

AValiação Estatística de Eventos Isolados de Precipitação-Inundação na Bacia do Ribeirão Arrudas, em Belo Horizonte-MG

*Guilherme Queros Figueiredo¹; Alan de Gois Barbosa²; Viviane Borda Pinheiro Rocha^{*3} &
Priscilla Macedo Moura^{*4}*

RESUMO – O presente trabalho apresenta uma análise estatística realizada sobre dados de nível máximo do Ribeirão Arrudas, em Belo Horizonte, decorrentes de eventos de precipitação que ocasionaram elevações de nível relevantes neste curso de água, na seção fluvial analisada, no contexto de avaliação hidrológica e hidráulica da bacia para aprimoramento do sistema de *nowcasting* voltado para inundações. Os dados coletados em pluviômetros e linígrafos da rede municipal de monitoramento, entre 2011 e 2025, possuem falhas relevantes de coleta, dificultando o uso de métodos estatísticos comumente empregados para análise de frequência de variáveis hidrológicas máximas anuais. Por meio dos estudos anteriores, foi possível compreender regime hidrológico da bacia e, a posteriori, isolar 38 eventos de precipitação-nível em dada seção do corpo hídrico, aplicando-se critérios para avaliação de independência. A partir da amostra gerada, utilizou-se a análise de séries de duração parcial, com os modelos de Poisson-Pareto e Poisson-GEV (Distribuição Generalizada de Valores Extremos), para estimar níveis máximos associados a períodos de retorno na estação linigráfica avaliada. Os resultados obtidos indicaram uma maior aproximação do modelo de Poisson-Pareto à distribuição empírica da amostra, com tempo de retorno ao nível de extravasamento da calha estimado em 14,6 anos para o referido ponto.

Palavras-Chave – Séries de duração parcial; distribuição de Poisson-Pareto; *nowcasting* de inundações.

ABSTRACT– This paper presents the results of a statistical analysis of peak flow data from the Arrudas stream in Belo Horizonte, based on rainfall events that caused significant water level rises in the analyzed river section. The study was carried out as part of a hydrological and hydraulic assessment of the basin to improve flood nowcasting. Data from rain and water level gauges collected between 2011 and 2025 contained major gaps, preventing the use of traditional statistical methods based on annual maximum series. Through previous studies conducted within the scope of the project, it has been possible to understand the hydrological regime of the basin, isolate 38 precipitation-water level events in a given section of the water body by applying criteria for assessing independence. Using this sample, a Peaks over Threshold analysis was performed with the Poisson-Pareto and Poisson-GEV (Generalized Extreme Value) models to estimate maximum levels associated with relevant return periods at the gauging station. The results obtained indicated a better fit of the Poisson-

^{*}Professoras do Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais. Av. Antônio Carlos, 6627 - Campus Pampulha - 31 270-901 - Belo Horizonte.

1) Graduando em Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais. Av. Antônio Carlos, 6627 - Campus Pampulha - 31 270-901 - Belo Horizonte, guiqfig@gmail.com.

2) Pós-doutorando em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais. Av. Antônio Carlos, 6627 - Campus Pampulha - 31 270-901 - Belo Horizonte, alan.1995.barbosa@gmail.com.

3) viviane.pinheiro@ehr.ufmg.br.

4) priscilla.moura@ehr.ufmg.br.

Pareto model to the empirical distribution of the sample, with a return period to the channel overflow level estimated at 14.6 years for that point.

Key-words Peaks over Threshold; Poisson-Pareto distribution; flood nowcasting.

INTRODUÇÃO E MOTIVAÇÃO

A modelagem hidrológica e hidráulica de inundações na bacia do Ribeirão Arrudas, realizada em 2022 pela Fundação Christiano Ottoni (FCO; Fundação de apoio à Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG), proporcionou uma reavaliação dos estudos hidrológicos e hidráulicos no âmbito da bacia, à luz de ferramentas e análises com maior grau de sofisticação computacional em relação a estudos desenvolvidos até então. A partir deste contexto, o Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos da UFMG desenvolve o projeto “Avanços em ferramentas de *nowcasting* aplicadas a inundações urbanas”, através do qual busca-se integrar o estado da arte em estudos hidrológicos aos dados disponíveis, a fim de aprimorar ferramentas de previsão de inundação a curto e curtíssimo prazo.

