

# LIMIARIZAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO ANTECEDENTE PARA OCORRÊNCIA DE INUNDAÇÕES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TAQUARI-ANTAS

Taísa Flores<sup>1</sup>, Treicy Renata Belló Bengua<sup>2</sup>, Guilherme Garcia de Oliveira<sup>3</sup>, Benhur Felipe de Bittencourt<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), taisatf.flores@gmail.com; <sup>2</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), treicybello@gmail.com; <sup>3</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), g.g.oliveira10@gmail.com; e <sup>4</sup> Faculdade de Tecnologia (FTEC), benhur.bittenca@gmail.com

## RESUMO

O objetivo do presente estudo é encontrar os limiares de precipitações antecedentes as ocorrências de inundações na Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas. O estudo foi dividido em quatro etapas, e focou na utilização do produto MERGE para análise de chuva acumulada de 1 a 15 dias antecedentes aos desastres. Os limiares foram identificados a partir da matriz de confusão, com cálculo da acurácia individualizada. Verificou-se que 67% das inundações tendem a ocorrer nos meses de inverno, além de que, os limiares encontrados para cada dia de antecedência acertaram em cerca de 76% das amostras analisadas, sendo o melhor limiar de chuva acumulada, o de 99 mm em 5 dias, com uma acurácia de 83% no alerta de inundações.

**Palavras-chave** — desastres naturais, precipitação por satélite, produto MERGE.

## ABSTRACT

*The goal is to identify the threshold of antecedent precipitation events of flooding in the watershed of Taquari and Antas rivers. The study was divided in four phases, and focused on the product MERGE for rainfall accumulated analysis from 1 to 15 days prior hazard. The thresholds were identified by a confusion matrix, based on individualized accuracy. It was verified that 67% of the floods tend to occur in the winter months, and the thresholds found for each day in advance were correct in about 76% of the analyzed samples, with the best rainfall threshold being 99mm in 5 days, with an accuracy of 83% in the flood alert.*

**Key words** — natural hazards, flood, MERGE product

## 1. INTRODUÇÃO

Os impactos causados pelas inundações têm sido potencializados pela crescente concentração da população em áreas urbanas, principalmente em ocupações localizadas em áreas suscetíveis, o que inclusive torna cada vez mais

recorrentes os danos humanos e prejuízos [1]. Precipitações extremas, em altura ou intensidade, aumentam as chances de ocorrência de desastres diversos e expõem a população a riscos que podem levar ao prejuízo econômico, social, político e cultural. A Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC) define risco como a probabilidade de acontecer um evento adverso que cause danos ou prejuízos. Já o conceito de desastre é definido como o resultado de algum evento adverso em um cenário vulnerável, que envolva perdas ou danos ao funcionamento de uma comunidade [2]. Ambos conceitos são complementares, e analisá-los dessa maneira é importante para o desenvolvimento de práticas de gestão exequíveis, garantindo a segurança da população [3].

O processo de inundação ocorre quando as águas de um corpo hídrico excedem o leito de escoamento perante a falta de capacidade de transporte do seu sistema, ocupando áreas marginais, seu leito maior, terraços fluviais e/ou planícies de inundação. Segundo a Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE), trata-se de um transbordamento gradual, normalmente, em função de chuvas prolongadas [4]. Esse é um processo natural dos rios, que pode ser agravado pelas ações humanas, somado à ocupação de áreas suscetíveis, onde a infiltração da água no solo não é suficiente para armazenar o acúmulo de água gerado e grande parte do volume de água é escoado para o sistema de drenagem, superando a capacidade natural do escoamento [5].

Visando a necessidade de criar um sistema de gestão para atenuar os prejuízos atrelados ao processo de inundação, o objetivo deste estudo foi identificar os limiares de precipitação antecedente para a ocorrência de inundações na Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas. A escolha da área de estudo se deve ao fato de que os habitantes da bacia são frequentemente atingidos por inundações.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas está localizada na porção nordeste do Rio Grande do Sul (Figura 1), possuindo uma área de 26.430 km<sup>2</sup>, e uma população estimada de 1.383.442 habitantes em 2020, divididos entre os 118 municípios que a compõem [6].

