

## TEMPO DE RETORNO DAS VAZÕES DE GRANDES CHEIAS E DE ATENÇÃO, ALERTA E INUNDAÇÃO DO SACE EM URUGUAIANA / RS

Francisco F. N. Marcuzzo<sup>1</sup>; Eber J. de Andrade Pinto<sup>2</sup>

**RESUMO** – Na análise dos dados passados, operação e previsibilidade de acontecimentos de eventos futuros, é importante que vazões e cotas de interesse em rios com Sistemas de Alerta Hidrológicos (SAH) estejam associados a períodos de recorrência do evento estudado. O objetivo deste trabalho foi calcular e apresentar os períodos de retorno estimados para as vazões associadas as cotas das maiores cheias registradas, e para às vazões associadas as cotas de atenção, alerta e de inundação do rio Uruguai na estação de Uruguaiana (77150000). Estudou-se o ajuste das distribuições teóricas de probabilidade Log-Normal e Gumbel à série histórica das vazões associadas as cotas máximas dupla leitura (7h00 e 17h00), empregando o teste de aderência não paramétrico Kolmogorov-Smirnov, ao nível de 5% de significância. A distribuição Log-Normal com momentos L foi a escolhida. Os tempos de retorno encontrados para as vazões associadas as cotas de atenção (650 cm), alerta (750 cm) e de inundação (850 cm) do rio Uruguai, no posto de Uruguaiana (77150000), ficaram no intervalo de 1 a 1,3 anos. Para a maior cheia registrada em Uruguaiana, o tempo de retorno para a vazão associada a maior cota histórica observada (1.358 cm, em 19/07/1983),  $30.786 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , calculada pela curva-chave disponível, foi 28,6 anos. Já para a maior vazão medida no campo ( $31.025 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , em 20/07/1983), com uma cota de 1.354 cm em Uruguaiana, o tempo de retorno foi de 30,19 anos.

**Palavras-Chave** – Sistema de Alerta de Eventos Críticos, Rio Uruguai, Análise de Frequência.

### 1. INTRODUÇÃO

Com a operação e monitoramento de um Sistema de Alerta Hidrológico (SAH) de previsibilidade de enchentes e inundações é necessário definir cotas, nos locais de interesse, em que começam a ocorrer a inundação e, por meio desta e outros estudos, as cotas de atenção e alerta, correspondentes aos níveis do rio em que as autoridades, como a Defesa Civil, começam a tomar as necessárias providências, para se evitar ou minimizar os danos. Na tentativa de previsibilidade de episódios futuros de inundação, é importante que cotas de importância em rios com SAH estejam associados a Tempos de Retorno (TR), seja da própria cota ou de vazões associadas a essas cotas utilizando-se curvas-chave.

O Sistema de Alerta de Eventos Críticos (SACE, <https://www.sgb.gov.br/sace/>) da bacia do rio Uruguai entrou em operação em 12/2018 e, considerando as informações disponíveis em 04/2023, há previsão de níveis para seis municípios: Uruguaiana (que é foco deste estudo), Itaqui e São Borja (localizados na calha principal do rio Uruguai), Alegrete (rio Ibirapuitã), Manoel Viana (rio Ibicuí), e Rosário do Sul (rio Santa Maria), estes últimos três localizados na sub-bacia 76, do rio Ibicuí.

Usando-se os dados do Alerta de Eventos Críticos da Bacia do Uruguai, destacam-se os trabalhos de Müller *et al.* (2019), que estudou o efeito da discretização na calibração do MGB-IPH para a bacia do rio Uruguai e, Guimarães *et al.* (2018), que estudou com que antecedência se consegue prever cheias na bacia, e o de um estudo local do Serviço Geológico do Brasil, que utilizou os Levantamentos de Seção Transversal (LST) das estações do SACE Uruguai, Buffon, Rolim e Marcuzzo (2019) concluíram que o uso de dados observados em estações fluviométricas,

<sup>1</sup>) 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.

<sup>2</sup>) 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.

especificamente referente aos parâmetros hidráulicos da largura do rio e sua profundidade média, podem afetar significativamente os resultados da modelagem de previsão de vazão na bacia, apresentando efeitos maiores em seus rios de baixa declividade em regiões com grandes planícies de inundação, e efeitos menores em rios de maior declividade em regiões montanhosas.

Portanto, este estudo tem o objetivo de apresentar e discutir os períodos de retorno estimados para as vazões associadas as maiores cotas de cheias registradas, e, também, as vazões associadas às cotas de atenção, alerta e de inundação do rio Uruguai, na localidade da estação fluviométrica Uruguiana (77150000), considerando as informações disponíveis até junho de 2022.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Caracterização geral da região de estudo

Na Figura 1 observa-se a localização das estações Uruguiana (77150000), Itaqui (75900000) e Passo São Borja (75780000), que estão no talvegue do rio Uruguai e as estações Alegrete (76750000), Rosário do Sul (76310000) e Manoel Viana (76560000), na sub-bacia 76 (rio Ibicuí), a maior em área de drenagem, das sub-bacias formadoras da bacia do rio Uruguai (7) em território brasileiro (MARCUSO, 2017a,b). Fazem parte do Sistema de Alerta de Eventos Críticos (SACE) do Serviço Geológico do Brasil (SGB).

