

INUNDAÇÕES HISTÓRICAS DE 2023 NA BACIA DO RIO TAQUARI-ANTAS NO MUNICÍPIO DE MUÇUM / RS, E OS SEUS TEMPOS DE RETORNO

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

RESUMO – Para uma boa operação dos Sistemas de Alertas Hidrológicos (SAHs), como o Sistema de Alerta de Eventos Críticos (SACE) do Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM), é de suma importância o conhecimento das grandes inundações históricas das bacias atendidas. O objetivo deste trabalho é atualizar trabalhos anteriores de tempo de retorno de cheias no município de Muçum/RS, acrescentando dados de duas grandes cheias recentes, 09 e 11/2023, no rio Taquari. Pesquisou-se o ajuste das distribuições teóricas de probabilidade Gumbel, Log-Normal com dois parâmetros (2P) e Log-Normal com três parâmetros (3P) à série histórica das cotas máximas dupla leitura (7h00 e 17h00) de cada ano considerado, empregando o teste de aderência não paramétrico Kolmogorov-Smirnov, ao nível de 5 % de significância. A distribuição Log-Normal 3P, com momentos L, foi a escolhida. Para a maior cheia histórica em Muçum/RS, registrada em 05/09/2023, com 2.611 cm, foi de 221 anos, para uma série histórica de 37 anos, com a probabilidade desta cota ser alcançada ou superada, em um ano qualquer, de 0,45 %. Os tempos de retorno encontrados para as cotas de atenção (500 cm), alerta (900 cm) e de inundação (1.800 cm) do rio Taquari, nas réguas de Muçum (86510000), foram, respectivamente: 1,02, 1,11 e 3,77 anos.

Palavras-Chave – Bacia Taquari-Antas, Sistema de Alerta de Cheias, Análise de Frequência Local.

1. INTRODUÇÃO

Entende-se que, cotas de importância em rios sejam associados a Tempos de Retorno (TR), principalmente de grandes cheias, visando mensurar a magnitude dos eventos e um melhor entendimento da probabilidade futura das inundações voltarem a ocorrer em um ano qualquer.

O Sistema de Alerta de Eventos Críticos (SACE, <https://www.sgb.gov.br/sace/>), do Serviço Geológico do Brasil (SGB), na bacia do rio Taquari, considerando as informações disponíveis até 04/2023, há previsão de níveis para quatro municípios do Rio Grande do Sul (SILVA; MATOS, 2022): Muçum (que é foco deste estudo), Encantado, Estrela e Lajeado. Na publicação de Melati e Marcuzzo (2015a,b), observa-se que a área de drenagem da bacia do Taquari é de 26.372,8 km². Conforme as informações do SACE-SGB (<https://www.sgb.gov.br/sace/>), com o objetivo de prever níveis do rio Taquari que causem transtorno para a população das cidades de Muçum, Encantado, Lajeado e Estrela, o SGB iniciou o projeto de monitoramento e alerta hidrológico do rio Taquari em 2013. Visando a operação do SACE do rio Taquari, foi instalada uma rede de monitoramento hidrológico automático e telemétrico na bacia, que transmitem em tempo real dados de chuvas e níveis dos rios, que funciona em conjunto com sistema de recepção de dados e previsão de níveis, conseguindo uma antecipação dos valores de cotas para as cidades de Muçum e Encantado da ordem de 12 horas aproximadamente, e, para Estrela/Lajeado, de 8 horas de antecedência.

Por conseguinte, conforme o exposto, este estudo de análise de frequência local de cotas tem por finalidade apresentar e discutir os períodos de recorrência estimados para as cotas das duas maiores inundações históricas registradas (setembro e novembro de 2023), na bacia do rio Taquari, na localidade da estação fluviométrica Muçum (86510000), no município de Muçum / RS, com as informações disponíveis até o ano de 2023, atualizando a publicação de Marcuzzo e Pinto (2023).

¹ SGB - Serviço Geológico do Brasil - Rua Banco da Província, 105 - Santa Teresa - Porto Alegre/RS - CEP 90.840-030, Tel.: (51) 3406-7300. francisco.marcuzzo@sgb.gov.br.

² SGB - Serviço Geológico do Brasil - Avenida Brasil, 1731. Funcionários Belo Horizonte/MG - Brasil CEP 30140-002. Tel.: (31) 3878-0307. eber.andrade@sgb.gov.br.

2. MATERIAL E MÉTODOS

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

A estação fluviométrica Muçum (86510000), possui área de drenagem, aproximada, de 16.000 km² (Quadro 1). As Figuras/Mapas deste trabalho, além do material produzido, e/ou utilizado em sua execução, pode ser baixado pelos links do Quadro 2. Na Figura 1, além da hidrografia, mostra-se a altimetria da bacia do rio Taquari (Sub-bacia 86, MARCUZZO, 2017; 2018), a sua classificação climática, sua divisão territorial municipal e a localização das estações do SACE do SGB.

Quadro 1 – Cotas de atenção, alerta e inundação no SACE Taquari, além da área de drenagem e altitude da estação.

Código da Estação	Nome da Estação	Nome do Rio	Atenção ¹	Alerta ¹	Inundação ¹	Área de Drenagem ^{2,3}	Altitude ²
			----- cm -----			----- km ² -----	----- m -----
86510000	Muçum	Taquari	500	900	1.800	16.000 ² / 15.937 ³	240

¹Cotas do SACE-SGB (03/2024); ²Inventário da Agência Nacional de Águas de 18/02/2024; ³Estudo publicado por Guimarães, Finck e Marcuzzo (2017).

Quadro 2 – Material utilizado direta e/ou indiretamente como apoio, neste estudo, para baixar da internet.