A bacia do Ribeirão Arrudas possui 207,8 km² e se localiza majoritariamente na região centro-sul da cidade de Belo Horizonte, MG, área frequentemente afetada por problemas de inundações urbanas – com severos impactos sociais e econômicos. O ribeirão em questão é parcialmente canalizado e possui um de seus trechos totalmente fechado, ao longo do qual este curso de água é popularmente conhecido como Boulevard Arrudas. A fim de mensurar impactos das inundações no corpo hídrico, Cançado *et al.* (2024) realizaram uma avaliação de riscos materiais, humanos, ao domicílio e à atividade econômica, a partir de uma envoltória de inundação com Tempo de Retorno de 100 anos. Assim, no referido estudo, foi possível comprovar os potenciais transtornos causados pela inundação na área central da capital mineira – onde situa-se o Boulevard.

No contexto da rede de monitoramento hidrológico existente no município, desde o ano de 2011 a Prefeitura de Belo Horizonte (PBH) mantém o monitoramento de 42 estações (26 situadas na bacia estudada) de coleta de dados pluviométricos, linimétricos e meteorológicos, com indexação de dados a cada 10 minutos em base própria. Na Figura 1 é apresentado um mapa de situação da bacia de estudo, contendo a indicação do local das estações nela situadas e o traçado do Boulevard Arrudas.

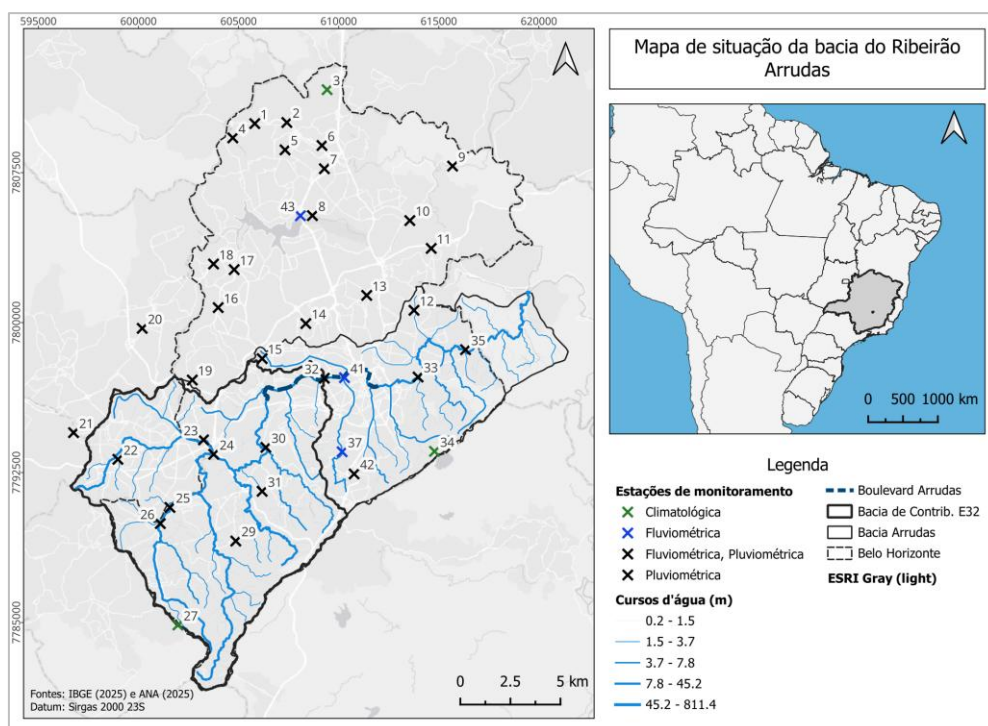


Figura 1 – Localização da bacia do Ribeirão Arrudas, das estações monitoramento e do Boulevard Arrudas.

