhida uma com



base no monitoramento dos níveis das inundações à montante e na previsão dos níveis realizada para o rio Taquari na cidade de Lajeado: I - Permanecer em casa e deixar os pertences no térreo; II - Sair de casa, levando todos os pertences possíveis (móveis, eletrodomésticos e afins). III - Permanecer em casa, mas deslocar todos os pertences para o pavimento superior.

A decisão do que fazer, deve ser tomada pelos ocupantes muito antes da inundação alcançar o nível máximo, para permitir acionar a defesa civil por ajuda, para sair com independência ou para contratar caminhão e mão de obra para a mudança. Adicionalmente, os moradores só conseguem retirar os seus pertences quando o nível da água ainda está abaixo do térreo das edificações, sendo que os moradores não podem tomar a decisão II depois que a água já atingiu o térreo. Se um morador tomou a decisão errada, poderá perder todos os seus pertences, pois a mudança necessariamente sai pelo térreo, que já estará inundado e ainda poderá colocar a vida em risco.

Podemos considerar que um pé direito de uma edificação possui entre 2 e 3 m de altura, com mais 1 a 2 m de folga até a laje e outras questões estruturais até o pavimento superior. Ficamos então com alturas do andar térreo com 3 a 5 m de altura. Com essa altura, pode-se dizer que a cota máxima deve ser prevista quando ainda faltam subir 3 a 5 m para atingir esse valor máximo de altura do térreo. Ou seja, a previsão da inundação tem que informar antecipadamente se o rio vai chegar na cota que corresponde aos 3 a 5 m de altura do pavimento superior das casas.

Conforme apresentado na Figura 1, sabe-se que o rio Taquari sobe muito rápido durante a ocorrência de uma inundação. As taxas de crescimento são muito elevadas no início das cheias, mas perto do pico elas caem em função da consolidação da inundação das planícies fluviais. Na inundação de julho de 2020, a velocidade média da ascensão do rio Taquari foi de 26 cm/h. Com base nestas informações, foi calculado o tempo necessário, antes do pico da inundação, necessário para realizar a previsão do valor do nível máximo esperado e a comunicação qualificada para a defesa civil e os residentes e ocupantes das áreas suscetíveis às inundações.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

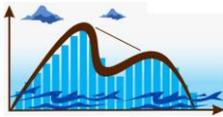
Assumindo as velocidades médias de ascensão do rio Taquari em Lajeado entre 50 cm/h e 20 cm/h, chegamos na organização de uma tabela de contingência (Figura 3), onde as linhas mostram os valores do limite inferior e superior considerados para as velocidades de subida do hidrograma, enquanto as colunas apresentam os valores menores e maiores considerados para as alturas do andar térreo das edificações. Ao centro da tabela, temos os valores calculados em horas para o tempo necessário para a consolidação de uma previsão acurada e a comunicação do nível máximo esperado para determinada inundação para a defesa civil realizar as ações de resposta e para os residentes das áreas de risco tomarem as suas próprias decisões de permanecer na edificação, desocupar, retirar os pertences ou, quando possível, deslocar para o andar superior.

Figura 3 - Tabela de contingência de análise dos valores de tempo antes do pico que são necessários para a comunicação do valor máximo do nível esperado para uma inundação.

Velocidade de ascensão	Altura do térreo	
	3m	5m
	0,2m/h	15h
0,5m/h	6h	10h

Analisando este resultado nota-se que o valor mínimo necessário para a geração e a comunicação de previsões que sejam efetivas para a população fica em um intervalo de 6 h e 25 h. Considerando um cenário onde:

- Se preze pela segurança em que todos os moradores, incluindo os que possuem casas com segundo andar mais elevado, estejam seguros;
- A inundação caracteriza um evento extremo (como a de julho de 2020), onde as velocidades de ascensão do hidrograma são próximas de 0,2 m/h no pico;



Podemos calcular dessa forma, que um sistema de previsão efetivo para a região deve possuir no mínimo 25 horas de antecedência em seu horizonte de previsão. Esta antecedência dificilmente será obtida quando usado um sistema de previsão baseado em propagação de cotas ou vazões no rio principal, pois estes são limitados pelo tempo de viagem da água nos rios. Estes sistemas de previsão não incluem a transformação de chuva em vazão, que pode ser utilizada para aumentar o horizonte de previsão.

