

A GRANDE CHEIA HISTÓRICA DE 2024 NO RIO GRANDE DO SUL NO RIO TAQUARI, NO MUNICÍPIO DE MUÇUM

Francisco F. N. Marcuzzo¹; Eber J. de Andrade Pinto²

Palavras-Chave – Sistema de Alerta de Eventos Críticos, Bacia do Taquari, Rio Taquari-Antas.

1. INTRODUÇÃO

O Sistema de Alerta Hidrológico (SAH) do Sistema de Alerta de Eventos Críticos (SACE, <https://www.sgb.gov.br/sace/>) do Serviço Geológico do Brasil (SGB), na bacia do rio Taquari, utiliza-se de modelos estatísticos para previsão de níveis para os municípios de Muçum, Encantado, Estrela e Lajeado.

Este estudo tem o objetivo de apresentar e discutir a estimativa dos tempos de retorno para as cotas associadas as maiores cheias anuais registradas até junho de 2024, cotas de atenção, alerta e de inundação do rio Taquari, na estação fluviométrica de Muçum (86510000).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização geral da bacia hidrográfica e da estação fluviométrica Muçum (86510000)

Na Figura 1, além da hidrografia, mostra-se a altimetria da bacia do rio Taquari (Sub-bacia 86, MARCUZZO, 2018) e a localização das estações do SACE do SGB. A delimitação da bacia é estudada em Melati e Marcuzzo (2015).

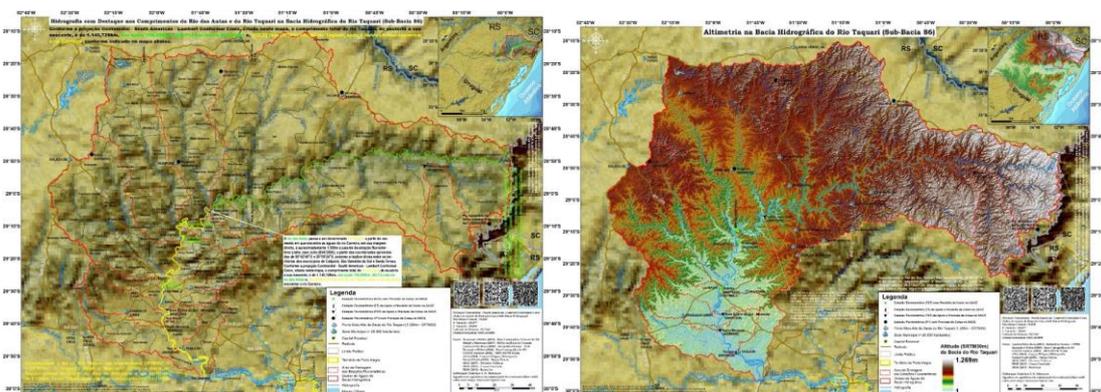


Figura 1 – Hidrografia básica e a altimetria da bacia hidrográfica do rio Taquari-Antas, além da localização das estações do SACE Taquari em cada um destes mapas.

A cota registrada em Muçum, na grande cheia de maio de 2024, foi 26,00 m (Figura 2), na madrugada do dia 02/05/2024, sendo até junho de 2024 a segunda maior. A maior cota histórica registrada na estação fluviométrica Muçum (86510000), com área de drenagem de 16.000km², foi 26,108 m (Figuras 2), alcançada por volta das 2h30min do dia 05/09/2023, na maior cheia da história registrada no município de Muçum/RS. Essa cota foi nivelada pela equipe de hidrotécnicos do SGB-CPRM de Porto Alegre, no dia 08/09/2023, ou seja, três dias após o pico do maior evento de inundação do município. Em novembro do mesmo ano de 2023, a bacia do Taquari-Antas foi acometida por outro evento de inundação de grande proporção, semelhante à ocorrida em setembro de 2023, principalmente para municípios mais a jusante, como Estrela e Lajeado. Em 18/11/2023, segundo a defesa civil do município de Muçum/RS, a cota nas réguas atingiu 23,20 m as 23h45min (no sensor do sistema de hidrotelemetria registrou-se 23,02 m), ou seja, 74 dias após a cota de 05/09/2023 aconteceu a terceira maior cheia histórica registrada na cidade. A cheia de maio/24 foi diferente das observadas em setembro e novembro de 2023. Em 2024 o rio Guaporé, que desagua

¹) SGB - Serviço Geológico do Brasil – R. Banco da Província, 105, Santa Teresa, Porto Alegre/RS. francisco.marcuzzo@sgb.gov.br.