Por meio dos dados de nível d'água (NA) monitorados nas 15 estações linigráficas instaladas, constituiu-se um sistema de alertas de inundação nos níveis: amarelo (50% de preenchimento da altura total da seção), laranja (80%) e vermelho (100%) (FCO, 2022). Subsidiados de tais amostras, os estudos no âmbito do projeto dedicados à modelagem da bacia obtiveram resultados satisfatórios na calibração de modelos nos softwares HEC-RAS e SWMM até a estação E32 – considerada como o exutório da bacia para a presente avaliação. Além da efetividade dos modelos, foi observado que, para os dados coletados pela PBH de 2011 a 2020, a estação E32 foi a que mais registrou alertas amarelos de inundação, dentre as 4 estações linigráficas na calha principal do ribeirão. A referida estação de registro está situada em uma seção retangular de base igual 18,00 m e altura igual a 8,35 m, imediatamente a montante da confluência do Ribeirão Arrudas com o córrego Leitão. A Tabela 1 apresenta os níveis d'água medidos na estação E32 relativos aos alertas de inundação supracitados.

Tabela 1 – Níveis d'água associados aos alertas de inundação para a estação fluviométrica E32.

Nível do alerta de inundação para a E32	Amarelo	Laranja	Vermelho
Nível d'água associado (cm)	415	664	830

A fim de melhor caracterizar o funcionamento da bacia até o exutório estabelecido, Barbosa *et al.* (2024) analisaram a correlação entre variáveis hidráulicas e hidrológicas, tais como tempo ao pico, intensidade de precipitação, duração de precipitação e nível de água máximo registrados em alguns eventos isolados de precipitação e nos cotogramas correspondentes. De tais verificações, pode-se concluir que a bacia possui resposta rápida aos eventos de precipitação, em especial pelas acentuadas declividades topográficas e pelas altas taxas de impermeabilização do solo, visto que se trata de uma

área urbana adensada. Os autores ainda apresentam resultados que permitem inferir a forte correlação entre o início da precipitação e o tempo de ascensão do cotograma para determinado evento de chuva – i. e., a precipitação registrada propicia rapidamente a elevação do nível d'água na calha – bem como a duração da precipitação é atrelada ao tempo de recessão do cotograma – ou seja, a interrupção da precipitação gera uma redução significativa do nível neste curso de água.

Levando em conta a sistemática identificada nas variáveis hidrológicas e condições de contorno do ribeirão, foi necessário qualificar critérios para o isolamento de eventos que geraram resultados de interesse ao estudo, i.e., alertas, e buscar um melhor entendimento do funcionamento das dinâmicas espaço-temporais do regime hidrológico na bacia. Diante do exposto, o objetivo deste trabalho é apresentar os resultados preliminares da análise de níveis de água máximos gerados na estação E32 do Ribeirão Arrudas em decorrência de eventos de chuva que geraram, ao menos, alertas amarelos, aplicando-se análise estatística apropriada ao reduzido histórico de registros contínuos (séries de duração parcial), com a finalidade de contribuir aos esforços de aprimoramento aos estudos de *nowcasting* na bacia. O uso de níveis de água como variável de interesse da análise estatística realizada reside no fato de não haver registros até o momento de medições de descarga líquida que permitam a obtenção de curvas-chave nas estações linigráficas e a posterior estimativa de séries de vazão.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a separação de eventos buscou-se inicialmente identificar, dentre os picos registrados nos cotogramas da seção E32, aqueles que indicaram alerta amarelo, no mínimo. A partir disso, foram plotados – evento a evento – os hidrogramas compreendidos entre antes e depois do momento de pico e a equivalência de precipitação das estações pluviométricas localizadas na sub-bacia de contribuição da estação linigráfica analisada. Para obtenção da precipitação ponderada na bacia, para simplificar a análise qualitativa, optou-se pela utilização da média das precipitações em intervalos de 10 minutos observadas nas 22 estações pluviométricas nela situadas.

De posse das representações gráficas de nível e precipitação, ambos discretizados a cada 10 minutos, adotou-se o critério definido por Huff (1967), que prevê um mínimo de 6 horas sem precipitação na bacia de contribuição antes do evento de chuva que gerou o alerta, para permitir a utilização do evento avaliado na amostra da análise estatística. Naghettini e Pinto (2007) propõem o mesmo período sem chuvas como critério para se assegurar a independência serial entre as ocorrências. Como critério adicional, foi avaliado de forma individual se o evento de chuva estava enquadrado nas condições ótimas para estudo da bacia, visto que esta possui rápido escoamento.