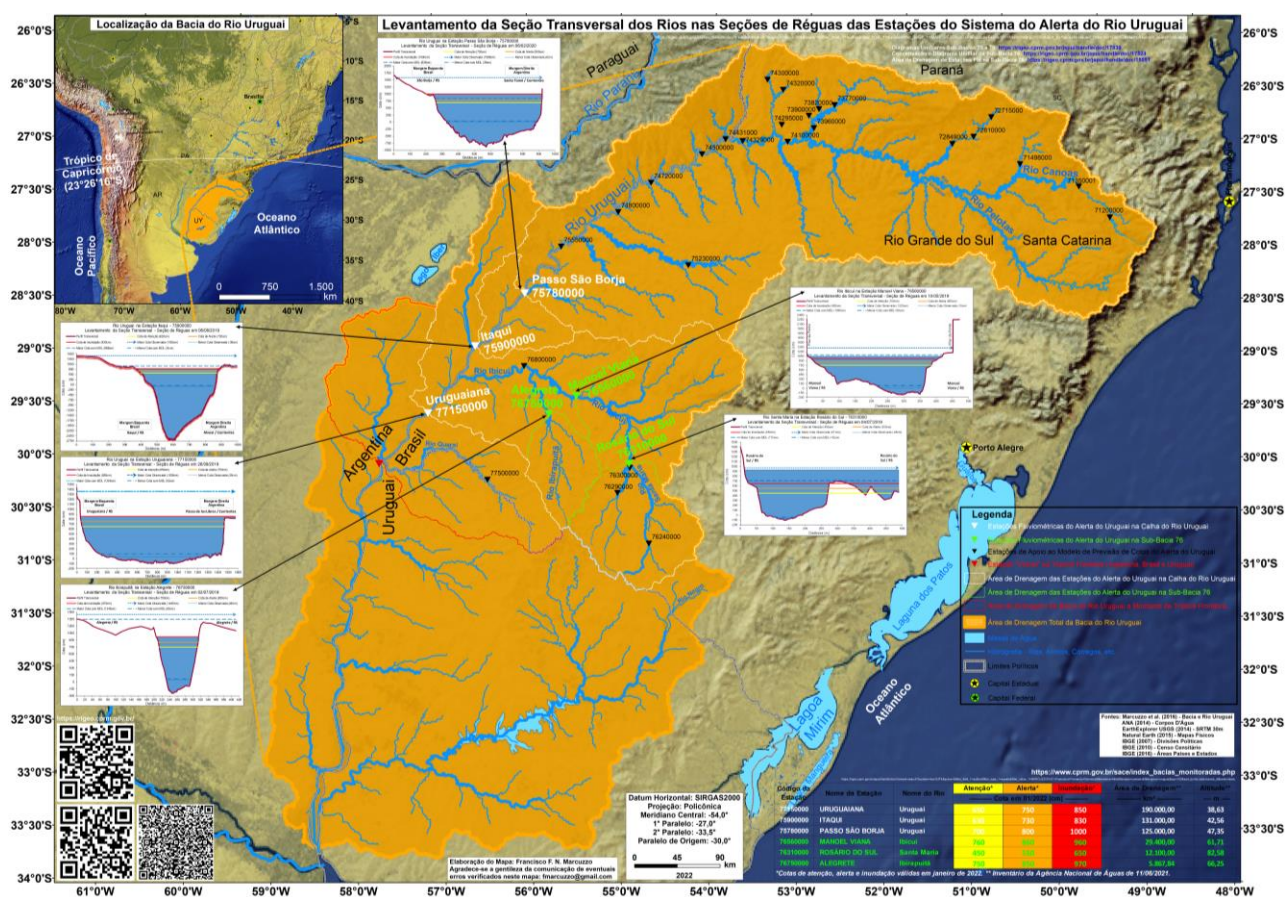


Figura 1 – Bacia do rio Uruguai (7), com sua sub-bacia do rio Ibicuí (76) e a localização das estações do SACE Uruguai no território brasileiro com os respectivos Levantamentos de Seção Transversal nas seções de régua.

A confluência dos rios Pelotas (sub-bacia 70) e Canoas (sub-bacia 71) formam o rio Uruguai. A confluência dos rios Santa Maria e Ibicuí-Mirim forma o rio Ibicuí que, com o rio Santa Maria, é o principal da sub-bacia 76 (KOEFEENDER, 2015; KOEFENDER; MARCUSO, 2015, 2016a). Detalhamentos da bacia do rio Uruguai e da sua principal sub-bacia (76), como hidrogeologia, cálculos de subáreas, drenagens de estações e diagramas unifilares, podem ser analisados em



Koefender e Marcuzzo, (2016b), Almeida *et al.* (2016), Finck *et al.* (2017), Freitas e Marcuzzo (2017), Souza *et al.* (2017).