²) SGB - Serviço Geológico do Brasil – Av. Brasil, 1731. Funcionários Belo Horizonte/MG. UFMG - Escola de Engenharia - Av. Antônio Carlos, 6627, Belo Horizonte/MG. eber.andrade@sgb.gov.br e eber@ehr.ufmg.br.

logo a jusante do município de Muçum, contribuiu mais para as cheias do Taquari do que em 2023. Na parte do município próxima ao rio Guaporé, houve registro de cotas superiores as observadas em 2023. Contudo, as régua da estação fluviométrica estão instaladas no centro da cidade, a montante da confluência. O registro de dois anos em sequência com níveis expressivos também foi observado em Blumenau-SC nos anos de 1983 (15,36m) e 1984 (15,44m), após 72 anos de cotas máximas inferiores a 13,30m (<https://alertabu.blumenau.sc.gov.br/p/enchentes>).

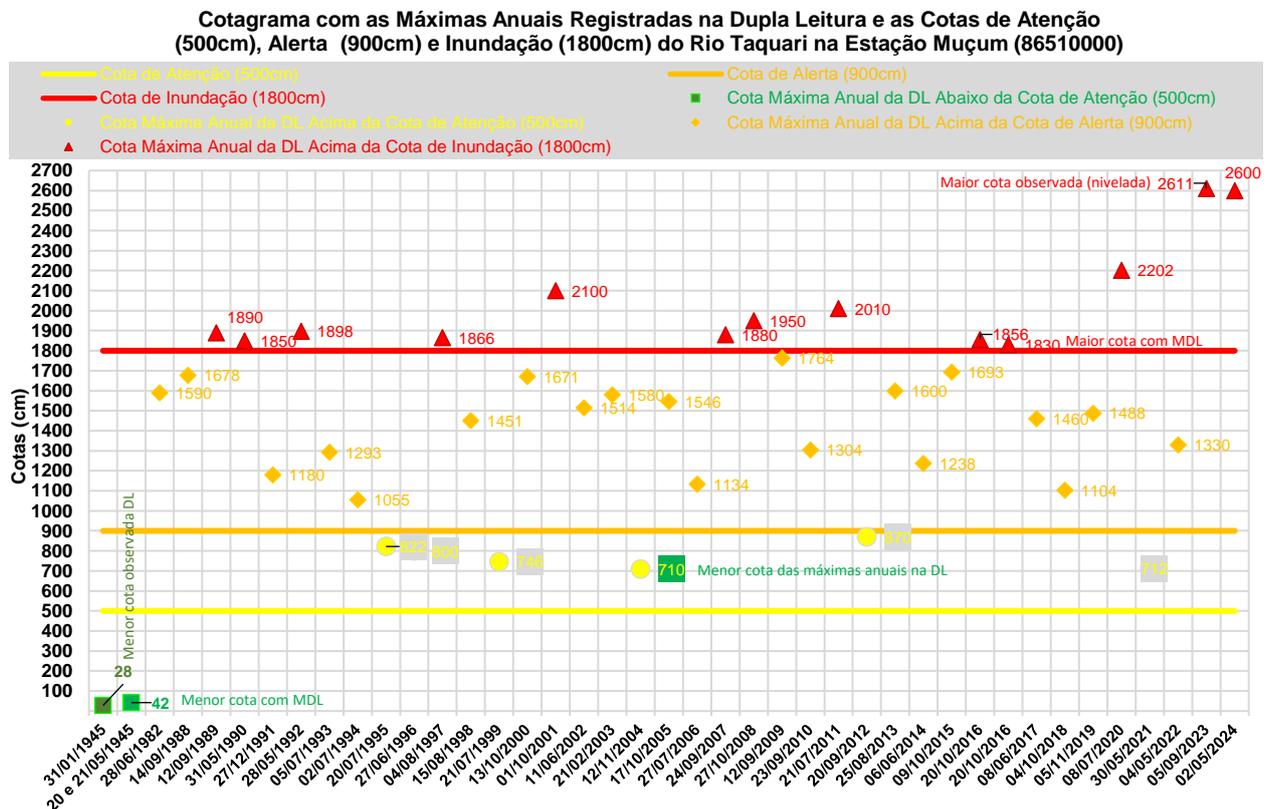


Figura 2 – Cotas máximas anuais registradas nos boletins dupla leitura, e as linhas representando as cotas de interesse.