Sendo assim, buscou-se selecionar eventos chuvosos sem intermitências para evitar a sobreposição entre cotogramas. Tais etapas se postularam relevantes para compatibilizar o presente trabalho com os resultados de calibração das modelagens da bacia, visando garantir independência entre os eventos chuvosos geradores de alertas na estação E32, bem como a utilização de eventos de fato considerados como isolados.

Acerca da disponibilidade de dados, é relevante destacar que a base de dados disponibilizada pela PBH apresenta interrupções e *outliers*, tanto em termos de precipitação, quanto de nível, sobretudo no período de 2011 a 2020. Os dados de nível referentes aos anos de 2021 a 2024 não foram utilizados, pois encontram-se atualmente em fase de consistência, de forma que se pretende inseri-los em análises futuras semelhantes à presentemente conduzida. Por sua vez, foi possível incluir o ano de 2025, cujos dados já se encontram consistidos.

A análise estatística utilizada baseia-se no conceito de séries de duração parcial (SDP), ou *Peaks over Threshold* (POT), que compreendem eventos que superam um valor limiar “*u*” (Naghetini e Pinto, 2007) – utilizando-se, no caso deste estudo, o nível d’água registrado na estação E32, com foco nos eventos que geraram alertas amarelos, devido à ausência de medições de vazões que permitissem a definição de sua curva-chave. Outro pressuposto empregado neste trabalho é o da distribuição marcadamente sazonal das chuvas e vazões em Belo Horizonte segundo um ano hidrológico delimitado de outubro de um ano até setembro do ano seguinte, já que a concentração do período chuvoso se dá nos meses de dezembro a fevereiro – o que poderia mascarar a análise de eventos, se classificados por ano civil.

Por meio da formulação da SDP, foi possível considerar que o número médio por ano hidrológico de eventos excedentes a “*u*” é um estimador da taxa de excedências ν da distribuição de Poisson. Na sequência, trabalha-se em ajustar à amostra formada pelos níveis máximos atingidos em cada um dos eventos isolados que geraram pelo menos alerta amarelo na seção fluvial de referência, um ou mais modelos de distribuição teóricos adequados à modelagem de SDPs. No caso do presente trabalho, foram empregados os modelos de Poisson-Distribuição Generalizada de Pareto e Poisson-Distribuição Generalizada de Valores Extremos (GEV), utilizando-se em ambos o método dos momentos (MOM) para se estimar os parâmetros da distribuição. Na sequência, foi avaliado o ajuste de ambos os modelos à amostra de níveis máximos *versus* período de retorno empírico, para realização de inspeção de aderência dos métodos estimativos.

Para todas as formulações descritas abaixo nesta seção, foi utilizado como base a reunião de metodologias descritas por Naghetini e Pinto (2007). Primeiramente, na distribuição empírica,

realizou-se a contagem das excedências por ano hidrológico (m_i) – do qual se extraem o número total de registros (N), a média ($\hat{\nu}$) e o desvio-padrão ($\hat{\sigma}$) – para o cálculo do operador γ :

$$\gamma = \sum_i^N \gamma_i = \sum_i^N \frac{(m_i - \hat{\nu})}{\hat{\sigma}} \quad (1)$$

O operador γ obtido então é comparado com o quadrado do quantil referente ao nível de significância de 5% da distribuição Qui-Quadrado com grau de liberdade $N-1$ ($\chi_{0,95,N-1}^2$), sendo que, caso este seja maior que γ , é válida a aplicação de uma distribuição de Poisson. Satisfeita a hipótese, procedeu-se à obtenção da distribuição empírica, organizando a amostra em ordem decrescente (i) de nível e segundo uma posição de plotagem (q_i), a partir do número total de ocorrências disponíveis (N). Para o cálculo da posição de plotagem foi empregada a formulação de Gringorten, pois adequa-se à distribuição de extremos (Naghettini e Pinto, 2007):