Material	Endereços (“links”) para Baixar Utilizando o Navegador de Internet
Diagramas unifilares da bacia do rio Taquari	https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/18953 e https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/15128
Dados deste estudo, delimitação, altimetria e demais informações da bacia do rio Taquari	https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/17849 e https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/15126 https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/15060 e https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/15055
Artigo Tempo de Retorno Cheia de 07/2020	https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/24429 e https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/22943
Tutorial “Como Calcular o Tempo de Retorno”	https://rigeo.sgb.gov.br/jspui/handle/doc/24284 e https://www.youtube.com/watch?v=iZb2jj1Tl0I&t=4s

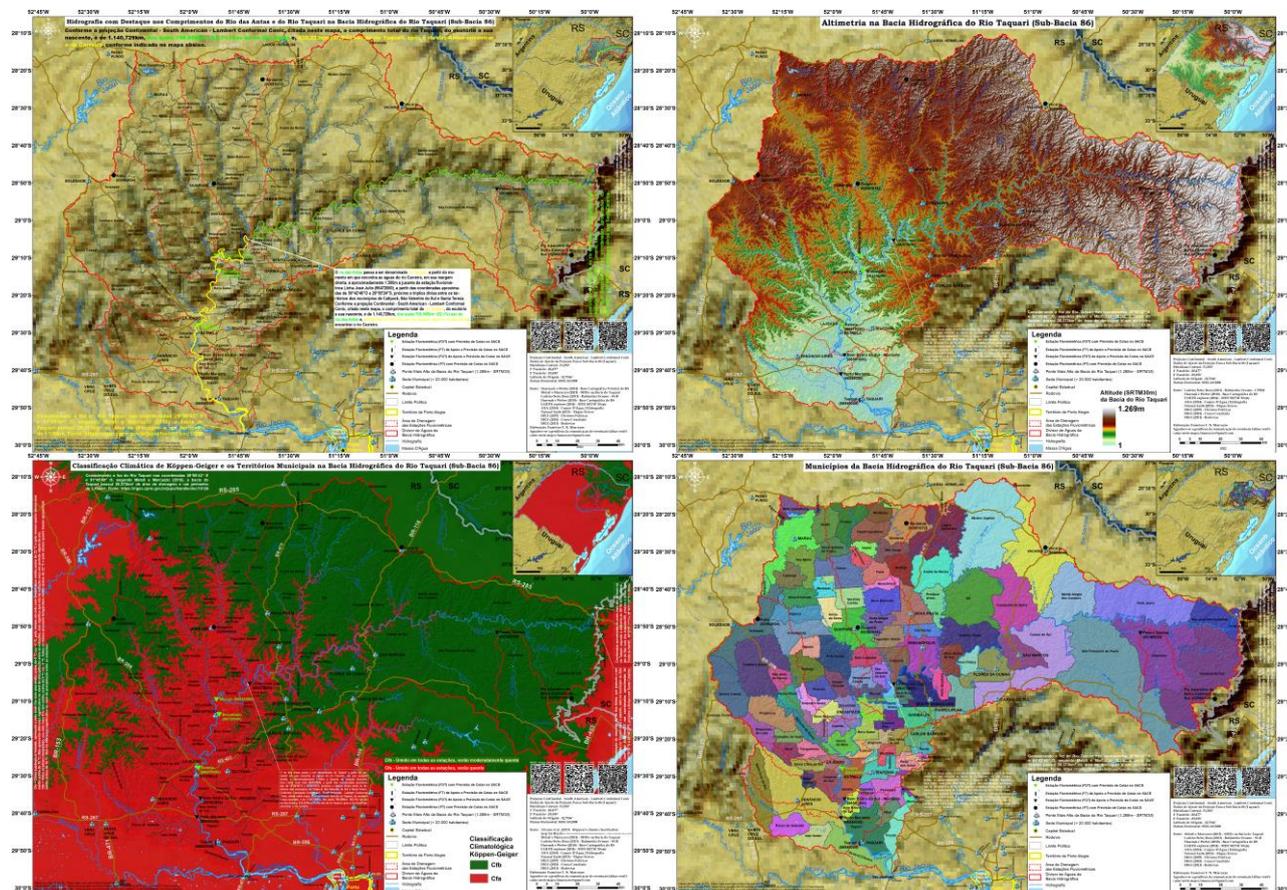


Figura 1 – Hidrografia básica, altimetria, classificação climática de Köppen-Geiger e área territorial dos municípios da bacia hidrográfica do rio Taquari-Antas, além da localização das estações do SACE Taquari em cada um destes mapas.

O rio Taquari passa a ter esse nome a partir do momento em que o rio das Antas encontra as águas do rio Carreiro, em sua margem direita, à aproximadamente 1,5 km a jusante da estação fluviométrica Linha José Júlio (86472000), a partir das coordenadas aproxima das de 50°42'48"O e 29°05'24"S, próximo a tríplice divisa entre os territórios dos municípios de Catiporã, São Valentim do Sul e Santa Tereza. O comprimento total do rio Taquari, do exutório a sua nascente, é de 1.140,73 km, dos quais 708,51 km (62,1 %) são do rio das Antas e, 432,22 km (37,9 %) são do rio Taquari, após o rio das Antas encontrar o rio Carreiro (Figura 1.d e Anexo IV de Marcuzzo e Pinto, 2022b). A hidrologia da bacia 8, sub-bacia 86 (rio Taquari), cálculos de subáreas, drenagens de estações e diagramas unifilares, são estudados em Melati e Marcuzzo (2015a,b), Marcuzzo e Melati (2015a,b), Kich *et al.* (2015), Guimarães *et al.* (2017) e Marcuzzo e Melati (2017).

A Figura 2, que mostram a distribuição espacial de precipitação média mensal, estudados por Marcuzzo e Melati (2015) e Melati e Marcuzzo (2016), onde se insere a bacia do rio Taquari, utilizando os dados de Pinto *et al.* (2011), conforme descrito em Marcuzzo e Pinto (2022; 2023).

