PROGRAMA PARA ANÁLISE REGIONAL DE FREQUÊNCIA DE CHEIAS USANDO MOMENTOS-L

Gláuber Pontes Rodrigues [1] ; Pedro Henrique Lucena [2]& Alessandra Aparecida de Lima [3]

Palavras-Chave – Análise regional de frequência, Momentos-L, Shiny Apps, Cheias.

1. INTRODUÇÃO

A Análise Regional de Frequência de cheias é uma ferramenta essencial para o dimensionamento de obras hidráulicas, a delimitação de áreas inundáveis, a gestão de recursos hídricos e a implantação de sistemas de alerta e defesa civil (Naghettini & Pinto, 2007). No contexto brasileiro, a ocorrência de eventos hidrológicos extremos tem se tornado mais frequente e intensa, exigindo métodos robustos para a estimativa de vazões de projeto, especialmente em bacias com monitoramento fluviométrico escasso ou inexistente. A regionalização hidrológica, por permitir a transferência de informações entre bacias hidrologicamente homogêneas, reduz as incertezas inerentes à análise local de frequência e é amplamente recomendada em estudos de cheias (Hosking & Wallis, 1997; Hoey et al., 2025).

Entre os métodos disponíveis, a abordagem baseada em momentos-L destaca-se por sua robustez e eficiência, sendo insensível a valores extremos esporádicos e fornecendo estimativas consistentes para diferentes distribuições de probabilidade (Vogel & Fennessey, 1993). A combinação dos momentos-L com testes estatísticos permite identificar estações atípicas, avaliar a homogeneidade regional e selecionar a distribuição mais adequada para a região (Hosking & Wallis, 1997). Apesar dessas vantagens, a aplicação prática dessas técnicas ainda depende de conhecimento especializado em programação estatística, o que restringe seu uso por engenheiros, técnicos e gestores da defesa civil, por exemplo.

Nesse sentido, este trabalho apresenta uma ferramenta computacional interativa desenvolvida no ambiente R/Shiny (Chang et al., 2021) que automatiza todo o fluxo de análise regional de frequência de cheias, desde o upload e a verificação da qualidade dos dados até a geração de vazões de projeto para diferentes tempos de retorno.

2. METODOLOGIA

2.1 Monitoramento fluviométrico e seleção de estações

A etapa inicial da análise regional consistiu na seleção das estações fluviométricas representativas da região da bacia do rio Capivara, integrante da sub-bacia do Rio Paranaíba, localizada em Araxá, Minas Gerais. Para análise, foram consideradas as estações fluviométricas na região de interesse, pertencentes à rede nacional de monitoramento de reponsabilidade da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, cujas séries estão disponíveis em https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas). A escolha das estações considerou critérios de representatividade hidrológica e confiabilidade dos dados, incluindo: (i) localização em bacias com características físicas e climáticas compatíveis com a área de estudo; (ii) suficiência e continuidade das séries históricas; (iii) consistência dos dados disponíveis; e (iv) preferência por estações em operação ou com registros recentes. Aqui, para efeito de escolha preliminar, foi traçado um raio de 150 km cujo ponto central está nas coordenadas, 294988 m E ,7826847 m N, Datum SIRGAS 2000 Zona UTM 23 S, no município de Araxá. Foram utilizados exclusivamente os períodos classificados como consistidos pela ANA (Nível de Consistência 2), descartando-se registros recentes ainda não

1) WALM BH Engenharia, Universidade Federal do Ceará – UFC, glauber.rodrigues@walmengenharia.com.br
2) WALM BH Engenharia, pedro.lucena@walmengenharia.com.br
3) WALM BH Engenharia, alessandra.lima@walmengenharia.com.br

consolidados, isto é, dados dos anos de 2024 e 2025. A adoção de séries consistidas reduz incertezas associadas a erros de medição ou mudanças operacionais nas estações fluviométricas. Esta análise preliminar resultou na seleção de oito estações fluviométricas, que são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Principais características das estações fluviométricas selecionadas na primeira etapa

Código	40040000	40930000	60145000	60220000	60265000	60250000	60010000	40032000
Nome	Fazenda Ajudas	Barra Do Funchal	Iraí De Minas	Desemboque	Ibiá	Fazenda São Mateus	Santana De Patos	Fazenda Samburá
Município	Bambuí	Serra Da Saudade	Iraí De Minas	Sacramento	Ibiá	Ibiá	Patos De Minas	São Roque De Minas
Operadora	CPRM	CPRM	CPRM	CPRM	CPRM	CPRM	CPRM	CPRM
Latitude	-20,0958	-19,3956	-18,9781	-20,0139	-19,475	-19,5175	-18,8411	-20,1508
Longitude	-46,0642	-45,8864	-47,4564	-47,0172	-46,5419	-46,57	-46,5508	-46,3033
Altitude	681	679	946	960	880	852	851	734
Area de drenagem (km²)	244	897	93	1070	1370	1300	2730	754
Disponibilidade de dados	01/06/1939 a 01/06/2025	01/10/1939 a 01/12/2024	01/10/1952 a 01/05/2025	01/10/1955 a 01/05/2025	01/04/1948 a 01/07/2024	01/09/1948 a 01/04/2025	01/09/1941 a 01/06/2025	01/10/1964 a 01/01/2025