Nas publicações de Guimarães, Finck e Marcuzzo (2017) e nos de Souza *et al.* (2017), que mostram a distribuição espacial de precipitação média mensal da bacia do rio Uruguai, utilizando os dados de Pinto *et al.* (2011), verifica-se que, na sub-bacia 76, a média de precipitação pluviométrica de 1977 a 2006, varia de 1.435mm.ano<sup>-1</sup> no extremo sul da sub-bacia, entre Dom Pedrito/RS e a fronteira com o Uruguai, até 1.934mm.ano<sup>-1</sup> ao norte, na região do município de Santiago/RS.

A estação de Uruguaiana, código 77150000, cuja altimetria da sua área de drenagem se verifica na Figura 2, está localizada na Latitude 29°44'55"S e Longitude 57°05'19"O, na altitude de 38,63 m no rio Uruguai e possui uma área de drenagem de aproximadamente 190.000 km<sup>2</sup>, resultando em 54,31 % da área total da bacia do rio Uruguai (349.844 km<sup>2</sup>, em Marcuzzo (2017)). A estação fluviométrica está instalada na margem esquerda do rio Uruguai, em território brasileiro, já que a margem direita fica em território argentino, utilizando como suporte para parte da seção de réguas a própria ponte que liga os dois países. As cotas de atenção, alerta e inundação, além da área de drenagem e altitude das estações estudadas se observa no Quadro 1.

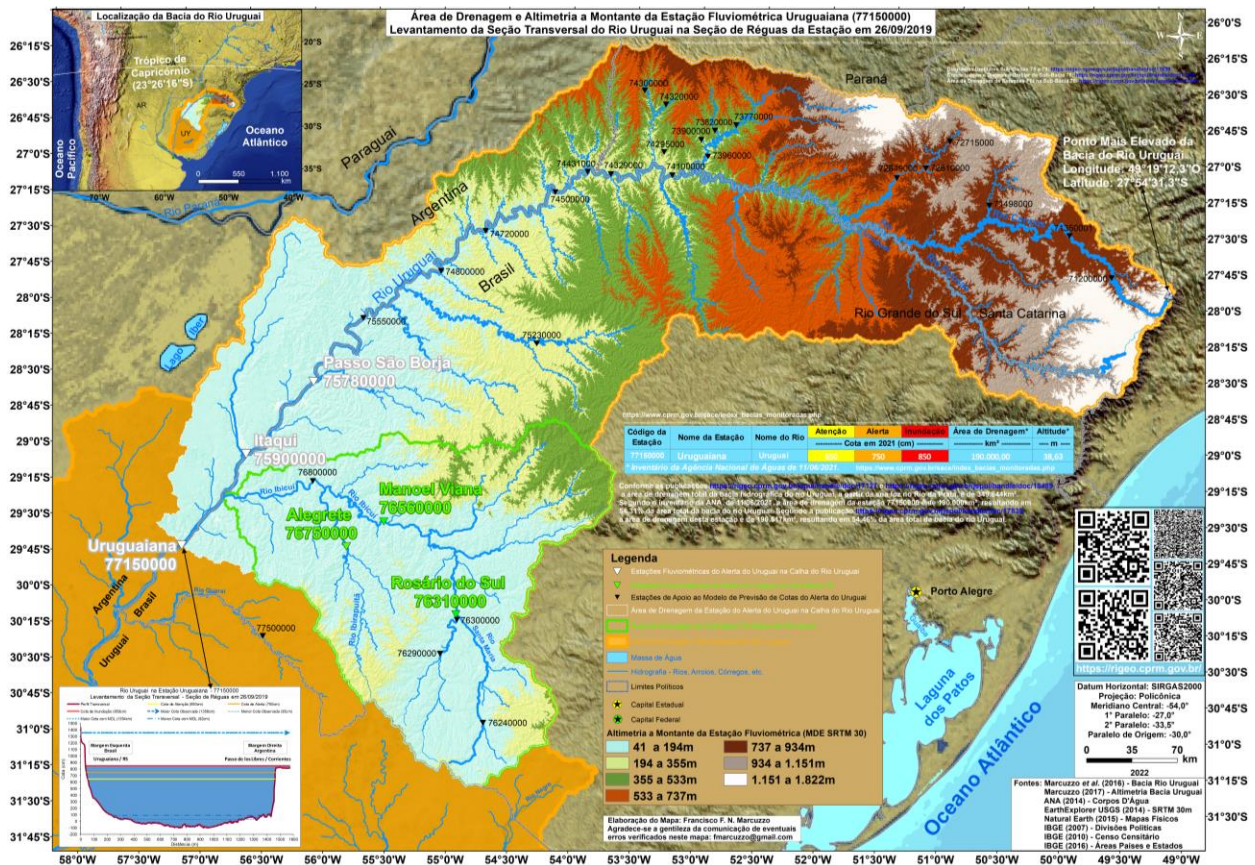


Figura 2 – Área de drenagem e altimetria a montante da estação fluviométrica Uruguaiana (77150000) no rio Uruguai.