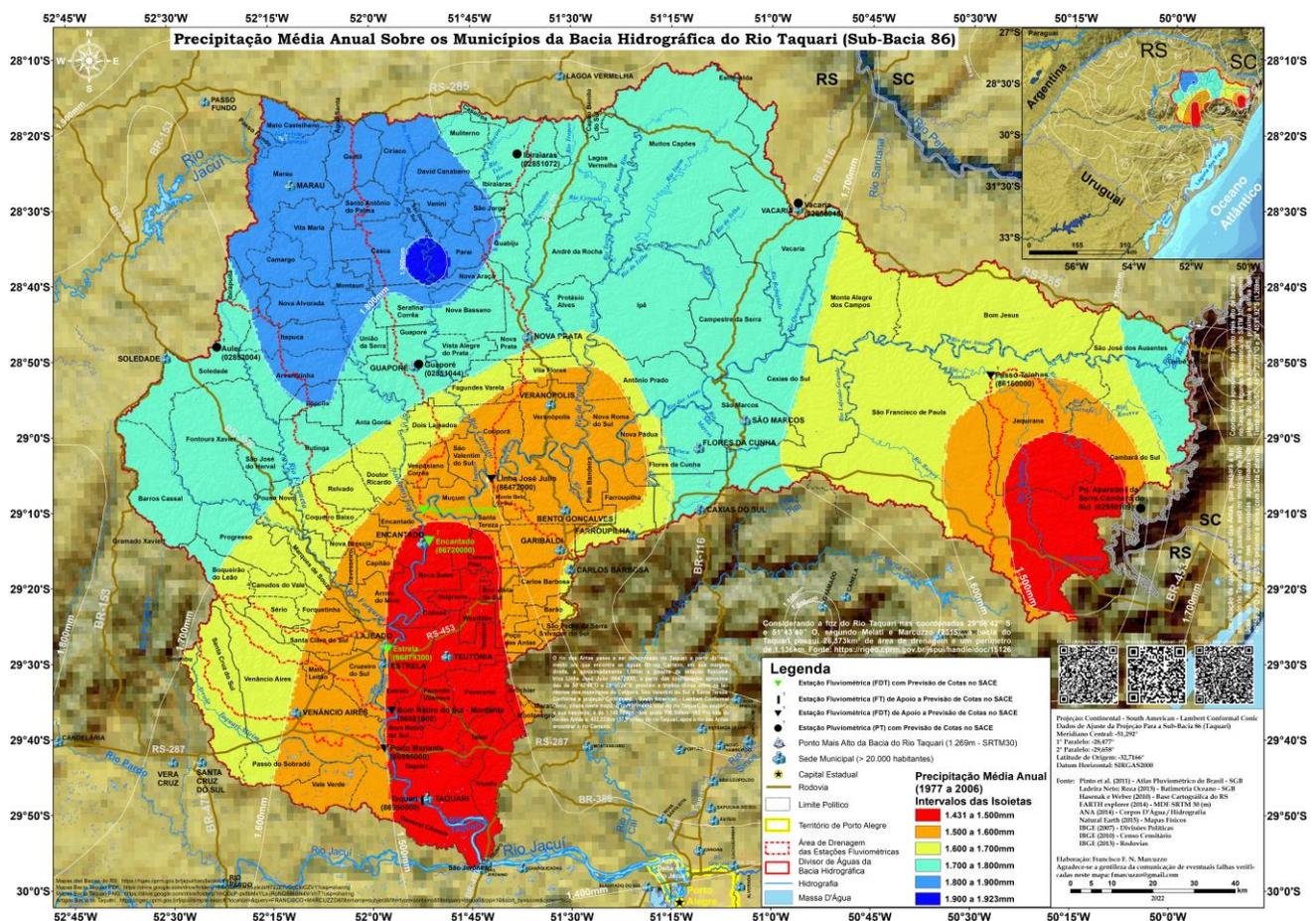


Figura 2 – Distribuição da precipitação média anual na bacia hidrográfica do rio Taquari-Antas (sub-bacia 86).

Operada pelo SGB de Porto Alegre/RS, a estação fluviométrica Muçum (86510000), está localizada nas coordenadas 29°10'02"S e 51°52'07"O, no rio Taquari, com 240 m de altitude, e possui uma área de drenagem de 16.000 km², resultando em 60,67 % da área total da bacia do rio Taquari, que segundo a publicação de Melati e Marcuzzo (2015a,b), é de 26.372,76 km². Segundo Guimarães, Finck e Marcuzzo (2017) a área de drenagem da estação Muçum é de 15.937 km² e situa-se na margem direita do rio Taquari, a jusante da estação Linha José Júlio (86472000) e a montante da estação Encantado (86720000), conforme os diagramas unifilares publicados por estes autores. A altimetria (hipsotmetria) e a classificação climatológica Köppen-Geiger, a montante da estação Muçum (sua área de drenagem), pode ser visualizada na Figura 3 e baixados do Quadro 2.

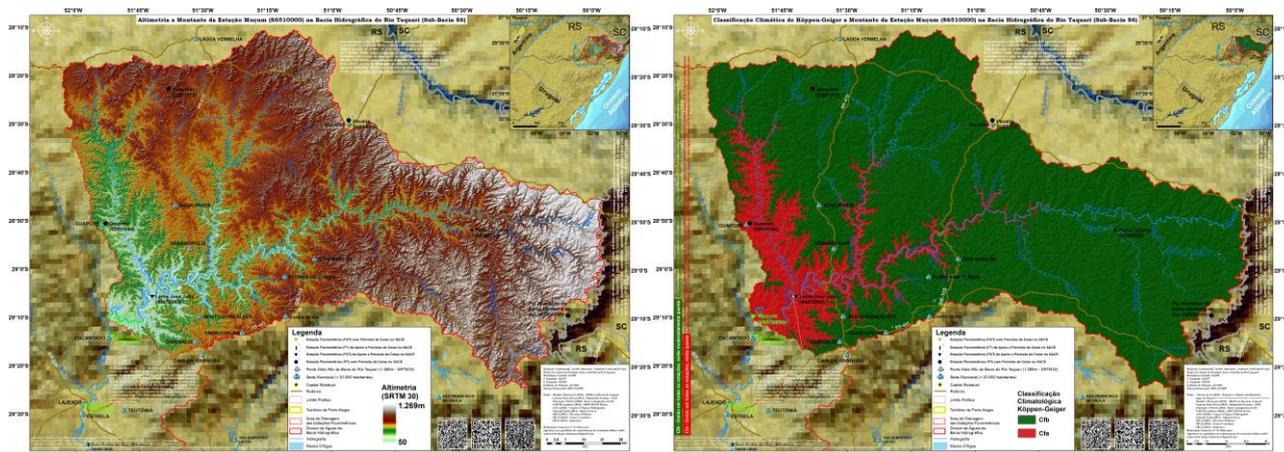


Figura 3 – Altimetria e classificação climatológica Köppen Geiger da drenagem da estação Muçum (86510000).

Conforme se observa na Tabela 1 e nas Figuras 4 e 5, dos 35 valores registrados de cotas máximas Dupla Leitura (DL), por ano hidrológico, que no caso desta estação fluviométrica foi considerado o mesmo período que o ano civil, devido à não ser possível estabelecer um início e fim do ano hidrológico, conforme publicações de Kich *et al.* (2015). Os dados foram recuperados conforme Naitzel, Goldenfum e Marcuzzo (2020) e utilizados após consistência. Em nenhum ano, ou seja, zero por cento em relação ao total de observações, possuem cotas máximas anuais menores que a cota de atenção (500 cm), e, 29 registros, ou seja, 82,9 %, são superiores a cota de alerta (Tabela 1).