A partir das estações fluviométricas selecionadas foram calculadas as medidas de discordância (D_i) considerando as séries de máximas anuais. Os dados de uma estação i são considerados discordantes de uma região, quando D_i é maior que um valor crítico, que depende da quantidade de estações selecionadas para uma região (N).

A medida de heterogeneidade (H), proposta por Hosking e Wallis (1997), tem por objetivo verificar o grau de heterogeneidade de uma região através da comparação entre variabilidade amostral observada e a variabilidade esperada de uma região homogênea, essa última obtida através do método de Monte Carlo. Os autores definem que o número adequado de simulações (N_{sim}) é igual a 500.

Com o objetivo de identificar a distribuição mais adequada para a estimativa dos quantis regionais, Hosking e Wallis (1997) propuseram a estatística *Z*, utilizada como medida de qualidade de ajuste para distribuições de três parâmetros. Essa estatística baseia-se na comparação entre a curtose-L estimada a partir da distribuição teórica ajustada e a média regional da curtose-L calculada a partir dos dados observados. O ajuste de uma distribuição é considerado satisfatório quando $|Z^{dist}| \leq 1{,}64$ e melhor quando mais próximo de zero. Nos casos em que mais de uma distribuição apresenta valor de Z^{dist} satisfatório, a distribuição preferível é àquela que apresenta o seu menor valor absoluto.

Para a análise do ajuste de frequências de cheias, as seguintes distribuições foram testadas: Generalizada de Pareto (GPA), Generalizada de Valores Extremos (GEV), Generalizada Logística (GLO), Generalizada Normal (GNO) e Pearson III (PE3).

2.2 Desenvolvimento do aplicativo

A ferramenta é um aplicativo *Shiny* gratuito para análise regional de cheias via L-momentos, e foi construída no ambiente R, utilizando os pacotes *lmom*, *lmomRFA* para os cálculos estatísticos e *shiny*, *shinydashboard*, *plotly* e DT para a interface gráfica interativa. O fluxo de análise segue as etapas:

1. **Upload de dados**: séries históricas de vazões máximas anuais (formato CSV);
2. **Diagnóstico exploratório**: *boxplots* interativos e estatísticas descritivas;
3. **Cálculo dos momentos-L;**
4. **Testes regionais:** Discordância (Di): identificação de estações discordantes (limiar crítico 2,14); Heterogeneidade (H_1, H_2, H_3): classificação da região em homogênea (H<1),

possivelmente heterogênea (1≤H<2) ou heterogênea (H≥2); Aderência (Z): para cinco distribuições (GLO, GEV, GNO, PE3, GPA);

5. **Seleção da melhor distribuição** (menor |Z|) e ajuste regional;
6. **Geração de resultados**:
    - Fatores de crescimento para TR = 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 anos.
    - Vazões regionalizadas (m^3/s) por estação.
    - Diagrama de momentos-L (τ_3 vs. τ_4) com curvas teóricas.
    - Relação Index-Flood × Área de drenagem.

3. RESULTADOS

O aplicativo foi testado com dados de 8 estações fluviométricas da bacia do rio Capivara mencionadas no item acima. Os principais resultados obtidos foram:

- **Discordância**: apenas uma estação apresentou Di > 2,14 (2,20), sendo removida da análise final.
- **Heterogeneidade**: com 7 estações, H_1 = 0,125 (homogênea), H_2 = 1,133 (possivelmente heterogênea), H_3 = 1,798 (possivelmente heterogênea).
- **Melhor distribuição**: Generalizada Logística (GLO), com Z = 0,395.

A interface (Figura 1) exibe abas para upload, análise interativa e download de relatórios. O tempo de processamento para 500 simulações é inferior a 5 segundos. A Figura 2 apresenta o diagrama de razão de momentos-L (L-assimetria (τ_3) versus L-curtose (τ_4)) para as estações analisadas, sobreposto às curvas teóricas das principais distribuições de probabilidade.