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

Código da Estação	Nome da Estação	Nome do Rio	Atenção*	Alerta*	Inundação*	Área de Drenagem**	Altitude**
			Cota em 04/2023 (cm)				
77150000	Uruguaiana	Uruguai	650	750	850	190.000	38,63

\*Cotas de atenção, alerta e inundação válidas em agosto de 2022, no SACE do SGB. \*\* Inventário da Agência Nacional de Águas de 11/06/2021.

A Figura 3 apresenta a seção transversal na seção de réguas da estação e, também, as cotas de atenção (650 cm), alerta (750 cm) e inundação (850 cm) para a cidade de Uruguaiana/RS, bem como, a maior cota observada e a maior cota com Medição de Descarga Líquida (MDL).

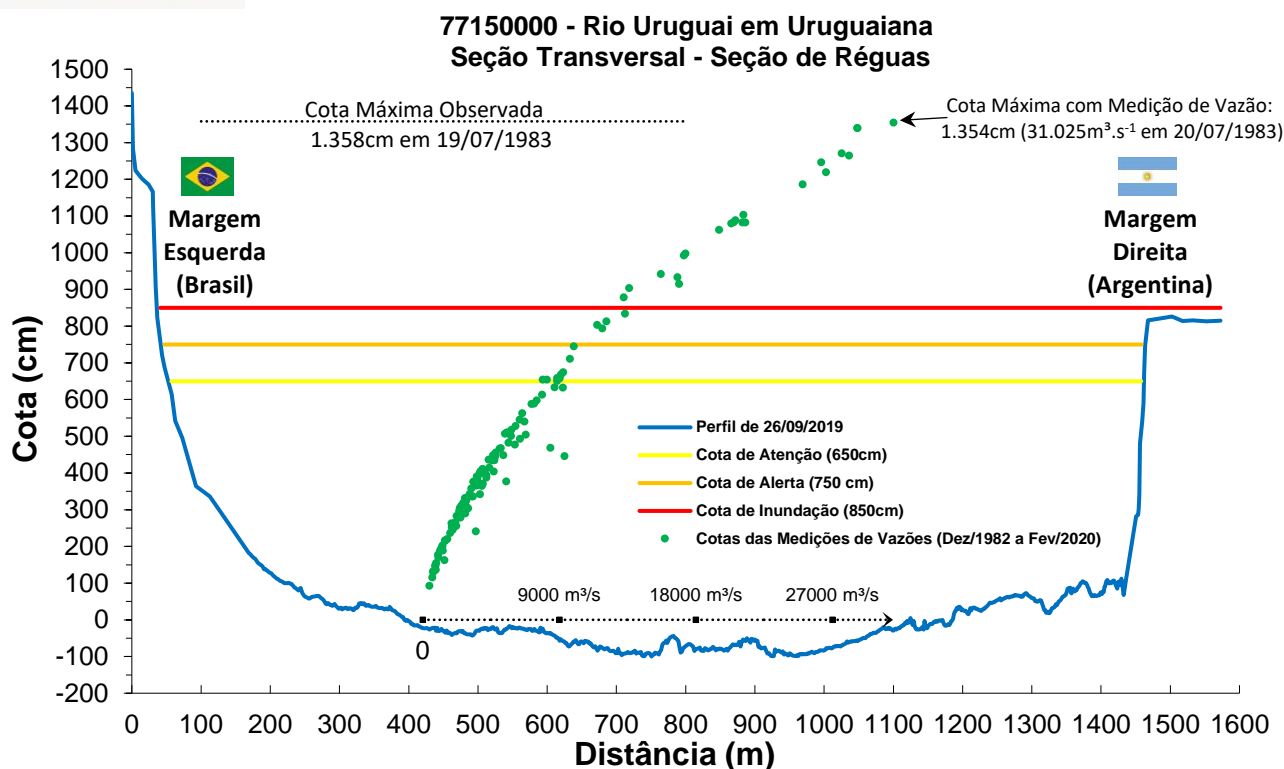


Figura 3 – Levantamento da Seção Transversal da seção de régua de Uruguaiana (77150000) e demais informações.

As Figuras/Mapas deste trabalho em PDF, em alta resolução, além do material produzido e apresentado, e/ou utilizado em sua execução, pode ser baixado pelos *links* do Quadro 2.

