

## XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

### **IDENTIFICAÇÃO DE EVENTOS EXTREMOS ATRAVÉS DA GERAÇÃO AUTOMÁTICA DE CURVAS DEPTH-AREA-DURATION (DAD) COM DADOS DE PRECIPITAÇÃO EM GRADE**

*Sly Wongchuig<sup>1</sup>; Ayan Fleischmann<sup>2</sup>; João Paulo Brêda<sup>3</sup>; Fernando Fan<sup>4</sup>; Walter Collischonn<sup>5</sup>*

**RESUMO** – Identificar e estimar eventos extremos de precipitação é uma etapa fundamental em inúmeras aplicações hidrológicas, como durante o projeto de estruturas hidráulicas. Para o caso de estimativa de Precipitação-Máxima-Provável (PMP) e Enchente-Máxima-Provável (EMP), costuma-se adotar dois métodos principais: o método estatístico e o método hidrometeorológico, sendo este último baseado na transposição e maximização de eventos já ocorridos na área de interesse. Neste caso, é necessário utilizar métodos de identificação de eventos de precipitação extremos, o que é tipicamente realizado com curvas Depth-Area-Duration (DAD), que relacionam a altura de precipitação média de eventos de uma dada duração a diferentes áreas de abrangência destes eventos. Bases de dados de precipitação global disponibilizados livremente nos últimos anos, juntas a ferramentas computacionais, podem auxiliar na estimativa destas curvas. Assim, neste trabalho é apresentada uma metodologia para a extração automática das curvas DAD para diferentes durações de chuva numa região sul do Brasil. Os resultados indicam que o algoritmo desenvolvido é adequado para a geração de curvas DAD para diferentes durações de chuva, permitindo a obtenção de valores de precipitação média máxima para diferentes áreas de interesse. Adicionalmente, é possível identificar a data em que estes eventos ocorreram e estabelecer sua implementação em modelos hidrológicos.

### **IDENTIFICATION OF EXTREME EVENTS THROUGH THE AUTOMATIC GENERATION OF DEPTH-AREA-DURATION (DAD) CURVES WITH GRID PRECIPITATION DATA**

**ABSTRACT**– The identification and estimation of extreme precipitation events is a fundamental step in many hydrologic applications, as for the design of hydraulic structures. For the estimation of Probable-Maximum-Precipitation (PMP) and Probable-Maximum-Flood (PMF) two main methods are typically adopted: the statistical method and the hydrometeorological one, which is based on the transposition and maximization of past extreme events that occurred in the area of interest. In this case, it is necessary to use methods to identify extreme events, what is typically performed with Depth-Area-Duration (DAD) curves. Global precipitation databases now available, associated to computational power, may be very interesting for deriving these curves. Then, this study presents a methodology to automatically estimate DAD curves for different event durations in Southern Brazil. Results indicate that the developed algorithm is able to generate DAD curves for different event durations, allowing the obtainment of average maximum precipitation for different areas of interest (e.g., river basins with different drainage areas). Additionally, it is possible to identify

1) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Rua Bento Gonçalves, 9500. Bairro Agronomia, Campus do Vale, CEP: 91509-900, (51) 3308-7511, xinox010@gmail.com; 2) ayan.fleischmann@gmail.com; 3) joaopaulolfb@gmail.com; 4) fernando.fan@ufrgs.br; 5) waltercollischonn@gmail.com;

the date at which the events occurred, as well as establishing the use of these events to run hydrological models.

**Palavras-Chave** – Precipitação máxima provável, Curvas DAD, Algoritmo automático

## 1. INTRODUÇÃO

Estruturas hidráulicas como pontes, diques e barragens são projetadas considerando cenários críticos de precipitação e vazão. Em geral, quanto maior o prejuízo potencial no caso do colapso da estrutura, menor é a probabilidade de falha tolerada pela sociedade. Grandes barragens, cujo colapso poderia ter como consequência a perda de muitas vidas humanas, tendem a ser projetadas considerando probabilidades extremamente baixas, ou, até mesmo, probabilidade teoricamente nula. Neste caso, aplica-se o conceito da EMP (Enchente Máxima Provável) e da PMP (Precipitação Máxima Provável).