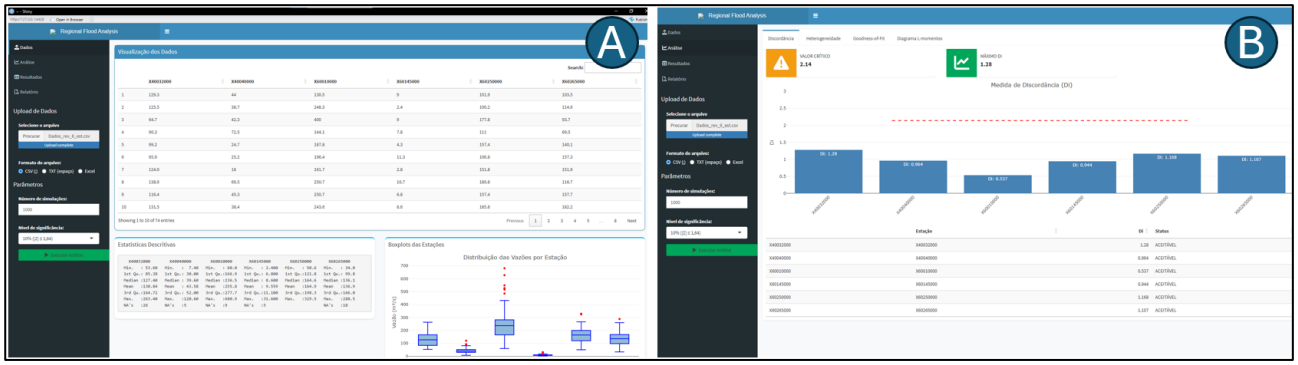


Figura 1. Interface de inserção dos dados e exibição de estatísticas descritivas (a) e Interface de análise dos resultados conforme métricas estatísticas definidas (b).

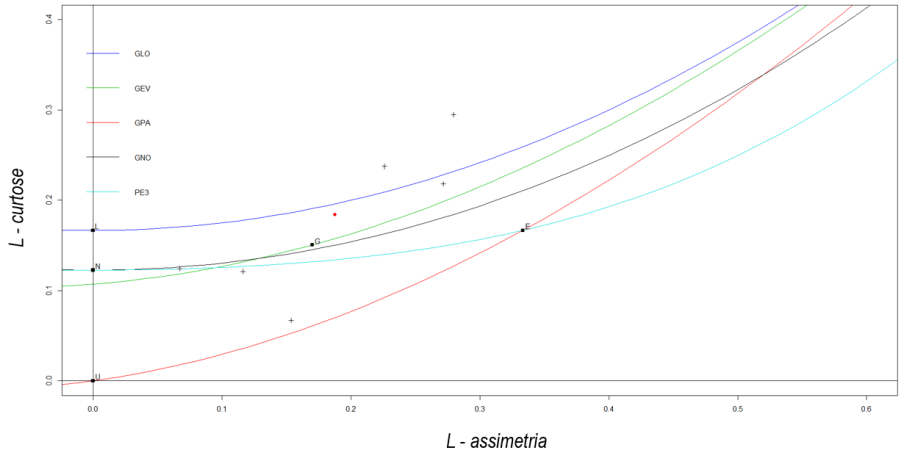


Figura 2. Diagrama de L-momentos: L-assimetria (τ_3) versus L-curtose (τ_4)

4. CONCLUSÕES

Foi desenvolvido um aplicativo *Shiny* completo e validado para análise regional de cheias via momentos-L. Com uma interface gráfica amigável e resultados apresentados em tabelas e gráficos interativos, o aplicativo visa democratizar o acesso à análise regional de cheias, fornecendo subsídios para o planejamento e a gestão de riscos hidrológicos.

REFERÊNCIAS

HOSKING, J. R. M.; WALLIS, J. R. **Regional Frequency Analysis: An Approach Based on L-Moments.** Cambridge University Press, 1997.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria, 2021.

CHANG, W. et al. **shiny: Web Application Framework for R**. R package version 1.7.1, 2021.

HOEY, T. B., TOLENTINO, P. L. M., GUARDIAN, E., PEREZ, J. E. G., WILLIAMS, R. D., BOOTHROYD, R., DAVID, C. P. C., PARINGIT, E. C. (2025). Integrating historical archives and geospatial data to revise flood estimation equations for Philippine rivers. **Hydrology and Earth System Sciences,** *29*, 6181–6200. https://doi.org/10.5194/hess-29-6181-2025.

NAGHETTINI, M.; PINTO, É. J. de A. **Hidrologia estatística**. Belo Horizonte: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2007. 552 p. ISBN 978-85-7499-023-1

VOGEL, R. M.; FENNESSEY, N. M. L-moment diagrams should replace product moment diagrams.**Water Resources Research**, v. 29, n. 6, p. 1745-1752, jun. 1993. https://doi.org/10.1029/93WR00341