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

Material	Endereços (“links”) para Baixar Utilizando o Navegador de Internet
Figuras – Mapas da bacia do rio Uruguai e das áreas de drenagem das estações do SACE	PNG: <a href="https://drive.google.com/drive/folders/1uVMn0POkcGufzo-2c71NH-NhsUNIBqpw?usp=sharing">https://drive.google.com/drive/folders/1uVMn0POkcGufzo-2c71NH-NhsUNIBqpw?usp=sharing</a> PDF: <a href="https://drive.google.com/drive/folders/1czW3_IUQV8JABmiINXoTIT55vc3dcABI?usp=sharing">https://drive.google.com/drive/folders/1czW3_IUQV8JABmiINXoTIT55vc3dcABI?usp=sharing</a>
Planilha de aplicação do Tempo de Retorno da Vazão em Uruguaiana	<a href="https://drive.google.com/drive/folders/1kiHWsycgc71o_UlkaD8t4jTYc-vE3Ylr?usp=share_link">https://drive.google.com/drive/folders/1kiHWsycgc71o_UlkaD8t4jTYc-vE3Ylr?usp=share_link</a>
Apresentação Deste Trabalho em PDF	<a href="https://drive.google.com/drive/folders/1OdIpzdNp56A1hsprJIKserAC2B1vnZr?usp=share_link">https://drive.google.com/drive/folders/1OdIpzdNp56A1hsprJIKserAC2B1vnZr?usp=share_link</a>
LSTs – Levantamentos de Seção Transversal	<a href="https://docs.google.com/spreadsheets/d/1YgatOXZuksapC8IMqTTRvHCV9SY57f/edit?usp=share_link&amp;ouid=100577311085498659823&amp;rtopof=true&amp;sd=true">https://docs.google.com/spreadsheets/d/1YgatOXZuksapC8IMqTTRvHCV9SY57f/edit?usp=share_link&amp;ouid=100577311085498659823&amp;rtopof=true&amp;sd=true</a>
Localização das estações KMZ Google Earth	<a href="https://drive.google.com/drive/folders/1KBDgNIY9PArQFkBYdGgTrJyH7u2oRXho?usp=share_link">https://drive.google.com/drive/folders/1KBDgNIY9PArQFkBYdGgTrJyH7u2oRXho?usp=share_link</a>
Delimitação, altimetria detalhada e demais informações da bacia do rio Uruguai	<a href="https://rigeo.sgb.gov.br/jspui/handle/doc/18489">https://rigeo.sgb.gov.br/jspui/handle/doc/18489</a> e <a href="https://rigeo.sgb.gov.br/jspui/handle/doc/17127">https://rigeo.sgb.gov.br/jspui/handle/doc/17127</a>

## 2.2. Análise de Frequência

Considerando 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 vazões máximas por ano hidrológico.
- II. Verificar a presença de valores atípicos (*outliers*) com o critério baseado na amplitude interquartil, AIQ (NAGHETTINI; PINTO, 2007, p. 39), e com o teste de Grubbs e Beck (NAGHETTINI; PINTO, 2007, p. 287).
- III. Avaliar a independência dos eventos das séries 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 vazões máximas por ano hidrológico. As distribuições candidatas são a de Gumbel e do Log-Normal.
- 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 Log-Normal é calculada da seguinte forma:

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

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 no Anexo II de Marcuzzo e Pinto (2022a,b,c);  $\mu$  é o parâmetro de posição;  $\sigma$  é o parâmetro de escala.

A inversa da distribuição de Gumbel é calculada por:

$$x_T = \beta - \alpha \ln \left[ -\ln \left( 1 - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (2)$$

Em que:  $T$  é o tempo de retorno (anos);  $x_T$  é o quantil associado a tempo de retorno,  $T$ ;  $\beta$  é o parâmetro de posição;  $\alpha$  é o parâmetro de escala.

Os critérios, além de um melhor detalhamento dos modelos Log-Normal e Gumbel, 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 (2021; 2022a,b,c).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de frequência local das vazões máximas do rio Uruguai, em Uruguaiana (77150000), expostas com maior detalhamento no trabalho publicado por Marcuzzo e Pinto (2022), foi efetuada utilizando as vazões estimadas por curva-chave e a série de cotas máximas dupla leitura por ano civil (01/Jan a 31/Dez), aceito que não há definição de início e fim do ano hidrológico na região, conforme os estudos publicados por Marcuzzo e Melati (2016; 2017).

As duas distribuições candidatas, Gumbel e Log-Normal, não foram rejeitadas pelo teste de aderência. A distribuição Log-Normal foi selecionada por apresentar menor desvio padrão dos resíduos entre a distribuição empírica e a teórica. O parâmetro de posição da equação 1 ficou 9,76254 e o parâmetro de escala ficou 0,31577 para Uruguaiana (77150000). As hipóteses nulas de independência, e estacionariedade da série foi aceita um nível de significância de 5 %. A Figura 4 apresenta o gráfico com as distribuições empírica e teórica ajustadas. Um melhor detalhamento das estatísticas da série de dados de vazão máxima anual, com os parâmetros calculados pelo Método dos Momentos-L, são apresentados pelo Serviço Geológico do Brasil, em Marcuzzo e Pinto (2022c).