Tabela 1 – Número e percentual de anos com cotas menores e maiores que a cota de atenção, e maiores que as cotas de alerta e inundação no rio Taquari na localidade da estação fluviométrica Muçum (86510000).

Número Total de Anos com Dados Dupla Leitura	37	% em Relação ao Total
Nº de Anos com Cotas Maiores que Inundação (1.800 cm)	11	29,7 %
Nº de Anos com Cotas Maiores que Alerta (900 cm)	31	83,8 %
Nº de Anos com Cotas Maiores que Atenção (500 cm)	37	100,0 %
Nº de Anos com Cotas Menores que Atenção (500 cm)	0	0,0 %

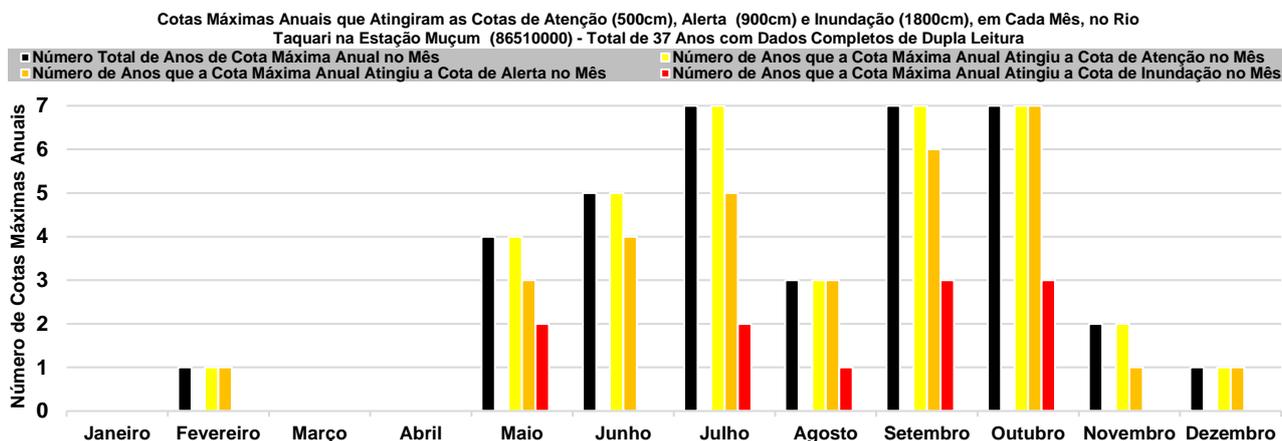


Figura 4 – Cotas máximas anuais que atingiram as cotas de atenção, alerta e inundação, em cada mês.

A maior cota histórica registrada na estação fluviométrica Muçum (86510000) foi 26,108 m (Figuras 5 e 6), 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 26,11

m de 05/09/2023 aconteceu a segunda maior cheia histórica registrada na cidade. A terceira maior cota histórica com registro havia sido em 08/07/2020, quando o nível do rio Taquari, nas réguas do município de Muçum/RS, chegou a 22,02 m (cota oriunda de nivelamento de cheia, feita por hidrotécnicos do SGB-CPRM, em 31/08/2020, durante a pandemia do vírus SARS-CoV-2).

A Figura 6 apresenta o Levantamento da Seção Transversal (LST) na seção de réguas da estação, executado em 23/03/2023, também apresenta graficamente as cotas de atenção (500 cm), alerta (900 cm) e inundação (1.800 cm) para a cidade de Muçum/RS, bem como, a maior e menor cota observada e a maior e a menor cota com Medição de Descarga Líquida (MDL), o h_0 estimado pela curva-chave, como melhor detalhado em descrito em Marcuzzo e Pinto (2022; 2023).

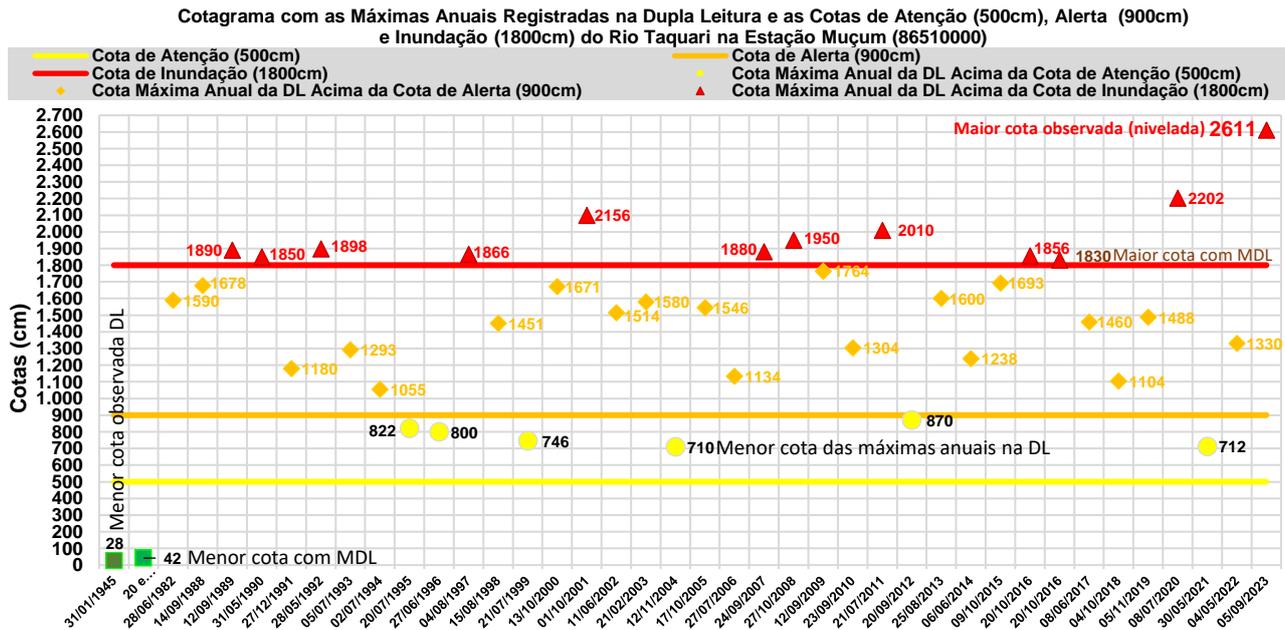


Figura 5 – Cotas máximas anuais registradas nos boletins dupla leitura, e as linhas representando as cotas de interesse.

