

MAPEAMENTO DA PRECIPITAÇÃO MÁXIMA PROVÁVEL DE 1 DIA PARA O ESTADO DA BAHIA

Ana Clara Coelho Cardoso¹, João Pedro Pires dos Santos², Virgílio Lourenço da Silva Neto³

^{1,2}Estudante do Curso Superior de Engenharia Civil – IFTO. e-mail: <ana.cardoso7@estudante.ifto.edu.br>; <joao.santos17@estudante.ifto.edu.br >

³Docente dos Cursos Técnicos Integrados ao Ensino Médio – IFTO. Orientador(a). e-mail: virgilio.neto@ifto.edu.br

1 INTRODUÇÃO

A Precipitação Máxima Provável (PMP), de acordo com a Organização Meteorológica Mundial (WMO, 2009), é definida como a maior altura de chuva meteorologicamente possível de ocorrer em determinada região e época, desconsiderando-se as tendências climáticas de longo prazo. A partir dela, é possível calcular a Cheia Máxima Provável (CMP), parâmetro utilizado na elaboração de projetos de grandes barragens (BURGER, 2014).

Diante do cenário das mudanças climáticas, a PMP constitui uma importante variável para a gestão de recursos hídricos e projetos de obras hidráulicas. Conforme destacam Silva Neto *et al.* (2019), o dimensionamento inadequado de estruturas hidráulicas pode acarretar sérios riscos, incluindo danos materiais, colapso do sistema hidrelétrico e, em casos extremos, perdas de vidas humanas.

A determinação da PMP pode ser feita através de métodos hidrometeorológicos ou estatísticos. O primeiro método é aplicável quando existe conjunto significativo de registros de eventos extremos observados na região em estudo. Já os métodos estatísticos são empregados quando se dispõe de séries históricas de precipitação, mas outros dados meteorológicos são escassos, como registros de ponto de orvalho e vento (Silva Neto *et al.*, 2020). Dentre os métodos estatísticos, destaca-se o método de Hershfield, recomendado pela Organização Meteorológica Mundial para bacias de até 1000 m² (WMO, 2009). Porém, muitos estudos foram realizados para áreas muito maiores, conforme destacado por Barbosa *et al.* (2023).

2 OBJETIVO

Calcular a PMP de 1 dia para o estado da Bahia, utilizando o método estatístico de Hershfield, e avaliar a distribuição espacial desta variável hidrológica, mapeando-a com o uso de interpolador determinístico, como o IPD - Inverso da Potência da Distância.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Primeiramente, foi realizada a coleta de dados de Precipitação Máxima Diária Anual (PMDA) junto ao Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWEB), da Agência Nacional de Águas (ANA, 2024). Conforme recomenda a WMO (2009), priorizou-se a seleção de estações com séries históricas de mais de 30 anos, compreendidos entre 1980 e 2023.

A partir dos dados de PMDA, tabulados para estações em diferentes localidades do Estado da Bahia, determinou-se a média (\bar{X}_n) e o desvio padrão (S_n), e em seguida procedeu-se com a utilização da metodologia proposta por Hershfield (1961), aprimorada por ele em 1965, para o cálculo da PMP de 1 dia. O método baseia-se na equação geral de frequência (Chow, 1964), descrita na Equação 1:

$$X_{PMP} = \bar{X}_n + K \cdot S_n \quad (1)$$

Onde:

X_{PMP} = PMP para determinada duração e local;

\bar{X}_n e S_n = média e desvio padrão, respectivamente, da série de n valores de PMDA;

K = fator de frequência.

Conforme proposto por Burger (2014), o valor do fator de frequência K foi calculado a partir da Equação 2:

$$K_m = 20 - \frac{0,732 \cdot \bar{P}_d^{0,693}}{(d+0,372)^{0,420}} \quad (2)$$

Onde:

\bar{P}_d = média das chuvas diárias anuais de d horas de duração (mm);

d = duração da chuva em análise (h).