A EMP é definida como uma cheia tão severa que sua probabilidade de ocorrência não pode ser estimada. Também pode ser definida como a cheia resultante da mais severa, porém plausível, combinação de condições meteorológicas e hidrológicas críticas (Newton, 1983).

A referência básica para determinação da PMP é a publicação da Organização Meteorológica Mundial “Manual on Estimation of Probable Maximum Precipitation” (WMO, 2009).

A PMP é definida em WMO (2009) como sendo a maior precipitação meteorologicamente possível, com uma dada duração, considerando uma determinada área atingida, em uma determinada região, numa determinada época do ano, sem levar em conta possíveis mudanças climáticas.

Existem dois métodos principais para a definição da PMP: o método hidrometeorológico e o método estatístico. O método estatístico tem a vantagem de exigir uma menor quantidade de dados, e foi discutido, por exemplo, por Burguer e Kaviski (2013).

O método hidrometeorológico está baseado na ideia que grandes eventos ocorridos na vizinhança da área em análise podem ser transpostos e maximizados, segundo critérios baseados nas características climáticas da região e utilizando dados de água precipitável na atmosfera.

Na última década foram realizadas pesquisas sobre a utilização de modelos meteorológicos para estimar a PMP (Ohara e col., 2011; Ishida e col., 2015). Esta parece ser uma tendência. Uma força tarefa da ASCE recomendou que em estudos de PMP os modelos meteorológicos fossem mais utilizados, especialmente para avaliar eventos do passado (Hossain e col., 2017).

Entretanto, as aplicações de modelos meteorológicos ainda parecem estar restritas a precipitações intensas causadas pelos chamados rios voadores quando atingem grandes obstáculos do relevo. Nas situações normais, com menos interferência de efeitos orográficos, os modelos meteorológicos ainda não são muito utilizados, e ainda predominam as metodologias tradicionais, recomendadas pela OMM.

A definição da PMP pelo método hidrometeorológico está baseada na identificação de eventos extremos não apenas na bacia de interesse, mas em toda uma região vizinha com características climáticas semelhantes. Estes eventos são identificados e depois transpostos para a bacia de interesse, aplicando coeficientes de maximização em função da água precipitável presente na atmosfera durante o evento observado e durante o evento de PMP idealizado.

Idealmente, devem ser identificados eventos extremos de precipitação em várias escalas espaciais e temporais, e o resultado deve ser sintetizado na forma de curvas Precipitação-Área-Duração, ou Depth-Area-Duration.

Assim, uma etapa fundamental do processo de estimativa da PMP é a obtenção de curvas DAD (Depth-Area-Duration). A OMM também publicou um manual sobre como devem ser obtidas as curvas DAD a partir de dados observados de precipitação (WMO, 1969). A metodologia descrita pela OMM envolve a definição de isoietas a partir de dados pontuais de precipitação em pluviômetros.

Mais recentemente os dados pluviométricos de algumas regiões têm sido disponibilizados já na forma de grade ou matriz, em que os dados pluviométricos originais já foram interpolados, eventualmente até com o auxílio de informações complementares, como imagens de radar, imagens de satélite ou com reanálise de modelos climáticos e meteorológicos (Wongchuig e col., 2017).

Este novo formato de disponibilização de dados pluviométricos cria a oportunidade para o desenvolvimento e aplicação de uma metodologia automática de identificação de eventos extremos, considerando amplas escalas espaciais e temporais. Este é, justamente, o objetivo do presente artigo, que descreve a implementação de um algoritmo para a geração de curvas DAD a partir de dados de precipitação em formato de grade.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. Área de estudo**

A área de estudo foi definida na região sul do Brasil, uma região interessante para este estudo por nela estarem localizadas importantes barragens na bacia do Paraná. A Figura 1 mostra a localização da área de estudo. A extração da base de dados de chuva foi delimitada a um retângulo de 1450km x 1350km aproximadamente entre as coordenadas -30 a -16 (latitude), e de -56 a -43

(longitude). Adicionalmente, duas áreas foram delimitadas para restringir o espaço de análise de busca pelo algoritmo implementado. O primeiro recorte (azul) limita principalmente a influência da precipitação gerada na região costeira devido a efeitos orográficos, enquanto o segundo (vermelho) delimita a área onde foi observada sistematicamente a formação dos núcleos de precipitação de maneira diferente que na região norte da bacia do rio Paraná.