$$q_i = \frac{(i-0,44)}{(N+0,12)} \quad (2)$$

Por conseguinte, a função acumulada de probabilidades para máximos anuais, denominada por $F_a(x)$, é dada em termos de ν e da distribuição acumulada de probabilidades da SDP $H_u(x)$. Ademais, é incluída a relação do período de retorno de base anual, T_a , com $F_a(x)$ na expressão a seguir:

$$\frac{1}{T_a} = 1 - F_a(x) = \exp\{-\nu[1 - H_u(x)]\} \quad (3)$$

Por sua vez, o tempo de retorno da série parcial, T_p , referente à amostra selecionada e que será corrigido para termos anuais, pode ser estimado a partir da relação abaixo:

$$T_p = \frac{1}{-\nu q_i} \quad (4)$$

Por fim, substituindo a Equação (5) na Equação (4), isolou-se o período de retorno em termos anuais:

$$T_a = \frac{1}{1 - \exp(-\frac{1}{T_p})} \quad (5)$$

Passando a tratar do modelo de Poisson-Pareto, ele consiste na obtenção de um parâmetro de escala e um parâmetro de forma da Distribuição Generalizada de Pareto (GPA) para calcular quantis anuais de nível de água máximo. Nesse caso, é associada uma variável X , definida pela subtração dos níveis registrados e o nível de referência “ u ”, também denominado de ξ no caso da GPA (definido na presente situação pelo alerta amarelo de inundação; assim, $\xi = 415$ cm):

$$X = x_i - \xi \quad (6)$$

Por meio da variável X , e da respectiva média ($\bar{X}$) e desvio-padrão (S_X) estimados a partir da SDP foram obtidos os parâmetros de escala ($\hat{\alpha}$) e de forma ($\hat{\kappa}$) da GPA:

$$\hat{\alpha} = \frac{\bar{X}}{2} \left(\frac{\bar{X}^2}{S_X^2} + 1 \right) \quad (7)$$

$$\hat{\kappa} = \frac{1}{2} \left(\frac{\bar{X}^2}{S_X^2} - 1 \right) \quad (8)$$

Levando-se em conta o parâmetro de forma, a proposição limita a variação da função que modela o nível de água, $N_A(x)$: se $\kappa > 0$, $\xi \leq x \leq \xi + \frac{\alpha}{\kappa}$; e se $\kappa \leq 0$, $\xi \leq x \leq \infty$. O valor estimado para o nível máximo anual em termos da função acumulada de probabilidades é apresentado abaixo, para $\hat{\kappa} \neq 0$ (9) e para $\hat{\kappa} = 0$ (10), respectivamente:

$$X = \xi + \frac{\alpha}{\kappa} \left\{ 1 - \left[-\frac{\ln[F(x)]}{\frac{1}{v}} \right]^\kappa \right\} \quad (9)$$

$$X = \xi - \alpha \left\{ -\ln[F(x)]^{\frac{1}{v}} \right\} \quad (10)$$

Já a respeito da distribuição GEV, pelo método dos momentos, o operador g_x é o coeficiente de assimetria amostral, definido pela fórmula:

$$g_x = \frac{N}{(N-1)(N-2)} \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^3}{s_x^3} \quad (11)$$

Por meio do coeficiente de assimetria ($g = g_x$), obedecendo aos limites $-2 < g_x < 1,1396$ (Extremos Tipo 3 ou Weibull), o parâmetro de forma pode ser definido segundo a relação:

$$\hat{\kappa} = 0,277648 - 0,3222016g + 0,060278g^2 + 0,016759g^3 - 12115873g^4 - 0,00244g^5 - 0,00005g^6 \quad (12)$$

O parâmetro de escala, por conseguinte, é dado conforme a fórmula:

$$\hat{\alpha} = \frac{s_x \hat{\kappa}}{\sqrt{\Gamma(1+2\hat{\kappa}) - \Gamma^2(1+\hat{\kappa})}} \quad (13)$$