2.2. Análise de Frequência

Considerando as publicações de Pinto (2013) e Naghettini e Pinto (2007), foram definidas as seguintes etapas para análise de frequência local de máximos por ano hidrológico (neste caso, civil):

- Avaliar a consistência dos dados e organizar a série de cotas máximas por ano civil.
- Verificar a presença de valores atípicos (*outliers*) com o critério baseado na amplitude interquartil, AIQ e com o teste de Grubbs e Beck (Naghettini e Pinto, 2007, p. 39 e 287).
- Avaliar a independência dos eventos da série com o teste não paramétrico proposto por Wald e Wolfowitz (1943), a homogeneidade por meio do teste não-paramétrico proposto por Mann e Whitney (1947) e a estacionariedade das séries pelo teste não-paramétrico de Spearman, o qual encontra-se descrito em Naghettini e Pinto (2007, p. 267).
- Estimar a distribuição empírica calculando a posição de plotagem pela fórmula de Weibull, ou seja, no caso de séries de máximos anuais temos $P(P>p)=m((N+1))$, onde m é número de ordem e N o tamanho de amostra.
- Definir as distribuições teóricas de probabilidades candidatas a modelagem das cotas máximas por ano civil. As distribuições candidatas são Pareto (ξ, α, κ); GEV (ξ, α, κ); Generalizada Logística-GLO (ξ, α, κ); Log-Normal-3P (ξ, α, κ); Log-Person-III (ξ, α, γ); Gama (η, θ); Gumbel (β, α); Log-Normal (μ, σ). As funções densidade, acumulada e inversa dessas distribuições são apresentadas em Hosking e Wallis (1997) e Naghettini e Pinto (2007).
- Calcular os parâmetros das distribuições teóricas de probabilidades candidatas pelo método dos momentos-L (Hosking e Wallis, 1997).

- g) Definir a distribuição teórica que será adotada na modelagem das séries a partir da verificação da aderência à distribuição empírica. A aderência da distribuição teórica candidata à distribuição empírica é verificada pelo teste de Anderson–Darling a 5 % de significância.
- h) Estimar os quantis associados a diferentes tempos de retorno.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste estudo considerou-se que a cota de 2600 cm observada em 2024 será a maior do ano. Por isso o ano de 2024 foi incluído na análise. Dessa forma a série empírica possui 38 anos. As hipóteses de independência e estacionariedade foram aceitas com nível de significância de 5 %. O teste de homogeneidade não pode ser aplicado porque a série de máximo anuais dispõe de 38 valores. Os testes aplicados não indicaram a presença de *outliers* superiores ou inferiores na série analisada. Ao se aplicar o teste de Anderson–Darling a 5 % de significância as distribuições de Pareto (ξ, α, κ), Gumbel (β, α) e Log-Normal (μ, σ) tiveram a hipótese nula de aderência rejeitada. A Tabela 1 apresenta os parâmetros e os limites inferiores e superiores das distribuições com a hipótese nula de aderência aceitas.

Tabela 1 – Parâmetros das distribuições aceitas no teste de aderência

Modelo	Parâmetros			Limite Inferior (cm)	Limite Superior (cm)
	Localção	Escala	Forma		
GLO (ξ, α, κ)	1528,63	276,95	0,0024	Sem limite inferior	115.373,4
Log-Normal-3P (ξ, α, κ)	1528,7	490,89	0,0050	Sem limite inferior	100.121,0
Log-Person-III (ξ, α, γ)	7,2768	0,3565	-0,9545	0	3.052,7
GEV (ξ, α, κ)	1356,50	490,34	0,2890	Sem limite inferior	3.053,2
Gama (η, θ)	9,38	162,90		0	Sem limite superior

Avaliando os resultados dos parâmetros estimados, observa-se que as distribuições de 3 parâmetros ajustadas apresentam limites superiores que variaram de 30,52 m a 115,37 m. Considerou-se limites superiores por volta de 30 m pouco conservador, dessa forma optou-se por preservar na análise as distribuições Gama, GLO (3P) e Log-Normal (3P). Dessa forma, os tempos de retorno estimados para os eventos de 2023 e 2024 para estas distribuições estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Tempos de retorno dos eventos de 2023 e 2024 (anos)

Cota (ano)	Gama	GLO (3P)	Log-Normal (3P)
2611 cm (2023)	35,32	51,74	75,09
2600 cm (2024)	34,09	49,75	70,87

O modelo probabilístico de menor variância dos resíduos é a Log-Normal (3P). Assim, este modelo foi selecionado para representar o comportamento probabilístico das cotas máximas anuais no rio Taquari em Muçum. A Tabela 3 apresenta as cotas do rio Taquari em Muçum associada a diferentes tempos de retorno e o intervalo do confiança de 90 %. Os tempos de retorno das cotas de atenção (500 cm) e alerta (900 cm) do rio Taquari, na estação fluviométrica de Muçum (86510000) são inferiores a 1,2 anos. No caso da cota de inundação (1800 cm) é de 3,45 anos. Estes valores são semelhantes aos estimados por Marcuzzo e Pinto (2022). A Log-Normal (3P) também foi o modelo adotado por Marcuzzo e Pinto (2022) que analisaram dados até 2021. A inclusão das cotas máximas de 2022 a 2024 reduziu o parâmetro de forma de 0,2101 para 0,0050 e, também os tempos de retorno dos eventos máximos. Acrescentando a série os máximos de 2022 e 2023, o tempo de retorno estimado da cota de 2611 cm com a distribuição Log-Normal (3P) é de 221,2 anos. Incluindo 2024 passa a ser de 75,09 anos. Isto reforça que a inclusão de novos máximos significativos na série altera as probabilidades estimadas anteriormente. Ressaltando a importância do monitoramento contínuo para se constituir séries históricas confiáveis.