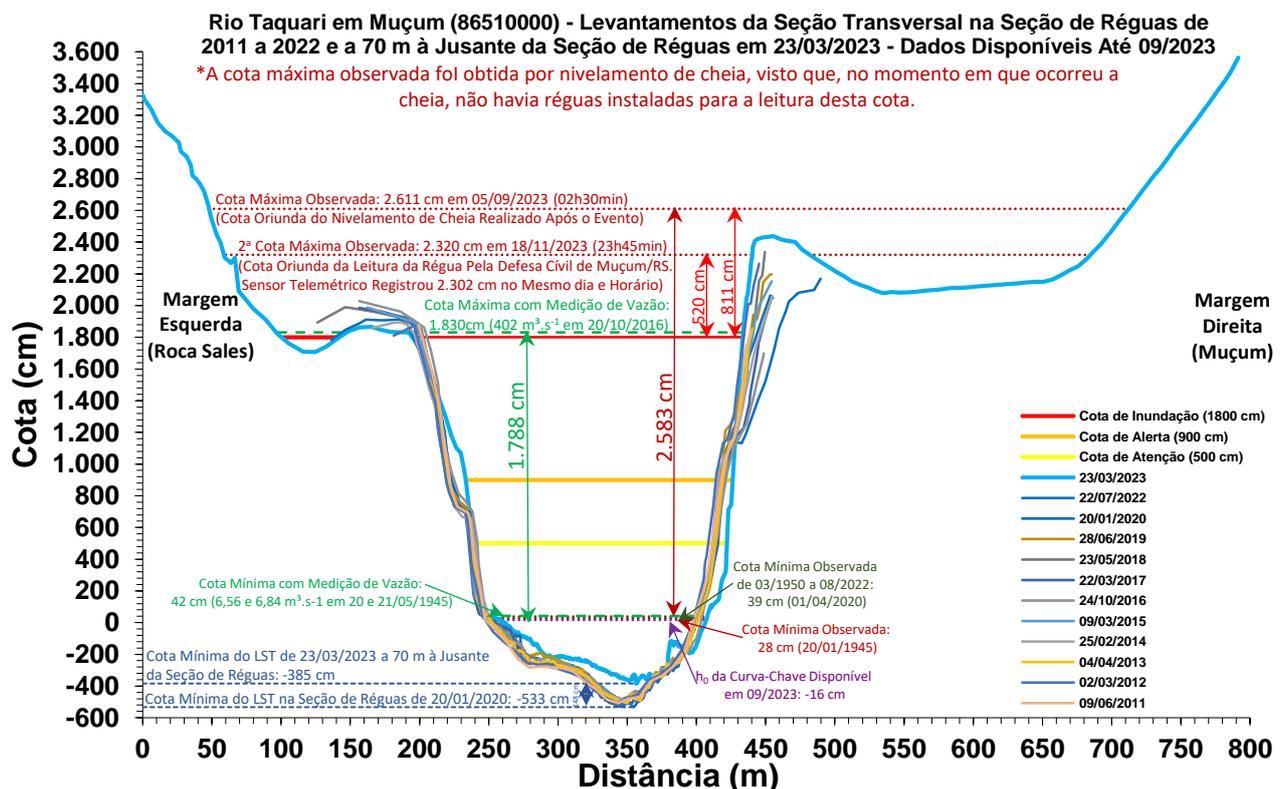


Figura 6 – Levantamento da Seção Transversal na seção de réguas da estação fluviométrica Muçum (86510000).

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:

- I. Avaliar a consistência dos dados e organizar a série de cotas máximas por ano hidrológico.
- II. Verificar a presença de valores atípicos (*outliers*) com o critério baseado na amplitude interquartil, AIQ e com o teste de Grubbs e Beck (NAGHETTINI; PINTO, 2007, p. 39 e 287).
- III. 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).
- IV. Estimar a distribuição empírica calculando a posição de plotagem pela fórmula de Weibull, ou seja, no caso de séries de máximos por ano hidrológico temos $P(P>p)=m/(N+1)$, onde m é número de ordem e N o tamanho de amostra.
- V. Definir as distribuições teóricas de probabilidades candidatas a modelagem das cotas máximas por ano hidrológico. As distribuições candidatas são a de Gumbel, Log-Normal (2P) e (3P).
- VI. Calcular os parâmetros das distribuições teóricas de probabilidades candidatas pelo método dos momentos-L (HOSKING; WALLIS, 1997).
- VII. 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 curva da distribuição empírica é verificada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov a 5% de significância.
- VIII. Estimar os quantis associados a diferentes tempos de retorno.

A inversa da distribuição de Gumbel é calculada por:

$$x_T = \beta - \alpha \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (1)$$

Em que: T é o tempo de retorno (anos); x_T é o quantil associado a tempo de retorno, T ; β é o parâmetro de posição; α é o parâmetro de escala.

A inversa da distribuição Log-Normal com dois parâmetros (2P) é calculada da seguinte forma:

$$x_T = \text{EXP}(\mu + \sigma \cdot Z_{(1-1/T)}) \quad (2)$$

Em que: T é o tempo de retorno (anos); x_T é o quantil associado a tempo de retorno, T ; $Z_{(1-1/T)}$ é o valor da variável normal padrão associada a probabilidade $(1 - 1/T)$. Pode ser obtida em tabelas ou empregando métodos numéricos para inverter $\Phi(x)$ apresentada nos Anexos de Marcuzzo e Pinto (2022a,b,c); μ é o parâmetro de posição; σ é o parâmetro de escala.

Quando o parâmetro de forma é diferente de zero, $k \neq 0$, os quantis da Log-Normal com três parâmetros (3P) podem ser calculados pela equação:

$$x(T) = \xi + \frac{\alpha(1-e^{-kZ})}{k} \quad (3)$$

Em que: T é o tempo de retorno (anos); ξ é o parâmetro de posição; α é o parâmetro de escala; k é o parâmetro de forma; Z é variável normal central reduzida associada a probabilidade $(1 - 1/T)$.