De forma análoga ao modelo de Pareto, o limite de variação da função x é: se $\kappa < 0$, $\xi + \frac{\alpha}{\kappa} \leq x \leq \infty$; caso $\kappa > 0$, $-\infty \leq x \leq \xi + \frac{\alpha}{\kappa}$; e para $\kappa = 0$, $-\infty \leq x \leq \infty$. O valor estimado para o nível em termos da função acumulada de probabilidades $F_a(x)$ é apresentado abaixo, para $\hat{\kappa} \neq 0$ (14) e para $\hat{\kappa} = 0$ (15) respectivamente:

$$x = \xi + \frac{\alpha}{\kappa} \left\{ 1 - \left\{ -\ln \left[\frac{v + \ln[F_a(x)]}{v} \right] \right\}^\kappa \right\} \quad (14)$$

$$x = \xi - \alpha \ln \left\{ -\ln \left[\frac{v + \ln[F_a(x)]}{v} \right] \right\} \quad (15)$$

Por fim, substituindo (3) nas equações (9) e (14) – para $\hat{\kappa} \neq 0$ – e isolando a variável $T_a(x)$, é possível obter as equações de período de retorno em termos anuais pelos modelos Poisson-Pareto e Poisson-GEV, respectivamente:

$$T_a(x) = \frac{1}{1 - e^{-v \left(1 - \frac{\kappa(x-\xi)}{\alpha} \right)^{\frac{1}{\kappa}}}} \quad (16)$$

$$T_a(x) = \frac{1}{1 - e^{v e^{\left(1 - \frac{\kappa(x-\xi)}{\alpha} \right)^{\frac{1}{\kappa}} - v}}} \quad (17)$$

RESULTADOS E RECOMENDAÇÕES

A análise procedida foi aplicada diretamente à variável nível d'água para a estação E32, cuja indexação é dependente da preservação das condições geométricas disponíveis – afetadas por

intervenções civis e assoreamentos no intervalo analisado, por exemplo –, fator de difícil mensuração e que pode alterar as condições de contorno do escoamento ao longo do tempo. Foi considerado, visto a dificuldade de segregar a influência destas alterações, que não houve mudanças significativas no intervalo. Ao longo do período amostral, de 9 anos hidrológicos, foram identificados 38 eventos que geraram alertas amarelos e laranjas. O nível máximo ($i = 1$) identificado como evento isolado atingiu a cota de 815 cm, no dia 15/01/2020 (AH 2019/2020). Apesar da metodologia de isolamento adotada, pelo menos 10% dos eventos classificados como amostra tiveram tempo de intervalo com relação ao evento imediatamente anterior classificado – seguindo-se a ordem cronológica – igual ou inferior a 3 dias, o que poderia significar algum grau de dependência entre eventos. A despeito dessa constatação, devido às características de escoamento superficial rápido da bacia, procedeu-se à análise com a integralidade de eventos por se considerar que a proximidade temporal não é, necessariamente, indicativo de relação entre eventos, desde que o cotograma não seja influenciado pelo seu antecessor.

Segundo a distribuição empírica apresentada na metodologia, foi identificada uma taxa de excedências $\hat{\nu} = 4,2 \frac{\text{eventos}}{\text{ano}}$ e um parâmetro $\gamma = 8,0 \leq \chi^2_{0,95;8} = 240,3$ (1), aceitando-se a hipótese de que as excedências anuais comportam-se segundo a distribuição de Poisson. É importante ressaltar que, apesar de satisfeita a hipótese, foi observado durante a realização do trabalho que a taxa de excedências é superior aos limites recomendados pela literatura – de 2 a 3 eventos por ano (Naghetini e Pinto, 2007), o que, ao limite, pode alterar a independência serial de eventos, condicionante para a simplificação (distribuição de Poisson) do modelo estocástico que representa a fenomenologia dos eventos hidrológicos. Todavia, ressalta-se que a mesma referência citada reconhece que tal análise não se dá de maneira linear em torno da variável, de modo que se espera que o valor utilizado no presente estudo não comprometa o resultado encontrado.