Foram também realizados três ajustes:

- I. Fator de ajuste para compensar a presença de valores atípicos;
- II. Fator de ajuste em função do tamanho da série
- III. Fator de ajuste para correção da PMP diária para 24h.

A compensação de valores atípicos (*outliers*) e o ajuste em função do tamanho da série foram realizados pois estes poderiam influenciar na \bar{X}_n e S_n das séries históricas. Para correção, utilizou-se a recomendação da WMO (2009), que consiste no procedimento descrito por Silva Neto *et al.*, (2020). Por fim, a quantificação da PMP de 24 horas foi realizada aplicando-se um fator de correção igual a 1,13 (WMO, 2009).

Para o mapeamento da PMP foi empregado o interpolador inverso da Potência da distância (IPD). Optou-se por este método em razão da inviabilidade de utilização de interpoladores geoestatísticos, uma vez que não houve dependência espacial da variável em análise. Isso pode ser explicado pela elevada variabilidade climática da Bahia. Conforme Silva et al. (2013), o clima do estado é fortemente influenciado por diversos e complexos sistemas meteorológicos, o que resulta em grande variabilidade na distribuição espacial da precipitação.

A equação que define o interpolador IPD está apresentada na Equação 3, conforme descrito por Cecilio e Pruski (2003).

$$X_p = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i}{d_i^m} \right)}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i^m} \right)} \quad (3)$$

O valor X_p representa a variável interpolada na posição p , enquanto X_i corresponde à PMP conhecida nos i pontos vizinhos. A variável d_i refere-se à distância euclidiana entre a estação i e o ponto p a ser estimado; m é o expoente aplicado à distância euclidiana, e n indica o número total de estações com dados disponíveis de PMP.

Para avaliar a qualidade da espacialização da PMP, utilizou-se o método de validação cruzada. Essa técnica consiste em estimar os valores da variável em análise exatamente nas localizações dos pontos amostrados, possibilitando a quantificação do erro médio percentual absoluto (EMPA), expresso em porcentagem, conforme a Equação 4, e do viés estatístico (BIAS), de acordo com a Equação 5. Valores de EMPA mais próximos de zero indicam maior precisão da interpolação.

$$EMPA = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left| \frac{Obs_i - Est_i}{Obs_i} \right| \cdot 100 \quad (4)$$

$$BIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (Obsi - Esti)}{\sum_{i=1}^n (Obsi)} \cdot 100 \quad (5)$$

Em que, n representa o número de postos de monitoramento, $Obsi$ sendo a precipitação observada no posto i e $Esti$ a precipitação estimada para a localização do posto.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

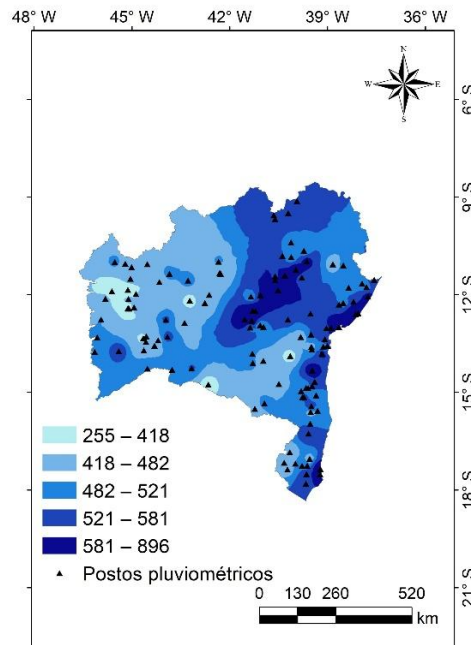
A maior lâmina de PMP de 1 dia obtida para o estado da Bahia foi de 895,76 mm, registrada na estação Emboacica, localizada no município de Camaçari, na mesorregião Metropolitana de Salvador. Já o menor valor de PMP foi de 254,74 mm, observado na estação Fazenda Cabaceiras, situada em Ibipeba, no território de identidade de Irecê.