Finalmente, a área de busca dos pixels para a geração das curvas DAD foi restringida à área de intersecção dos recortes 1 e 2.

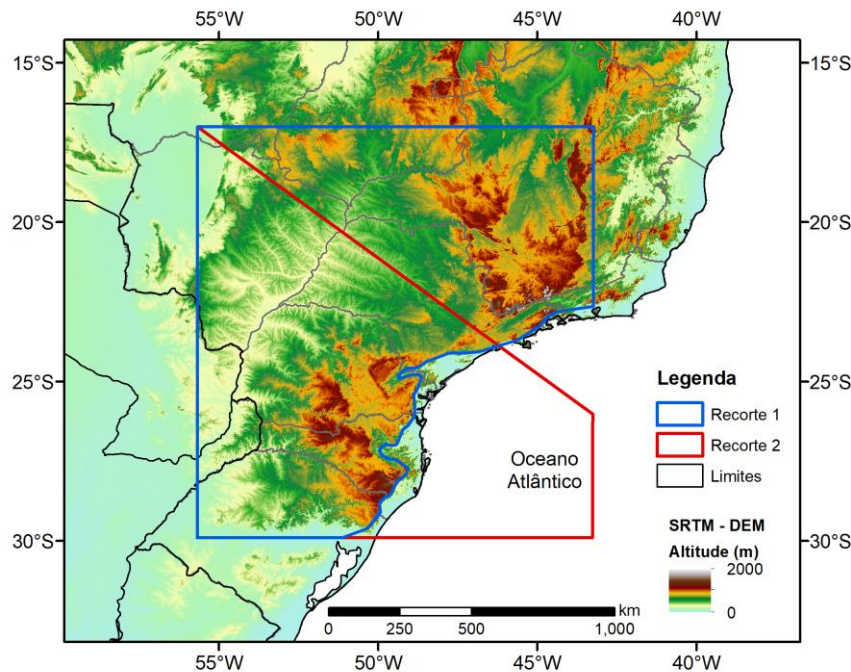


Figura 1 – Mapa da região de estudo no sul do Brasil e Modelo Digital de Elevação (DEM) SRTM.

## 2.2. Base de dados de precipitação:

O produto de precipitação *Multi-Source Weighted-Ensemble Precipitation* (MSWEP pelo acrônimo em inglês) se caracteriza pela combinação ponderada de diferentes fontes como chuva estimada por satélite, reanálises climáticas e postos pluviométricos, aproveitando as vantagens que oferecem cada uma delas. O MSWEP é um produto de abrangência quase-global com resolução temporal de 3 horas e uma resolução espacial de  $0,25^\circ$  (~25km no equador), sendo disponível para o período de 1979 até 2015 na versão 1.2. Versões mais recentes (2.2) possuem uma resolução de até  $0,1^\circ$  e informação até novembro de 2017. Neste estudo se analisou o período de 1979 até 2015 para os eventos de chuva acumulada de 3, 7, 14 e 30 dias.

A média de longo período do MSWEP foi estimada a partir da base de dados do CHPclim que está baseada em postos observados e estimativas por satélite. A variabilidade temporal foi determinada pela média ponderada das anomalias de precipitação de duas bases de observações in-

situ (CPC Unified e GPCC), três estimativas por satélite (CMORPH, GSMaP-MVK e TMPA 3B42RT) e duas reanálises climáticas (ERA-Interim e JRA-55). Na geração dos valores de cada unidade da grade, diferentes pesos ponderados foram considerados baseados na densidade da rede de monitoramento (observações in-situ), e no desempenho das estações vizinhas. A validação do MSWEP foi realizada usando bases globais de precipitação WFDEI-CRU, GPCP-1DD, TMPA 3B42 e CPC Unified assim como a comparativa com dados de vazão mediante o uso do modelo hidrológico HBV em 9011 bacias com áreas  $< 50\ 000\ \text{km}^2$  em nível global.