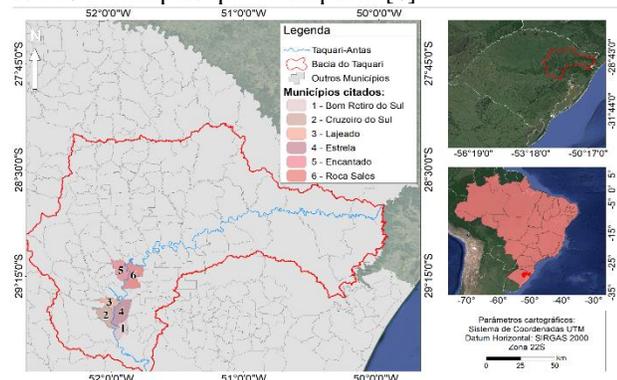


Figura 1. Mapa de Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas.

Na porção localizada a montante do Rio das Antas, observa-se uma região mais montanhosa, enquanto que, mais em direção a jusante, no Rio Taquari, localizam-se extensos trechos de planícies e terraços fluviais [7]. Tais características atribuem à região, uma maior suscetibilidade à ocorrência de desastres como enxurradas e inundações, respectivamente.

De acordo com o Plano de Bacia Taquari-Antas, as inundações ocorrem em diversos locais da bacia, mas são predominantes no trecho de confluência dos rios das Antas e Carreiro, onde se origina o rio Taquari, no município de São Valentim do Sul, até sua foz, com o rio Jacuí, em Triunfo, de modo que o trecho mais atingido está localizado nos municípios de Encantado, Roca Sales, Lajeado, Estrela, Cruzeiro do Sul e Bom Retiro do Sul. Inundações atingem tais regiões anualmente, muitas vezes os impactos econômicos e sociais não foram recuperados antes mesmo da ocorrência de uma outra inundação no mesmo local, aumentando cada vez mais o tempo de recuperação, e o risco da comunidade [8].

### 2.2. Etapas metodológicas

O presente estudo consiste em encontrar o limiar de precipitação para que ocorra ou não inundações na área de estudo supracitada. Para tanto, ele foi dividido em quatro grandes etapas:

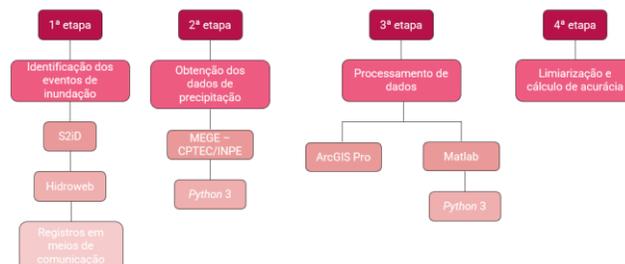


Figura 2. Fluxograma das etapas metodológicas do estudo.

A primeira etapa, onde ocorreu a identificação das ocorrências de inundações, foi caracterizada por uma tripla classificação: i) identificação de registros de inundações no Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2iD); ii) confirmação por meio dados fluviométricos advindos da plataforma Hidroweb da Agência Nacional de Águas (estação fluviométrica 86720000, localizada em Encantado/RS); iii) busca de registro de ocorrências de inundação na área de estudo no mesmo período. Em casos onde a data amostral não se enquadrava em uma das verificações, a mesma foi descartada.

Uma vez que as datas de ocorrência de inundações foram identificadas, selecionou-se a mesma quantidade de amostras de não ocorrência para que a limiarização de chuva não seja tendenciosa. O critério utilizado para escolha das amostras de não ocorrência foi dado pela cota próxima ao extravasamento do rio Taquari em Encantado/RS. Ou seja, uma vez que teve-se conhecimento da cota mínima para que ocorresse uma inundação, que é igual a 9,68 m, escolheu-se amostras com cotas próximas, mas inferiores a essa.

Para a obtenção dos dados de precipitação antecedente aos eventos, segunda etapa do estudo, utilizou-se os dados advindos do produto MERGE [9]. Esse é um produto gerado e disponibilizado pelo Centros de Previsão do Tempo/Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais (CPTEC/INPE) e utiliza a estimativa de precipitação por satélite. A resolução temporal das amostras disponibilizadas é de 30 minutos, horizontal de 0,1 graus e cobre cerca de 87% do globo terrestre.