Por meio das equações de (2) a (5), foram estimados os tempos de retorno anuais amostrais, sendo que, para a cota máxima registrada, $T_{a1} = 16,6 \text{ anos}$ e, para a cota mínima ($x = 416 \text{ cm}$), $T_{a38} = 1,02 \text{ ano}$. Para o modelo Poisson-Pareto, foram obtidos como parâmetro de escala $\hat{\alpha} = 149,24$ (7) e de forma $\hat{\kappa} = 0,20$ (8). Como o $\hat{\kappa}$ é diferente de 0, aplicou-se a Equação (9) sob os limites de 415 a 1.152 cm. De posse dos parâmetros necessários, na Tabela 2 constam os quantis de nível para cada período de retorno notável, aplicando-se o modelo adotado.

Tabela 2 – Quantis anuais de níveis máximos para a seção E32 calculados pelo modelo Poisson-Pareto.

TR (anos)	2	5	10	20	30	50	75	100
x (cm)	640,82	745,65	802,93	850,26	874,53	902,13	921,98	935,07

Já para o modelo Poisson-GEV, por sua vez, estimou-se um coeficiente de assimetria amostral $g_x = 1,003$, dentro dos limites de aplicação da Equação (12). Dessa forma, foi obtido um parâmetro

de forma $\hat{\kappa} = 0,02$; e, a partir da Equação (13), calculou-se o parâmetro de escala $\hat{\alpha} = 84,13$. Como $\hat{\kappa}$ é maior do que 0, é válido um limite de 415 cm a 3.953 cm na estimativa do nível para os períodos de retorno (14), mostrados na Tabela 3. Para o modelo Poisson-GEV foi identificado um abatimento dos resultados, quando em comparação com a amostra, para $x > 600$ cm.

Tabela 3 – Quantis anuais de níveis máximos para a seção E32 calculados pelo modelo Poisson-GEV.

TR (anos)	2	5	10	20	30	50	75	100
x (cm)	556,66	651,79	711,28	766,79	798,16	836,88	867,08	888,27

Tendo em vista a maior aproximação dos resultados da distribuição baseada na amostra com o modelo Poisson-Pareto, optou-se por adotar esse método no presente trabalho. Por meio dele, foi calculado com base na Equação (16) um período de retorno para o alerta vermelho ($x = 830$ cm), isto é, extravasamento, na estação E32 igual a 14,6 anos. Na Figura 2 estão plotadas a distribuição empírica e a distribuição de Poisson-Pareto, com a indicação da cota de extravasamento da calha.

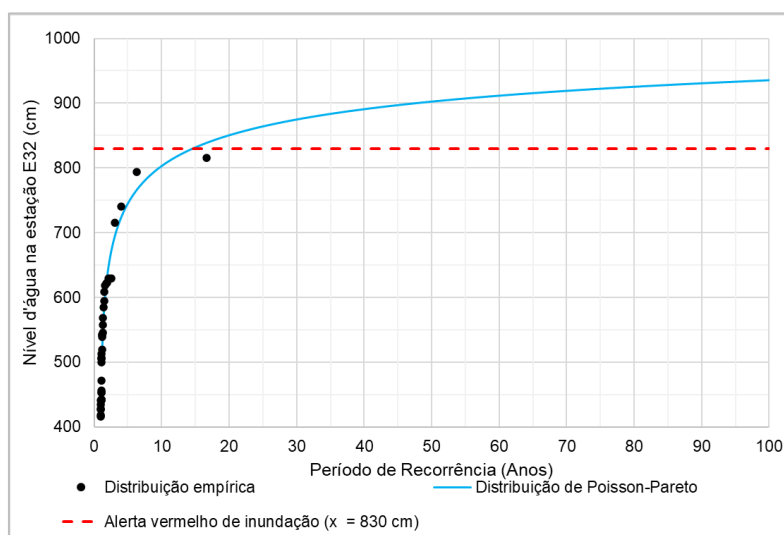


Figura 2 – Representação gráfica dos tempos de retorno empíricos e os períodos de retorno estimados pelo modelo Poisson-Pareto para a estação linográfica E32.