A base de dados MSWEP encontra-se disponível de maneira livre no site <http://www.gloh2o.org/>, e é um produto que já tem mostrado um desempenho adequado em diferentes estudos de pesquisa em escala global e continental (Beck e col., 2017; Wongchuig e col., 2017; Siqueira e col., 2018).

### 2.3. Seguimento dos pixels

A curva altura-duração-área (DAD) é estimada baseada no conceito de que a partir do núcleo (pixel) a altura média de chuva vai diminuindo gradualmente à medida que a área de abrangência é expandida. Desta maneira se implementou um algoritmo na linguagem M (proprietário do MATLAB), que se baseia no seguimento espacial dos pixels da chuva de forma gradualmente descendente (no valor de precipitação) considerando a vizinhança mais próxima. Este algoritmo é denominado aqui de *snake*, nome que faz referência ao videogame cujo processo de agregação de pixels assemelha-se graficamente com o proposto neste trabalho.

Desta maneira se implementou um algoritmo na linguagem M (proprietário do MATLAB), que se baseia no seguimento espacial dos pixels da chuva de forma gradualmente descendente (no valor de precipitação) considerando a vizinhança mais próxima. Este algoritmo é denominado aqui de *snake*, nome que faz referência ao videogame cujo processo de agregação de pixels assemelha-se graficamente com o proposto neste trabalho.

O esquema de funcionamento do algoritmo para a estimativa das curvas DAD é mostrado na figura 2, e os principais processos são descritos a seguir:

1. São armazenadas as matrizes de precipitação de dimensões latitude x longitude para as diferentes durações de chuva;
2. Para cada matriz é realizada a busca do pixel com maior valor dentro da região de interesse (Fig. 2a e b);
3. Seleção da vizinhança mais próxima a este primeiro pixel, a qual é armazenada num vetor, e então é selecionado o maior valor deste “vetor de vizinhança” (Fig. 2c);

4. A partir dos dois maiores valores contíguos, se calcula a nova precipitação média e se atualiza o vetor da vizinhança; este novo vetor temporário desconsidera o valor do pixel “1” (Fig. 2d);
5. A curva DAD é gerada a partir da precipitação média dos pixels acumulados em ordem descendente (Fig. 2e).

Algumas considerações foram previstas para diminuir o custo computacional:

- Para reduzir o número de matrizes de busca, se estabeleceu um limiar mínimo para o valor de precipitação num pixel qualquer para certa matriz temporal. O valor deste limiar depende do período de acúmulo da chuva e foi determinado de maneira arbitrária.
- A área acumulada de busca pode ser limitada a um valor máximo dependendo do interesse do estudo (e.g. área de contribuição de uma bacia) que será menor que a área total da matriz de precipitação analisada.