Para cada evento (de ocorrência ou de não ocorrência), foram selecionados todos os arquivos de precipitação diária nos 15 dias antecedentes. Para automatizar o processo de obtenção das imagens, elaborou-se um *webscrappy* desenvolvido na linguagem *Python*, as bibliotecas utilizadas foram a *Selenium* e a *BeautifulSoup*.

O processamento dos dados foi caracterizado como a terceira etapa do estudo. Novamente houve a utilização da linguagem *Python* para que os arquivos referente a cada chuva obtida fossem reorganizados em formato de ordem crescente. Posteriormente, as imagens de precipitação diária foram processadas nos *softwares* ArcGIS Pro (usando o *Model Builder*) e Matlab. O processamento envolveu o recorte pela bacia hidrográfica, o acúmulo da precipitação, pixel a pixel, em diferentes intervalos

temporais (antecedências ao evento) e o cálculo da precipitação média na bacia em cada antecedência. Para cada evento (de ocorrência ou de não ocorrência de inundação), foram calculadas as precipitações médias na bacia para 1, 2, 3, 5, 7, 10 e 15 dias antecedentes

Por fim, a última etapa diz respeito à identificação do limiar de chuva acumulada para que haja ou não ocorrência de inundação na área de estudo, para isso utilizou-se o *software* Excel. A definição dos limiares de precipitação acumulada antecedente foi realizada por meio da análise da matriz de confusão, na qual se buscou o valor de precipitação que resulta na melhor taxa de acurácia (Equação 1) [10]. O processo de busca foi realizado de forma iterativa, verificando a acurácia para todos os valores de precipitação no intervalo entre 1 mm e o valor máximo de precipitação da série temporal. O processo foi realizado individualmente para cada número de dias antecedentes (de 1 a 15 dias).

$$\text{Acurácia (AG)} = \frac{(VP + VN)}{N} \quad (01)$$

Em que: VP é o número de verdadeiros positivos, quando ocorre inundação e o limiar de precipitação é ultrapassado; VN é o número de verdadeiros negativos, quando não ocorre inundação e o limiar de precipitação não é ultrapassado; N é o número total de amostras.

### 3. RESULTADOS

A partir da seleção dos dados obtidos no S2iD, chegou-se a um total de 21 ocorrências de inundações na Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas entre os anos de 2003 e 2017. Além de que, com a utilização dos dados de cota obtidos da estação fluviométrica localizada no município de Encantado, selecionou-se outras 21 amostras de não ocorrências, no total, o estudo contou com 42 amostras. Dentre as ocorrências, 14 delas, ou seja, 67% das ocorrências de inundações ocorreram entre os meses de junho e setembro. Isso demonstra um comportamento sazonal, com tendência desse tipo de evento no inverno.

Com a utilização do *software* ArcGIS PRO, obteve-se como resultado 630 imagens de chuva processadas (42 eventos X 15 dias antecedentes). Na Figura 3, estão expostas precipitações acumuladas antecedentes a três ocorrências de inundação (A, B e C), e também precipitações acumuladas em eventos sem a ocorrência de inundação (D, E e F).

Na Figura 3A, observa-se a chuva acumulada nos 15 dias antecedentes do evento ocorrido em 12/09/2009, onde foi encontrada a maior precipitação média acumulada da bacia, com um total aproximado de 271 mm. Ao passo que no evento de 30/11/2021, classificado como não ocorrência de inundação (Figura 3F), apresentou em 15 dias de antecedência, uma precipitação média acumulada de aproximadamente 30 mm.

Na Tabela 1 tem-se o número de dias antecedentes e a respectiva precipitação acumulada, bem como, o índice de acurácia encontrado. Houve uma variação de 14% para as

acurácias encontradas, sendo a menor de 69% e a maior 83%. O melhor limiar apresentou a chuva acumulada de 99 mm em 5 dias, onde obteve-se acurácia de 83% no alerta de inundações. Ao passo que o menor índice foi atribuído ao limiar de precipitação acumulada em 1 dia, com 10 mm, e acurácia igual a 69%.

Se comparar os valores de limiar encontrado para a chuva acumulada em 15 dias antecedentes, com a precipitação máxima e média encontrada nos eventos, obteve-se um resultado satisfatório, uma vez que a máxima encontrada, de fato, ultrapassa o montante de 157 mm.