Inicialmente foi necessário calcular a vazão associada à cota de referência que gostaríamos de calcular o tempo de retorno, com a curva-chave válida. Por exemplo, o tramo da curva-chave disponível para a data de 19/07/1983 e para a cota 1.358cm, que é a maior cheia histórica registrada, possui validade de 01/01/1982 a 14/06/1993 para o intervalo de cotas de 800 cm a 1.400 cm, possui os seguintes parâmetros da equação potencial:  $a = 434,6145$ ,  $h_0 = 0,54$  m e  $n = 1,659$ , o que gera uma vazão de  $30,786 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  para a cota 1.358 cm.

A Figura 4 apresenta o gráfico com as distribuições empírica e teórica ajustadas para a estação e o intervalo de confiança de 95 % estimado para quantis por simulação de Monte Carlo (SILVA *et al.*, 2011). A Tabela 1 apresenta as vazões, em metros cúbicos por segundo, para diferentes tempos de retorno. A equação 1 é válida para tempos de retorno de 1,01 até 100 anos da Tabela 1. Nota-se, nos exemplos de aplicação da Tabela 1, que os tempos de retornos para as vazões calculadas para as cotas de atenção, com 1,01 anos para  $8.622 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  associada a 650 cm, de alerta, com 1,08 anos para

10.942 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> associada a 850 cm, e de inundação, com 1,28 anos para 13.574 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> associada a 970 cm, são curtos, ou seja, há uma grande frequência que há emissão de boletins pelo SACE Uruguai para a localidade. Para se entender melhor o que ocorre, e que pode ser observado nos dados disponíveis em Marcuzzo e Pinto (2022), dos 39 valores de vazões calculados pela curva-chave com as cotas máximas DL, em nenhum ano houve vazões calculadas máximas anuais menores que a vazão calculada na cota de atenção (8.622 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> para a cota associada de 650 cm), ou seja, as 39 vazões máximas anuais, 100%, são superiores a vazão calculada para essa mesma cota de atenção, considerando os dados disponíveis até o ano de 2022.

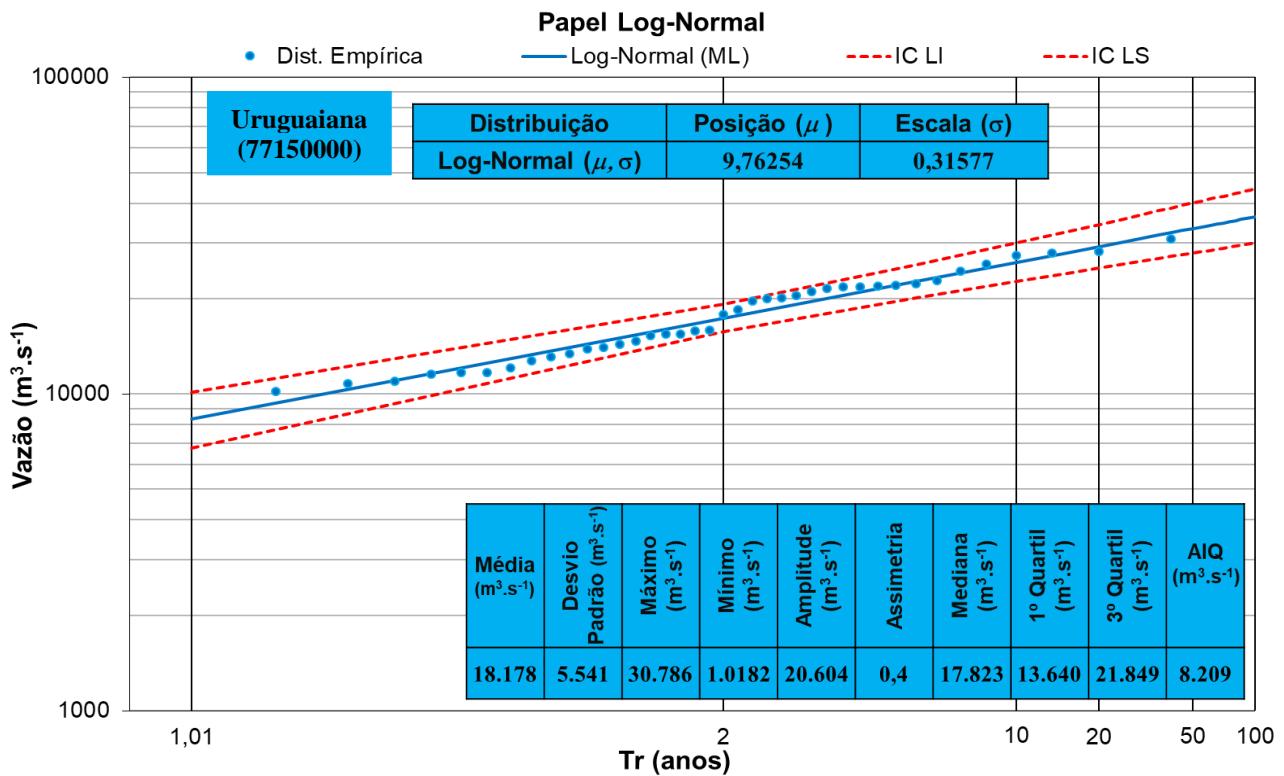


Figura 4 – Ajuste das distribuições empírica e teórica Log-Normal da estação fluviométrica Uruguaiana (77150000).