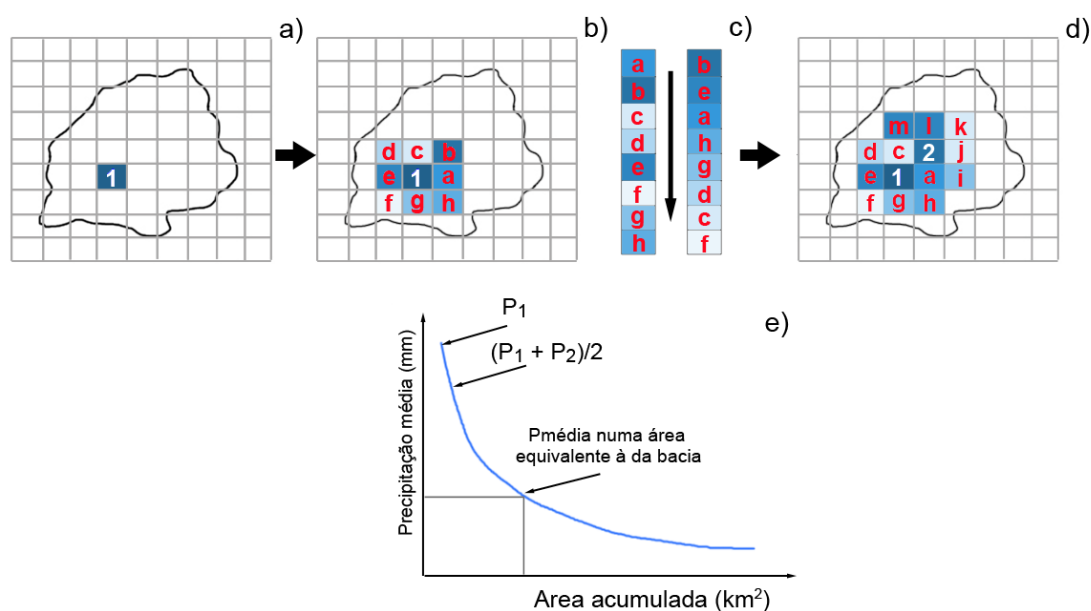


Figura 2 - Esquema da distribuição espacial da grade de precipitação e busca de pixels na vizinhança (a, b, c e d), e a curva DAD obtida para este evento (e).

### 3. RESULTADOS

A metodologia desenvolvida foi aplicada para a região de interesse no Sul do Brasil (Figura 1), e diversas curvas DAD para diferentes eventos foram obtidas. A figura 3 mostra os eventos da envoltória para estas chuvas acumuladas. A máscara em cinza representa o vetor de pixels armazenados a partir da busca pelo algoritmo *snake*. Observam-se algumas coisas importantes; i) segundo a Tabela 1, os maiores eventos acontecem numa época do ano particular que seria considerada como a época úmida nos meses de junho-julho; ii) a mancha da formação de tormenta está localizada particularmente na região sul da área de análise, o que pode ser explicado pelos diferentes padrões meteorológicos dominantes nessa área; e iii) estas manchas também estiveram

limitadas pelas condições orográficas, onde se aprecia que fora do recorte 1 os valores de precipitação (ou cores dos pixels) são menos intensos. Desta maneira a busca usando o *snake* ficou restrita a esta abrangência espacial.