Adotando o tempo de retorno de 75 anos para a maior cota da série estudada (2611cm), o risco de ocorrer pelo menos um evento igual ou superior nos próximos 25 ou 50 anos, $1-(1-1/T)^n$, é de 28,5 % e 48,9 %, respectivamente. Riscos hidrológicos não desprezíveis. Indicando que Muçum deverá se preparar para eventos dessa magnitude no futuro, reavaliar os riscos de falhas das estruturas hidráulicas já existentes e os critérios de projeto de novas estruturas.

Tabela 3 – Cotas associadas a diferentes tempos de retorno e IC (90 %)

TR (anos)		2	5	10	15	20	25	30	40	50	60	75	90	100
Cota (cm)	LI	1385	1783	1971	2058	2109	2145	2172	2215	2242	2264	2292	2313	2323
	Quantil	1529	1941	2156	2263	2333	2384	2425	2486	2532	2568	2611	2645	2664
	LS	1673	2094	2341	2472	2563	2634	2692	2784	2851	2909	2979	3032	3064

4. CONCLUSÃO

Até 06/2024, o nível máximo registrado na estação fluviométrica Muçum (86510000), em 2024, foi de 2600 cm (02/05/2024), este é o segundo maior valor da série analisada, o maior foi registrado em 05/09/2023, 2611cm. As cotas de 2023 e 2024 não foram consideradas *outliers*. A série de cotas máximas anuais foi considerada estacionária. As distribuições Gama, GLO (3P) e Log-Normal (3P) foram aceitas no teste de aderência. Os tempos de retorno da cota de 2611cm estimados com estas distribuições variam de 35 a 75 anos. A distribuição com menor variância residual é Log-Normal (3P) e por isso foi selecionada para representar o comportamento probabilístico das cotas máximas anuais no rio Taquari em Muçum. O risco de ocorrer pelo menos um evento hidrológico da magnitude observada em 2023 (TR de 75 anos), nos próximos 25 ou 50 anos, é de 28,5 % e 48,9 %, respectivamente. Este resultado reforça a necessidade de Muçum se preparar para tais ocorrências e reavaliar os riscos de falhas das estruturas hidráulicas já existentes, bem como os critérios de projeto de novas estruturas. A análise realizada mostrou a importância do monitoramento contínuo para se constituir séries históricas confiáveis, pois a inclusão de valores significativos na série altera as probabilidades estimadas anteriormente. Este é um estudo inicial. Na sequência serão realizadas análises com séries de duração parcial e regionalização para caracterizar o evento na bacia.

REFERÊNCIAS

- HOSKING, J. R. M.; WALLIS, J. R. **Regional frequency analysis: an approach based on L - moments**. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.
- MARCUZZO, F. F. Mapas e opções de divisão territorial do estado do Rio Grande do Sul por bacias hidrográficas. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 49., 2018, Rio de Janeiro. **Anais[...]**. Rio de Janeiro: SBG, 2018. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/19906>.
- MARCUZZO, F. F. N.; PINTO, E. J. de A. **Análise de frequência de cotas dos Sistemas de Alerta: Sistema de Alerta Bacia do Rio Taquari, rio Taquari, estação fluviométrica Muçum, código 86510000, município atendido Muçum, RS. Porto Alegre: SGB, 2022. Disponibilidade Hídrica do Brasil. Estudo de Regionalização nas Bacias Hidrográficas do Brasil. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/22943>. Acesso em: 29 jun. 2024.**
- MELATI, M. D.; MARCUZZO, F. F. N. Modelos digitais de elevação na delimitação automática das sub/bacias do rio Taquari/Antas no Rio Grande do Sul. *In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 17. (SBSR), 2015, Foz do Iguaçu, PR. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2015a. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/15126>. Acesso em: 16 jun. 2024.
- NAGHETTINI, M.; PINTO, É. J. de A. **Hidrologia estatística**. Belo Horizonte: SGB, 2007. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/454>. Acesso: 02 jun. 2024.
- PINTO, E. J. de A. **Atlas pluviométrico do Brasil: metodologia para definição das equações intensidade-duração-frequência do Projeto Atlas Pluviométrico**. Belo Horizonte: SGB, 2013. Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/11560> . Acesso: 02 jun. 2024.