Os critérios, além de um melhor detalhamento dos modelos Gumbel, Log-Normal 2P e 3P, e da metodologia de cálculo adotada na análise de frequência de máximas utilizada neste estudo, podem ser analisados em Naghettini e Pinto (2007), Pinto (2013) e Marcuzzo e Pinto (2022a,b,c,d; 2023).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este trabalho de análise de frequência local das cotas máximas anuais do rio Taquari, na localidade da estação fluviométrica Muçum (86510000), trata-se de uma atualização dos trabalhos publicados por Marcuzzo e Pinto (2022b; 2023), devido aos eventos máximos extremos que ocorreram na bacia hidrográfica do Taquari-Antas em setembro e novembro de 2023. Utilizou-se a série de cotas máximas anuais dupla leitura por ano civil (01/Jan a 31/Dez), já aceito que não há demarcação de início e fim do ano hidrológico na bacia, conforme publicado por Kich *et al.* (2015).

Dentro as três distribuições de frequência candidatas, Gumbel, Log-Normal 2P e Log-Normal 3P, a distribuição Log-Normal 3P (equação 3) foi selecionada por oferecer menor desvio padrão dos resíduos entre a distribuição empírica e a teórica. Verificou-se um limite superior no modelo Log-Normal 3P, que ficou em 7.542 cm. No detalhamento da equação 3, observa-se que o fator de forma (k) foi de 0,0768 (Figura 7), ou seja, positivo, o que resulta em um limite superior para este modelo. Se o fator de forma fosse negativo não haveria um limite superior. A Figura 7 apresenta o gráfico com as distribuições empírica e teórica ajustadas e o intervalo de confiança de 95 % estimado para quantis por simulação de Monte Carlo (SILVA *et al.*, 2011). A Tabela 2 apresenta as cotas, para diferentes tempos de retorno pré-estabelecidos e a estatística básica dos dados. A Tabela 3 apresenta o TR das maiores cheias registradas no município, e a probabilidade de as mesmas serem igualadas ou superadas. A equação 3 é válida para tempos de retorno de 1,01 até 100 anos (Tabela 2).

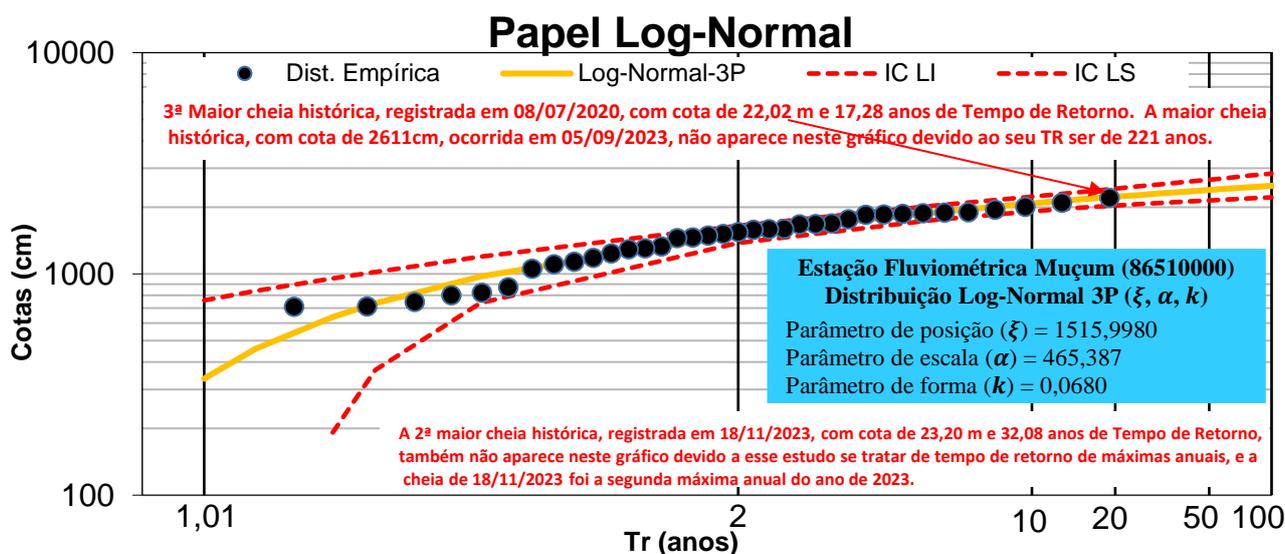


Figura 7 – Ajuste das distribuições empírica e teórica Log-Normal, com o intervalo de confiança (IC) Monte Carlo.

Tabela 2 – Cotas para diferentes tempos de retorno, em anos (de 2 a 100 anos) e resumo estatístico dos dados utilizados.

Estação Muçum (86510000)	Tempo de Retorno, T (anos)												
	2	5	10	15	20	25	30	40	50	60	75	90	100
	Cotas (cm)												
	1.516	1.897	2.087	2.180	2.240	2.284	2.318	2.370	2.408	2.438	2.473	2.501	2.517
Resumo Estatístico da Série de Dados Utilizados													
Média	Desv.Padrão	Mínimo	Máximo	Amplitude	Assimetria	Mediana	1º Quartil	3º Quartil	AIQ				
----- cm -----										----- cm -----			
1.500,1	459,1	710,0	2611,0	1.901,0	0,0000	1.546	1.180	1.856	676				

Tabela 3 – Cotas de atenção, alerta e inundação de Muçum (86510000) no SACE Taquari, além das respectivas maiores cheias registradas, tempos de retorno e as probabilidades destas cotas serem igualadas ou superadas.

Nome e Código da Estação	Número de Anos de Dados de Cota Dupla Leitura Disponíveis ¹	Denominação da Cota de Interesse	Cota Disponível em 03/2024 (cm)	Tempo de Retorno da Cota (anos)	Probabilidade da Cota Ser Igualada ou Superada em um Ano Qualquer
Muçum (86510000)	37	Atenção	500	1,02	98,04 %
		Alerta	900	1,11	90,09 %
		Inundação	1.800	3,75	26,67 %
		Maior Cheia Histórica Registrada em 05/09/2023	2.611	194,17	0,52 %
		2ª Maior Cheia Histórica Registrada em 18/11/2023	2.320	30,31	3,30 %
		3ª Maior Cheia Histórica Registrada em 08/07/2020	2.202	16,64	6,01 %
		4ª Maior Cheia Histórica Registrada em 01/10/2001	2.156	13,45	7,43 %
		Maior Cota com Medição de Descarga Líquida foi Executada em 20/10/2016 (402 m³.s⁻¹)	1.830	4,08	24,51