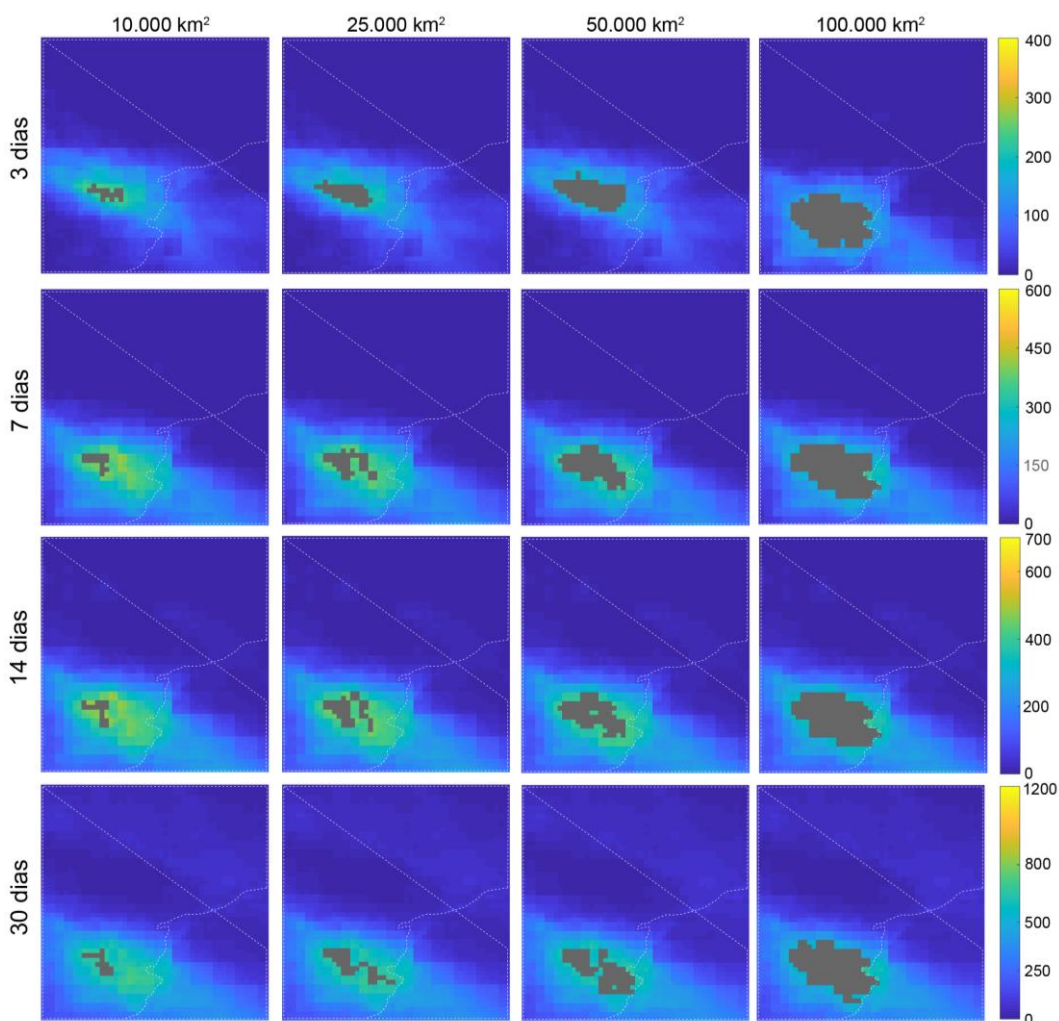


Figura 3 – Mapeamento das regiões de seguimento (cinza) para diferentes chuvas acumuladas.

A tabela 1 mostra o valor médio de precipitação para quatro áreas do evento escolhidas de maneira arbitrária (10, 25, 50 e 100 mil km<sup>2</sup>), as quais poderiam representar por exemplo a área de uma bacia hidrográfica para a qual se desejasse identificar um evento de projeto apropriado. A data dos eventos representa o centro do período do acúmulo. Para o maior evento de 14 dias no período da análise (1979-2015), o acúmulo da chuva é de 03/07/1983 até 18/07/1983.

Tabela 1 – Valores da precipitação média para diferentes durações e áreas.

Evento	Data	Precipitação média (mm)			
		10.000 km <sup>2</sup>	25.000 km <sup>2</sup>	50.000 km <sup>2</sup>	100.000 km <sup>2</sup>
3 dias	07/06/2014	256,19	238,74	216,74	193,25
7 dias	09/07/1983	429,72	407,43	385,34	347,41
14 dias	11/07/1983	507,28	485,20	459,26	426,08

30 dias	17/07/1983	714,34	695,94	674,89	633,02
---------	------------	--------	--------	--------	--------

A figura 4 mostra as curvas DAD para uma grande quantidade de eventos (em cor cinza) selecionadas a partir de certo limiar e para cada duração dos eventos (3, 7, 13 e 30 dias). Desta maneira é possível determinar a curva envoltória que representaria o maior evento provável para diferentes áreas de interesse. É interessante observar que o decaimento da precipitação acumulada é maior para eventos de maior duração (e.g. 30 dias) em menores áreas para esta região de estudo, o que indica que eventos nesta região estão concentrados preferencialmente numa região específica.