Para organizar um sistema de previsão com uma antecedência de 25 h, são necessários investimentos tanto no desenvolvimento desse tipo de sistema, quanto na instalação de estações de monitoramento de chuva e vazão com dados telemétricos ao longo de toda a bacia hidrográfica do rio Taquari-Antas. O monitoramento é essencial para uma boa operação deste tipo de sistema. Por fim, cabe a consideração que as informações da previsão em vazão precisam ser compatibilizadas com os hidrogramas observados das inundações em níveis ou cotas, considerando que esta última é a forma padrão de leitura em tempo real e de registro das séries históricas das inundações pelo sistema SACE em todos os municípios do Vale do Taquari, onde está incluso Lajeado.

## CONCLUSÕES

A partir dos resultados concluímos que um sistema efetivo de previsão de inundações para a cidade de Lajeado necessita de um horizonte de previsão mínimo de 25 h. Modelos cota-cota ou vazão-vazão como os utilizados na atualidade para fazer previsões podem não ser suficientes para gerar previsões com este prazo. São necessários investimentos no desenvolvimento de sistemas de previsão mais complexos, que incluam modelagem chuva-vazão e extensivo monitoramento na bacia hidrográfica para o desenvolvimento de um sistema com esta antecedência e acurácia aceitável.

Como próximo passo da presente pesquisa sugere-se a realização de um estudo de custo-benefício no desenvolvimento deste tipo de sistema de previsão e alerta para a região, considerando os investimentos requeridos para melhorar o monitoramento em tempo real das partes altas da bacia, bem como as incertezas no processo de modelagem chuva-vazão e de compatibilização com a aferição e os registros das inundações em níveis altimétricos.

## REFERÊNCIAS

- BOUVIE, F. **Fotografia da inundação de Lajeado em 1942**. Disponível em: <https://prati.com.br/lajeado/lajeado-enchente-1942.html>. Acesso em: 28 de out. 2020.
- ECKHARDT, R. R. HAETINGER, C. SALDANHA, D. L. FERREIRA, E. R. FAVA E SILVA, J. DIEFRICH, V. L. **Previsão e Mapeamento da Área Urbana Inundável na Cidade de Lajeado - RS – Brasil**. In: *VI International Conference on Engineering and Computer Education (ICECE)*, Buenos Aires, Argentina, 2009.
- FEPAM. **Base Cartográfica do Estado do Rio Grande do Sul**, escala 1:25.000 - BCRS25, Versão 1.0. 2018. Disponível em: <http://ww2.fepam.rs.gov.br/bcrs25/>. Acesso em: 26 de out. 2020
- FEPAM. **Qualidade das águas da Bacia Hidrográfica do Rio das Antas e Rio Taquari**. 2020. Disponível em: [http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/qualidade\\_taquari\\_antas/taquariantas.asp](http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/qualidade_taquari_antas/taquariantas.asp). Acesso em 26 de out. 2020.
- IMAGEMAEREARS. **Fotografia da inundação de Lajeado em 2020**. Disponível em: <https://imagemaerears.com.br/>. Acesso em: 28 de out. 2020.
- INFORMATIVO. **40 mil pessoas foram atingidas pela enchente em Lajeado, direta ou indiretamente, afirma coordenador da Defesa Civil**. Jornal O Informativo, 2020. Disponível em: <https://independente.com.br/40-mil-pessoas-foram-atingidas-pela-enchente-em-lajeado-direta-ou-indiretamente-afirma-coordenador-da-defesa-civil/>. Acesso em: 11 de jul. 2020.
- MORAES, S. R. **Mapeamento das áreas e edificações atingidas pelas inundações do Rio Taquari na área urbana do município de Lajeado/RS**. 2015. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade do Vale do Taquari - Univates, Lajeado, 24 nov. 2015. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10737/997>. Acesso em: 26 de out. 2020.
- SACE. **Sistema de Alerta de Eventos Críticos: Estação Linimétrica de Estrela**. ANA / CPRM. Disponível em: <http://sace.cprm.gov.br/taquari/#>. Acesso em: 09 de jul. 2020.
- SEMA/RS. **Boletim Especial: Cheias e Inundações - Julho de 2020**. ANA, 2020.