Na Tabela 3 averigua-se que as diferenças de tempo de retorno para as cotas de atenção, alerta e inundação são, respectivamente, 1,02, 1,11 e 3,75 anos. Estes números mostram uma frequência (Tabela 1 e Figura 4) elevada de momentos em que o município de Muçum é acometido por alertas de inundações. O tempo de retorno da cheia histórica da bacia do Taquari-Antas, de setembro de 2023, que atingiu a cota de 26,11 m, considerando os 37 anos de dados DL de cotas usadas neste modelo, resultou em 194,17 anos para este evento. A probabilidade da cota deste evento (26,11 m) ser igualada ou superada, em um ano qualquer, é de 0,52 %. Um levantamento inicial sobre as áreas atingidas, nos municípios da calha principal da bacia do Taquari-Antas, pode ser obtido em Goldenfum *et al.* (2023) e em Laipelt *et al.* (2023). Um estudo das vazões decamilenares nas usinas hidrelétricas nos trechos médio e baixo do rio das Antas pode ser obtido em Da Hora (2023). Adverte-se que, para uma mesma localidade, os TRs são diferentes quando calculados com cotas ou vazões máximas (estimadas por curva-chave para as mesmas cotas), conforme Marcuzzo e Pinto (2022c,d).

4. CONCLUSÃO

O ajuste das distribuições teóricas de probabilidade Gumbel, Log-Normal 2P e 3P foi feita à série histórica de 37 anos das cotas máximas dupla leitura, todas consistidas, empregando o teste de aderência não paramétrico Kolmogorov-Smirnov, ao nível de 5 % de significância. Nenhum dado foi reprovado no teste de limite inferior de Grubbs e Beck e a série é independente e estacionária. A distribuição Log-Normal 3P com momentos L foi a escolhida por apresentar os menores resíduos entre a distribuição teórica e empírica no rio Taquari na localidade da estação Muçum (86510000).

Os tempos de retorno das cotas de atenção, alerta e inundação, e as probabilidades de serem igualadas ou superadas, em um ano qualquer, em Muçum (86510000), foram, respectivamente: 1,02 anos e 98,04 %; 1,11 anos e 90,09 %; 3,77 anos e 26,53 %. Para a maior cheia registrada em Muçum/RS, 2,611 cm, ocorrida as 2h30min de 05/09/2023, o tempo de retorno foi de 221,24 anos, o que resultou numa probabilidade desta cota ser alcançada ou superada, em um ano qualquer, de 0,45 %. Já para a maior cota com medição de descarga líquida medida no campo (1.830 cm, com 402 m³.s⁻¹, em 20/10/2016), em Muçum/RS, o tempo de retorno foi de 4,11 anos, o que resultou numa probabilidade desta cota ser alcançada ou superada, em um ano qualquer, de 24,33 %.

REFERÊNCIAS

- DA HORA, M. de A. G. M.; DA HORA, A. F. Avaliação das vazões decamilenares nas usinas hidrelétricas e nos trechos médio e baixo do Rio das Antas/RS. **DELOS: Desarrollo Local Sostenible**, [S. l.], v. 16, n. 49, p. 3647–3662, 2023. DOI: 10.55905/rdelosv16.n49-009. Disponível em: <https://ojs.revistadelos.com/ojs/index.php/delos/article/view/1125>. Acesso em: 27 fev. 2024.
- GOLDENFUM, J. A.; RUHOFF, A.; FAN, F. M.; PAIVA, R.; COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F.; MEIRELLES, F.; MICHEL, G. P.; KOBIYAMA, M. Nota sobre a cheia ocorrida nos dias 4 e 5 de setembro na Bacia do Rio Taquari-Antas. Porto Alegre: UFRGS-IPH, 2023. Disponível em: <https://www.assufrgs.org.br/wp-content/uploads/2023/09/Nota-sobre-a-cheia-ocorrida-nos-dias-4-e-5-de-setembro-na-Bacia-do-rio-Taquari-v2.pdf>. Acesso em: 29 fev. 2024.
- GUIMARÃES, G. M.; FINCK, J. S.; MARCUZZO, F. F. N. Construção de diagramas unifilares da rede hidrometeorológica nacional e de aproveitamentos hidrelétricos das sub-bacias 85 a 88, na bacia hidrográfica do Atlântico – trecho sudeste. **Geographia Meridionalis** - Revista Eletrônica do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, v. 3, n. 3. p. 276–300, jul-dez. 2017. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/18953>. 22jun2022.
- HOSKING, J. R. M.; WALLIS, J. R. **Regional frequency analysis: an approach based on L - moments**. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.
- KICH, E. M.; MELATI, M. D.; MARCUZZO, F. F. N. Estudo do regime hídrico pluvial e fluvial na sub-bacia 86 visando a determinação do seu ano hidrológico. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE

RECURSOS HÍDRICOS, 21., 2015, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: ABRH, 2015. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/15060>. Acesso em: 13 nov. 2015.

LAIPELT, L.; PAIVA, R.; FAN, E.; RUOFF, A.; COLLISCHONN, W.; COLARES, J. G.; MORAES, S. R.; ECKARDT, R. Mancha de inundação ocasionada pela cheia do Rio Taquari-Antas (Set2023) via simulação hidrodinâmica: nota técnica. Porto Alegre: UFRGS-IPH; Univates, 2023. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/hge/wp-content/uploads/2023/12/Nota-Tecnica-Simulacao-da-mancha-de-inundacao-Rio-Taquari-Antas2.pdf>. Acesso em: 29 fev. 2024.

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. **Como saber o Tempo de Retorno de cheias do Sistema de Alerta de Eventos Críticos (SACE) nas bacias dos rios Caí, Taquari e Uruguai?** Tutorial em pdf. Porto Alegre: CPRM, 2023. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/24284>. 27 mar. 2024.

MARCUZZO, F. F. N.; MELATI, M. D. Mapeamento fisiográfico básico das sub-bacias pertencentes à bacia hidrográfica do Atlântico no Trecho Sudeste. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 18., Santos, SP, 2017. **Anais[...]**. Santos, SP: INPE, 2017a. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/17849>. Acesso em: 29 mai. 2023.