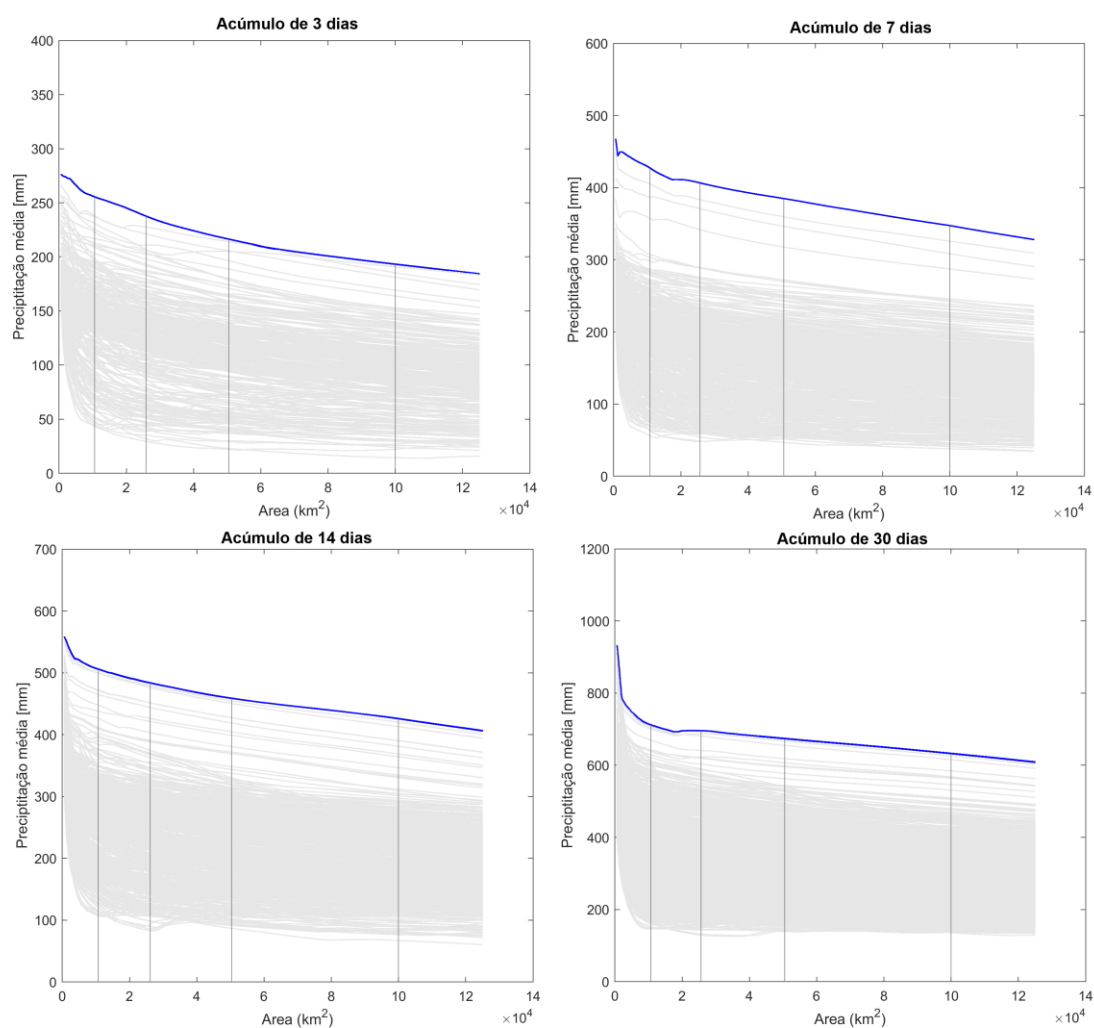


Figura 4 – Curvas DAD para diferentes chuvas acumuladas e a envoltória dos eventos máximos (curva azul).

#### 4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho teve por objetivo a implementação e avaliação de uma metodologia para a determinação de curvas DAD usando dados de precipitação global.



As bases de dados de precipitação em grade oferecem uma vantagem em relação ao uso de observações in-situ devido a sua melhor distribuição espacial, além da facilidade de implementação de um algoritmo de busca em uma grade estruturada.

Resultados gráficos e dos valores obtidos para diferentes durações de chuva mostram-se coerentes com o descrito na literatura, embora seja recomendável realizar validação dos dados de precipitação usados com observações in-situ, e se necessárias correções na chuva estimada (e.g. através da remoção do viés).