Tabela 1 – Vazões, em metros cúbicos por segundo, para diferentes tempos de retorno, em anos (de 2 a 100 anos).

Estação	Tempo de Retorno, T (anos)												
	2	5	10	15	20	25	30	40	50	60	75	90	100
Vazão (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )													
<b>Uruguaiana</b>	<b>17.371</b>	<b>22.659</b>	<b>26.036</b>	<b>27.905</b>	<b>29.201</b>	<b>30.193</b>	<b>30.997</b>	<b>32.256</b>	<b>33.225</b>	<b>34.014</b>	<b>34.976</b>	<b>35.759</b>	<b>36.212</b>

Mosini (2018), em um estudo de cotas máximas do rio Uruguai, associadas a diferentes períodos de retorno para Itaquí/RS, relataram que a 5 % de significância, ambas as distribuições de probabilidade testadas, Log Normal e Gumbel, se ajustaram aos dados observados, pois as diferenças absolutas máximas entre os valores estimados e observados foram menores que o valor crítico do teste Kolmogorov-Smirnov. Já Menezes (2018), em sua tese sobre uma proposta metodológica para análise espaço-temporal de inundações: aplicação na área urbana de Alegrete, observou que todos os modelos que estudou, de alguma maneira, superestimavam as máximas anuais quanto à recorrência e que, a exceção da Log-Normal onde isso ocorre em torno da cota 1.100 cm, a partir dos valores em torno de 1.300 cm, as curvas passam a dispensar e se afastar da probabilidade empírica estabelecida a partir da frequência de ocorrências.

Na Tabela 2 verifica-se que as diferenças de tempo de retorno para as vazões associadas as cotas de atenção, alerta, inundação variam de 1 a 1,3 anos. Castilho, Silva e Rodrigues (1999), em um estudo sobre a estimativa do período de retorno associado às cotas de alerta, de inundação e de

grandes cheias na bacia do rio Doce, concluíram que os períodos de retorno associados às cotas de alerta e de inundação foram da ordem de um e dois anos para quatro estações mais a montante e de dois e quatro anos para estações mais a jusante.

Tabela 2 – Cotas de atenção, alerta e inundação no SACE Uruguai, além das respectivas maiores cheias registradas, associadas as suas vazões, tempos de retorno e as probabilidades destas vazões serem igualadas ou superadas.

Nome e Código da Estação	Número de Anos de Dados de Cota Dupla Leitura Disponíveis <sup>1</sup>	Denominação da Cota de Interesse	Cota Disponível em 04/2023 (cm)	Vazão Associada a Cota Pela Curva-Chave <sup>1,2</sup> (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )	Tempo de Retorno da Vazão (anos)	Probabilidade de a Vazão Ser Igualada ou Superada em um Ano Qualquer
Uruguaiana (77150000)	39	Atenção	650	8.622	1,01	99,0%
		Alerta	750	10.942	1,08	92,6%
		Inundação	850	13.574	1,28	78,1%
		Maior Cheia Histórica Registrada em 19/07/1983	1.358	30.786	28,6	3,50%
		Cheia Registrada em 13/06/2017	1.269	27.379	13,37	7,48%
		Uma Medição de Descarga Líquida	Maior Vazão Histórica, Medida em 20/07/1983	1.354	31.025	30,19

<sup>1</sup> Os dados de entrada do modelo estão disponíveis no Anexo III de: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/22857>.

<sup>2</sup> Os parâmetros da equação potencial da curva-chave utilizada são:  $a = 434,6145$ ,  $h_0 = 0,54\text{m}$  e  $n = 1,659$ .