MARCUZZO, F. F. N.; MELATI, M. D. Precipitação pluviométrica mensal nas sub-bacias que integram à Bacia do Atlântico - Trecho Sudeste. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 21., 2015b, Brasília, DF. **Anais[...]**. Brasília, DF: ABRH, 2015. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/15055>. Acesso em: 13 mar. 2023.

MARCUZZO, F. F. N.; PINTO, E. J. de A. A grande cheia de 2020 em Muçum, RS e o tempo de retorno das suas cotas de atenção, alerta e inundação no SACE. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 15., 2023, Aracaju. **Anais[...]**. Aracaju: ABRH, 2023. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/24429>. Acesso em: 26 mar. 2024.

MARCUZZO, F. F. N.; PINTO, E. J. de A. **Análise de frequência de cotas dos Sistemas de Alerta:** Sistema de Alerta Bacia do Rio Uruguai; rio Uruguai, estação fluviométrica Uruguaiana, código 77150000, município atendido Uruguaiana, RS. Porto Alegre: SGB, 2022c. Programa Gestão de Risco e Resposta a Desastres. Ação Levantamentos, Estudos, Previsão e Alerta de Eventos Hidrológicos. Estudos de Regionalização nas Bacias Hidrográficas Brasileiras. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/22872>. Acesso em: 22 mar. 2023.

MARCUZZO, F. F. N.; PINTO, E. J. de A. **Análise de frequência de vazões dos Sistemas de Alerta:** Sistema de Alerta Bacia do Rio Uruguai; rio Uruguai, estação fluviométrica Uruguaiana, código 77150000, município atendido Uruguaiana, RS. Porto Alegre: SGB, 2022d. Programa Gestão de Risco e Resposta a Desastres. Ação Levantamentos, Estudos, Previsão e Alerta de Eventos Hidrológicos. Estudos de Regionalização nas Bacias Hidrográficas Brasileiras. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/22872>. Acesso em: 22 mar. 2023.

MARCUZZO, F. F. N.; PINTO, E. J. de A. Tempo de retorno das cotas de grandes cheias e de atenção, alerta e inundação do SAH na Bacia do Ibicuí. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 16; SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA, 15., 2022a, Caruaru, PE. **Anais [...]**. Caruaru: ABRHidro, 2022. Dispo-

MARCUZZO, F. F. N.; PINTO, E. J. de A. Tempo de retorno das cotas de grandes cheias e de atenção, alerta e inundação no talvegue do rio Uruguai. In: ENCONTRO NACIONAL DE DESASTRES, 3., Niterói, RJ, 2023. **Anais [...]** Niterói, RJ: ABRH, 2023. Tema: Eventos Extremos e Sociedade sob a Perspectiva das Mudanças Climáticas. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/23692>. Acesso em: 22 mar. 2023.

MARCUZZO, F. F. N.; PINTO, E. J. de A. Tempo de retorno das vazões de grandes cheias e de atenção, alerta e inundação do SACE em Uruguaiana, RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE

- RECURSOS HÍDRICOS, 15., 2023, Aracaju. **Anais[...]**. Aracaju: ABRH, 2023. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/24430>. Acesso em: 26 mar. 2024.
- MARCUZZO, F. F. N.; PINTO, E. J. de A. Tempo de retorno de cotas de grandes cheias e do sistema de alerta hidrológico em São Sebastião do Caí, RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 15., 2023, Aracaju. **Anais[...]**. Aracaju: ABRH, 2023. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/24428>. Acesso em: 27 mar. 2024.
- MARCUZZO, F. F. N. Bacias hidrográficas e regiões hidrográficas do Brasil: cálculo de áreas, diferenças e considerações. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 22., 2017, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ABRH, 2017. Disponível em: <http://rigeo.sgb.gov.br/jspui/handle/doc/18492>.
- 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, 2022b. 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 mar. 2023.
- MELATI, M. D.; MARCUZZO, F. F. N. Efeito da altitude na chuva média anual nas sub-bacias pertencentes à Bacia do Atlântico – trecho sudeste. In: SIMPÓSIO DOS RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 13., 2016a, Aracaju. **Anais...** Aracaju: ABRH, 2016. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/17182>. Acesso em: 28 out. 2022
- 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., 25-29 abr. 2015a, João Pessoa. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2015. v. 1. p. 360-367. Disponível: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/15126>. 25 set.2022.
- MELATI, M. D.; MARCUZZO, F. F. N. Regionalização da Q7,10 na Bacia do Taquari-Antas (RS) usando regressão simples e robusta: o problema da variável explicativa precipitação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 21., 2015b, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: ABRH, 2015. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/15059>. Acesso em: 01 nov. 2022.
- 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 set. 2022.
- NAITZEL, L. T.; GOLDENFUM, J. A.; MARCUZZO, F. F. N. Recuperação de dados históricos da rede de referência e dos sistemas de alerta do rio Caí, Taquari e Uruguai. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 15., 2020, [Brasil]. **Anais[...]**. [Brasil]: ABRH, 2020. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/21807>. Acesso em: 13 jun. 2022.
- 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.
- PINTO, E. J. de A.; AZAMBUJA, A. M. S. de; FARIAS, J. A. M.; SALGUEIRO, J. P. de B.; PICKBRENNER, K. (Coords.). **Atlas pluviométrico do Brasil: isoietas mensais, isoietas trimestrais, isoietas anuais, meses mais secos, meses mais chuvosos, trimestres mais secos, trimestres mais chuvosos**. Brasília: SGB, 2011. 1 DVD. Escala 1.5:000.000. SIG, v. 2.0 - atualizada a 11/2011; Levantamento da Geodiversidade. Disponível em: <http://www.sgb.gov.br/publique/Hidrologia/Estudos-Hidrologicos-e-Hidrogeologicos/Atlas-Pluviometrico-do-Brasil-6604.html>.
- SILVA, A. T.; NAGHETTINI, M.; PORTELA, M. M. Sobre a estimação de intervalos de confiança para os quantis de variáveis aleatórias hidrológicas. **Revista Recursos Hídricos**, Vol. 32, Nº 2, 63-76, Novembro de 2011. © APRH, ISSN 0870-1741 | DOI 10.5894/rh32n2-6.
- SILVA, E. D.; MATOS, A. J. S. **Operação do sistema de alerta hidrológico da bacia do rio Taquari 2022**. Porto Alegre: Serviço Geológico do Brasil - SGB, 2022. Programa Gestão de Riscos e de Desastres. Ação levantamentos, estudos, previsão e alerta de eventos hidrológicos crítico.