Este estudo apresentou a geração de curvas DAD. Para estimativa de PMP, é necessário também identificar fatores de maximização da umidade do ar dos eventos máximos identificados, o que poderia ser futuramente realizado utilizando dados de reanálise climática global, que também se encontram disponibilizadas em formato de grade.

É recomendado tomar cuidado quando esta metodologia for aplicada para durações pequenas (e.g. 1 dias) ou em regiões muito grandes onde vários eventos existem de forma simultânea, já que o algoritmo *snake* pode iniciar sua busca num evento que não seja representativo da área de estudo.

Por fim, devido à livre disponibilidade de diversas bases de precipitação global esta primeira aproximação metodológica proposta neste trabalho pode ser implementada em outras regiões, principalmente onde as estações pluviométricas são escassas ou inexistentes.

**AGRADECIMENTOS** – O primeiro autor agradece a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível (CAPES) pela bolsa de estudos. Os autores agradecem ao JRC pela disponibilização dos dados de precipitação MSWEP. O algoritmo implementado e avaliado neste trabalho é disponibilizado pelo autor mediante solicitação.

## REFERÊNCIAS

BECK, H. E., VERGOPOLAN, N., PAN, M., LEVIZZANI, V., VAN DIJK, A. I. J. M., WEEDON, G. P., BROCCA, L., PAPPENBERGER, F., HUFFMAN, G. J., WOOD, E. F. (2017). “*Global-scale evaluation of 22 precipitation datasets using gauge observations and hydrological modeling*”. Hydrol. Earth Syst. Sci. 21, pp. 6201-6217.

BURGER, L.C.; KAVISKI, E. Análise e Extrapolação do método de Hershfield para determinação da Precipitação Máxima Provável. In: Anais do XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013, Bento Gonçalves.

HOSSAIN, F., BEIGHLEY, E., BURIAN, S., CHEN, J., MITRA, A., NIYOGI, D., ... & WEGNER, D. (2017). Review of approaches and recommendations for improving resilience of water management infrastructure: the case for large dams. *Journal of Infrastructure Systems*, 23(4), 02517001.

ISHIDA, K., KAVVAS, M. L., JANG, S., CHEN, Z. Q., OHARA, N., & ANDERSON, M. L. (2015). Physically based estimation of maximum precipitation over three watersheds in Northern California: Relative humidity maximization method. *Journal of Hydrologic Engineering*, 20(10), 04015014.

NEWTON, D. W. (1983). Realistic assessment of maximum flood potentials. *Journal of Hydraulic Engineering*, 109(6), 905-918.

OCCHIPINTI, A. G. *Hidrometeorologia, Em: Engenharia Hidrológica*, Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), Editora da UFRJ, Rio de Janeiro, 1989.

OHARA, N., KAVVAS, M. L., KURE, S., CHEN, Z. Q., JANG, S., AND TAN, E. (2011). “A physically based estimation of maximum precipitation over American River Watershed, California.” *J. Hydrol. Eng.*, 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000324, 351–361.

SIQUEIRA, V. A., PAIVA, R. C. D., FLEISCHMANN, A. S., FAN, F. M., RUHOFF, A. L., PONTES, P. R. M., PARIS, A., CALMANT, S., COLLISCHONN, W. (2018). “*Toward continental hydrologic–hydrodynamic modeling in South America*”. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 22, pp. 4815-4842.

WONGCHUIG, S. C., PAIVA, R. C. D., ESPINOZA, J. C., COLLISCHONN, W. (2017). “*Multi-decadal Hydrological Retrospective: Case study of Amazon floods and droughts*”. *Journal of Hydrology* 549 (2017), pp. 667–684.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. (1969). *Manual for Depth-area-duration Analysis of Storm Precipitation: This Publication is a Part of the Contribution of WMO to the International Hydrological Decade*. World Meteorological Organization.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. (2009). *Manual on Estimation of Probable Maximum Precipitation (PMP)*. WMO-No. 1045.