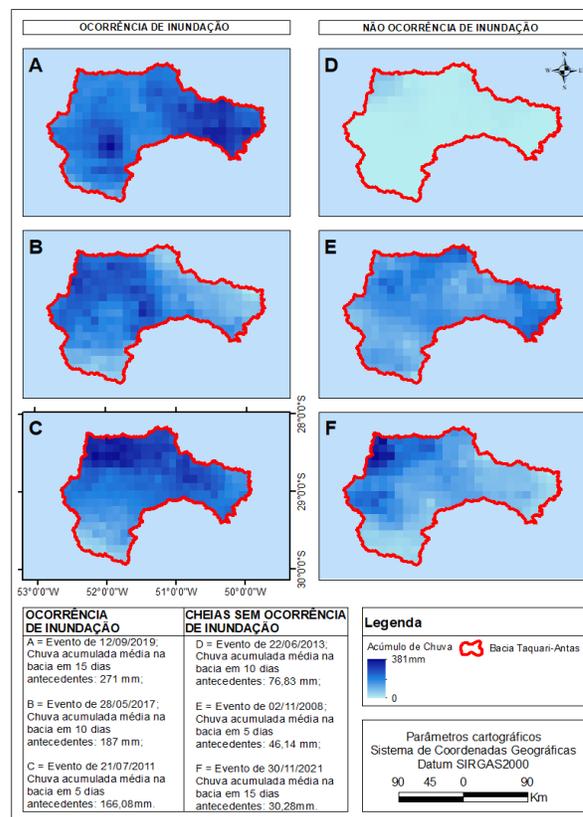


Figura 3. Precipitações acumuladas na bacia em cenários de ocorrência e não ocorrência de inundações.

NÚMERO DE DIAS ANTECEDENTES	LIMIAR DE PRECIPITAÇÃO ACUMULADA (mm)	ACURÁCIA
1	10	69%
2	71	71%
3	76	79%
5	99	83%
7	101	81%
10	114	74%
15	157	76%

Tabela 1. Limiar de precipitação acumulada para ocorrência de inundação em cada dia antecedente.

Quando o cenário analisado passa a ser 10 dias antecedentes aos desastres, a precipitação oscilou entre 9,39

mm e 211,58 mm, com mediana igual a 131,69 mm, índice superior ao limiar obtido de 114 mm. Para uma chuva acumulada nos 5 dias antecedentes, os valores ficaram entre 1,61 e 166,08 mm, com mediana igual a 115,08 mm, também superior ao limiar encontrado de 101 mm. Por fim, ao considerar a chuva registrada em apenas 1 dia antecedente a cada desastre, observou-se uma variação de precipitação entre 0,92 e 83,66 mm, com mediana de 20,51 mm, superior ao limiar de 10 mm.

#### 4. DISCUSSÃO

Ao analisar os valores de limiar encontrados para cada dia de antecedência tem-se um resultado satisfatório, visto que na média os limiares tiveram 32 acertos na previsão, o equivalente a 76% das amostras analisadas. No caso do limiar utilizado para a antecedência de 1 dia, o número de acertos foi inferior, com um total de 29 amostras, ao passo que o limiar encontrado para a antecedência de 5 dias, obteve 35 acertos na previsão, sendo este o melhor limiar encontrado no estudo.

Essa variação induz aprofundar o estudo no sentido de buscar uma acurácia ainda maior ao utilizar dias antecedentes em conjunto, ou seja, uma combinação de limiares para que um alerta seja gerado, por exemplo: se o limiar de chuva em 3 dias de antecedência ultrapassar 80 mm, ou ainda, caso o limiar de chuva em 7 dias de antecedência ultrapassar 100 mm, e com isso o acerto de previsões aumente, o que impacta diretamente no cálculo de acurácia.

Ainda, vale ressaltar que, três amostras de ocorrência de desastres utilizadas e aprovadas no processo de triagem na primeira etapa deste estudo, não apresentaram bons valores de precipitação acumulada. Os valores encontrados nesse caso, ficaram inferiores, inclusive, às de algumas amostras utilizadas como não ocorrência de desastres. Esse é um ponto importante a ser analisado, uma vez que pode indicar alguma insuficiência na qualidade de obtenção das precipitações observadas do produto MERGE.