Ao analisar a distribuição dos valores de PMP por mesorregiões, observou-se uma tendência de concentração de valores maiores nas regiões Metropolitana de Salvador, Sul Baiano e Centro-Sul Baiano, e de menores valores no Extremo Oeste Baiano.

Para a maior parte das estações, obteve-se valores de PMP de 1 dia na faixa entre 400 e 600 mm.

Para o mapeamento da PMP, foi aplicado o interpolador determinístico Inverso da Potência da Distância (IPD), devido a impossibilidade de utilização de métodos geoestatísticos como a krigagem. Foram testados os modelos IPD com expoente 2, 3 e 5, onde o modelo com expoente 2 obteve melhor desempenho, constatado pelo menor EMPA (16,1%), quando comparado com os demais (16,9% e 17,5%, respectivamente)

Figura 1 – Distribuição espacial da PMP de 1 dia para o Estado da Bahia



Fonte: autores (2025)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo de mapear a Precipitação Máxima Provável (PMP) de 1 dia para o estado da Bahia foi atingido, resultando na identificação espacial dos valores máximos estimados de precipitação. Os resultados obtidos demonstram a relevância do uso de técnicas de geoprocessamento na análise de eventos extremos.

6 AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPq e ao IFTO pelo fomento e apoio na execução do projeto, que viabilizou a realização desta pesquisa, bem como pela concessão da bolsa de Iniciação Científica.

REFERÊNCIAS

ANA - Agência Nacional das águas. Hidro Web: Sistemas de informações hidrológicas. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br>> Acesso em 08 março 2025.

BARBOSA, Alan Gois; DA SILVA, André Felipe Rocha; COSTA, Veber Afonso Figueiredo. Estimativa espacial da precipitação máxima provável com duração de 24 horas para o território brasileiro. In: **XXV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Aracaju-SE, 2023**, 10 p.

BURGER, L. C. **Adaptação e análise do método de Hershfield para estimativa da precipitação máxima provável (PMP)**. 2014. (Dissertação de Mestrado). Departamento de Hidráulica e Saneamento do Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, 100 p. 2014.

CHOW, V. T. **Handbook of applied hydrology**. New York: McGraw-Hill Company, 1964. 1468 p.

HERSHFIELD, D. M. Technical Paper N. 40: **Rainfall Frequency Atlas of the United States**, Department of Commerce. Weather Bureau, Washington, DC, 1961.

HERSHFIELD, D. M. **Method for estimating probable maximum rainfall**. American Water Works Association, p. 965-972, 1965.

SILVA NETO, V. L. **Chuvas Intensas no estado do Tocantins**. 2016. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais). Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, Universidade Federal do Tocantins - UFT, Gurupi, TO, 116 p. 2016.

SILVA, S.F. da; GENZ, F.; AGUIAR, W.; SILVA, N. de M.D. da; KIPERSTOK, A. (2013) Avaliação da ocorrência de secas na Bahia utilizando o Índice de Precipitação Padronizada (SPI). **Bahia Análise & Dados**, v. 23, n. 2, p. 461-473.

SILVA NETO, Virgílio Lourenço *et al.* Precipitação máxima provável no Estado do Tocantins: primeira aproximação pelo método estatístico de Hershfield. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 27, p. 660-679, 2020.

SILVA NETO, Virgílio Lourenço *et al.* Mapeamento da Precipitação Máxima Provável na Bacia do Rio Manuel Alves da Natividade. In: RODRIGUES, T. D. A. NETO, J. L. (Ed.). **Competência Técnica e Responsabilidade Social e Ambiental nas Ciências Agrárias**. Ponta Grossa-PR: Atena Editora, 2019.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Manual on Estimation of Probable Maximum Precipitation - PMP**. Geneva: 2009. 291 p.