Através de inspeção visual da Figura 2, é possível identificar que a distribuição de Poisson-Pareto se assemelhou à tendência empírica para a amostra selecionada. Como sugestão a futuros trabalhos, observa-se a necessidade de expansão da amostra disponível e o estudo mais aprofundado acerca da necessidade de complemento aos critérios de separação/seleção de eventos chuva-nível. Sobre a análise estatística, é sugerido o aprofundamento em termos de aderência dos métodos praticados com relação aos resultados empíricos, de forma a mensurar numericamente o grau de aproximação das estimativas à realidade. Também é pertinente a repetição do método para outras estações de monitoramento de nível ao longo da calha do Arrudas, bem como a definição de curvas-chave – para possibilitar a análise das vazões. Ademais, é relevante destacar que, ao se estimar o TR associado ao nível d'água, pode-se trabalhar no aprimoramento das cotas de alerta, assim como associá-las aos potenciais danos diretos gerados à ocupação para esta e demais seções de interesse.

Por fim, considera-se que os resultados foram satisfatórios para o tratamento de dados de nível de água para a estação E32, na tentativa de reunião de uma amostra de eventos isolados, frente às características de escoamento da bacia do Ribeirão Arrudas. Por sua vez, a utilização da teoria de séries de duração parcial se mostrou adequada para lidar com as falhas de monitoramento das estações de coleta de dados e com o histórico de registros ainda reduzido, produzindo – em especial para a distribuição de Poisson-Pareto – uma aproximação preliminar de períodos de retorno para eventos extremos de inundação, com extravasamento da calha previsto a cada 14,6 anos na seção E32, em média. Reitera-se que, conforme observado pelos autores citados na introdução do presente trabalho, um evento de extravasamento na seção estudada representa um risco significativo em várias dimensões relevantes à ocupação na região, devendo ser aprofundados os estudos de *nowcasting*, a fim de orientar a previsão em curtíssimo prazo e o aprimoramento do sistema de alerta na bacia.

AGRADECIMENTOS – Os autores agradecem à CAPES, pelo auxílio no desenvolvimento de pesquisas e ao CNPq e MCTI pelo financiamento do Projeto “Avanços em ferramentas de *nowcasting* aplicadas a inundações urbanas” (Processo 446043/2023-0).

REFERÊNCIAS

- BARBOSA, A. de G.; PIMENTEL, A. de M.; ROSA, D. W. B.; SILVA, F. E. O.; COSTA, V. A. F.; MOURA, P. M. (2024). “*Relações entre características de eventos de precipitação e a resposta hidrológica da bacia do Arrudas, Belo Horizonte*” in Anais do XV Encontro Nacional de Águas Urbanas e V Simpósio de Revitalização de Rios Urbanos, Recife, Set. 2024.
- CANÇADO, V. L.; SILVA, A. F. R. da; ROSA, D. W. B.; ELEUTÉRIO, J. C.; NASCIMENTO, N. de O. (2024). “*Mapeamento e análise de vulnerabilidade a inundações na bacia do Ribeirão Arrudas, Belo Horizonte/MG*” in Anais do XV Encontro Nacional de Águas Urbanas e V Simpósio de Revitalização de Rios Urbanos, Recife, Set. 2024.
- FUNDAÇÃO CHRISTIANO OTTONI (FCO). “Atualização dos Estudos Hidrológicos e Hidráulicos da Bacia do Ribeirão Arrudas. Plano de Contingência de Inundações do Boulevard Arrudas. Relatório Técnico 3: Modelagem hidrológica e hidráulica das inundações na bacia do Ribeirão Arrudas”. Belo Horizonte: FCO, 2022.
- HUFF, F. A (1967). “*Time distribution of rainfall in heavy storms*”. *Water Resources Research*, Washington, v. 3, n. 4, p. 1007–1019, 1967.
- NAGHETTINI, M.; PINTO, É. J. de A. (2007). *Hidrologia estatística*. CPRM Belo Horizonte -MG, 561 p.
- ROSA, D. W. B.; SILVA, A. F. R. da; CANÇADO, V. L.; ELEUTÉRIO, J. C.; NASCIMENTO, N. de O. (2024). “*Modelagem hidrológica e hidráulica de inundações para planejamento de emergência e regulação do uso do solo: bacia do Ribeirão Arrudas, Belo Horizonte/MG*” in Anais do XV Encontro Nacional de Águas Urbanas e V Simpósio de Revitalização de Rios Urbanos, Recife, Set. 2024.