#### 5. CONCLUSÕES

O presente estudo demonstrou a possibilidade de estabelecer limiares de identificação de ocorrência de inundações por meio da utilização de chuvas observadas por satélite, oriundas do produto MERGE. Os limiares encontrados tiveram uma variação de acurácia entre 69 e 83%, o que demonstra uma boa precisão para identificação de chuvas potenciais à ocorrência deste tipo de desastres. O melhor limiar teve precipitação acumulada de 99 mm em 5 dias.

Para tanto, deve-se salientar que, apesar de ter sido realizada uma triagem inicial, três das vinte uma amostras de desastres não apresentaram bons resultados, indicando limitações em relação à estimativa de precipitação a partir do produto MERGE. Ainda assim, o estudo se mostrou adequado para com o objetivo inicialmente traçado, e poderia auxiliar um sistema de gestão municipal de modo a

minimizar os prejuízos causados à população.

Contudo, para estudos futuros existe a possibilidade de aprofundá-lo, fazendo uso em conjunto de mais do que um dia antecedente, ou seja, utiliza-se dias de antecedência em conjunto, visando encontrar uma acurácia superior às já obtidas. Além de que, usar outro produto de precipitação por satélite, a exemplo, o Chirps, o que possibilitaria também uma comparação entre a veracidade dos resultados obtidos.

#### 6. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pelo financiamento da pesquisa pela Chamada CNPq/MCTI/FNDCT N° 18/2021, Processo 408489/2021-9.

#### 7. REFERÊNCIAS

- [1] MONTEIRO Silvia, FREIRE George. Santander. Sá., CUNHA Lúcio. Percepção Dos Riscos De Cheias E Inundações Na Cidade Da Praia (Cabo Verde). *REDE - Revista Eletrônica do PRODEMA*, v. 11, n. 1, p. 117-135, 2016.
- [2] BRASIL. Instrução Normativa nº. 01. de 24 de agosto de 2012. Disponível em: <[https://www.cnm.org.br/cms/images/stories/Links/09062014\\_Instrucao\\_normativa\\_de\\_01\\_de\\_agosto\\_de\\_2012.pdf](https://www.cnm.org.br/cms/images/stories/Links/09062014_Instrucao_normativa_de_01_de_agosto_de_2012.pdf)>. Acesso em: 31 out. 2022.
- [3] Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). *Capacitação Básica em Proteção e Defesa Civil*. Defesa Civil - Brasil, 5.ed., Florianópolis, 2014.
- [4] BRASIL. MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. Política Nacional da Defesa Civil. Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (Cobrade). Disponível em: <<http://www.defesacivil.rj.gov.br/images/formularios/COBRAD E.pdf>>. Acesso em: 31 out. 2022
- [5] TUCCI, E. M. Carlos, BERTONI, Juan Carlos. *Inundações Urbanas Na América Do Sul*. 1ª. ed., Porto Alegre, 2003.
- [6] SEMA - Secretaria Estadual de Meio Ambiente do Rio Grande do Sul. *Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas*. 2020. Disponível em: <https://sema.rs.gov.br/g040-bh-taquari-antas>. Acesso em: 15 out 2022.
- [7] OLIVEIRA, Guilherme Garcia de, ECKHARDT, Rafael Rodrigo, HAETINGER, Claus, ALVES, Augusto. Caracterização espacial das áreas suscetíveis a inundações e enxurradas na bacia hidrográfica do Rio Taquari-Antas. *Geociências*, v. 37, n. 4, p. 849 - 863, 2018.
- [8] DRH/SEMA - Departamento de Recursos Hídricos da Secretaria Estadual de Meio Ambiente do Rio Grande do Sul. *Plano de Bacia Taquari-Antas*. Relatório Síntese Etapa A - REA, 2012.
- [9] Rozante, J. R.; Moreira, D. S. ; Gonçalves., L. G. G. ; Vila, Daniel A. . Combining TRMM and Surface Observations of Precipitation: Technique and Validation Over South America. *Weather and Forecasting*, v. 25, p. 885-894, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1175/2010WAF2222325.1>
- [10] MIKHAIL, E.; ACKERMAN, F. *Observations and Least Squares*. University Press of America, 1976.