Verifica-se na Tabela 2, apesar de diferença pequena, menor que 1%, que a vazão (30.786 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>) associada a cota da cheia em 19/07/1983, 1.358 cm, gera um tempo de retorno da vazão, com 28,6 anos, ou seja, menor que o tempo de retorno da vazão medida em campo (31.025 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>) em 20/07/1983, com uma cota menor, que foi de 1.354 cm, que gerou um tempo de retorno de 30,2 anos. O mesmo vale para a probabilidade de a vazão ser igualada ou superada em um ano qualquer, só que inversamente, ou seja, a probabilidade da maior cota com vazão medida (1.354 cm) ser igualada ou superada acaba sendo menor que a maior cota observada (1.358 cm). Presume-se que, em uma análise de frequência local para vazões máximas, que se utiliza de curva-chave para estimar essas vazões máximas associadas as cotas máximas, o contrário deveria ser verdadeiro quanto ao tempo de retorno dos dados mostrados na Tabela 2, entre a maior cota observada e a maior vazão medida. Contudo a curva-chave utilizada, disponível em Marcuzzo e Pinto (2022), gerou uma vazão de 30.786 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> para a maior cota observada (1.358 cm), ou seja, menor que a vazão medida em campo, de 31.025 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, para uma cota menor, que foi de 1.354 cm. Partindo-se do princípio que a curva-chave foi bem traçada, chega-se à conclusão que, mesmo a diferença sendo pequena, o que afetou essas pequenas diferenças de pico foram as incertezas inerentes as medições de vazão em campo, que normalmente possuem incertezas menores que 5%. Segundo o Manual de Medição de Vazão, de Delméé (2003), a “incerteza” é atributo da medição de vazão que, convencionalmente, significa que existe 95% de probabilidade de o valor real estar compreendido na faixa de incerteza considerada. Além desta, há as incertezas de medições de vazão atreladas ao fenômeno da histerese, seja quando o rio está com o nível ascendente ou descendente (MARCUIZZO; MALDONADO; SOUZA, 2019), que pode afetar a estimativa de vazão de pico pela curva-chave. Um melhor detalhamento sistemático das estações e das sub-bacias do rio Uruguai, como diagramas unifilares, podem ser analisados em Almeida *et al.* (2016), Souza *et al.* (2017) e Müller *et al.* (2019).

#### 4. CONCLUSÃO

Estudou-se e analisou-se o ajuste das distribuições teóricas de probabilidade Log-Normal e Gumbel à série histórica das vazões máximas, empregando o teste de aderência não paramétrico Kolmogorov-Smirnov, ao nível de 5% de significância. A distribuição Log-Normal com parâmetros calculados pelo método dos momentos-L foi a escolhida por apresentar os menores resíduos entre a distribuição teoria e empírica no rio Uruguai na localidade da estação Uruguaiana (77150000). Os tempos de retorno, e as probabilidades destas vazões serem igualadas ou superadas, em um ano

qualquer, encontrados para as vazões nas cotas de atenção, alerta e de inundação, foram: 1,01 (99,0 %); 1,08 (92,6 %); 1,28 (78,1 %).

Para a maior cheia registrada em Uruguaiana, o tempo de retorno para a vazão máxima ( $30.786 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ), associada a maior cota histórica observada (1.358 cm, em 19/07/1983), calculada pela curva-chave disponível, foi de 28,6 anos, para uma série histórica de 39 anos, o que resultou numa probabilidade desta vazão ser alcançada ou superada, em um ano qualquer, de 3,5 %. Já para a maior vazão medida no campo ( $31.025 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , em 20/07/1983), com uma cota de 1.354 cm em Uruguaiana, o tempo de retorno foi de 30,19 anos, o que resultou numa probabilidade desta vazão ser alcançada ou superada, em um ano qualquer, de 3,31 %. Observa-se que a maior vazão medida foi a quatro centímetros abaixo da maior cota observada, entretanto o tempo de retorno desta vazão medida foi maior e a probabilidade desta ser igualada ou superada, em um ano qualquer, menor. Isto se deve ao ajuste fino da parte alta da curva-chave, que, neste caso em específico, subestimou a vazão de pico calculada em relação a maior vazão medida em campo.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, D. B.; KOEFENDER, A.; SOUZA, C. J. R.; MARCUZZO, F. F. N. Diagramas unifilares e mapeamento das estações F, FD, P, Pr e barramentos das sub-bacias 70 a 74 no Rio Uruguai. In: SIMPÓSIO DOS RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 13., 2016, Aracaju. **Anais...** Aracaju: ABRH, 2016. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/17189>. Acesso em: 10 nov. 2022.
- BUFFON, F. T.; ROLIM, F. E.; MARCUZZO, F. F. N. Características das seções transversais na modelagem da propagação do escoamento na bacia do rio Uruguai. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 23., 2019, Foz do Iguaçu, PR. **Anais[...]** Foz do Iguaçu: ABRH, 2019. Disponível em: <http://rigeo.sgb.gov.br/jspui/handle/doc/21529>. Acesso em: 05 mar. 2023.
- CASTILHO, A. S.; SILVA, E. A.; RODRIGUES, V. V. Estimativa do tempo de retorno associado às cotas de alerta, inundação e de grandes cheias na bacia do rio Doce. In: XIII SBRH, 1999, Belo Horizonte. **Anais...** - Belo Horizonte - 1999 - ABRH, 1999.
- FINCK, J. S.; GUIMARÃES, G. M.; KOEFENDER, A.; SOUZA, C. J. R.; ALMEIDA, D. B.; MARCUZZO, F. F. N. Diagrama unifilar de dados hidrológicos em bacia hidrográfica: proposta de modelo e passo a passo de como fazer consistindo os dados. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 22., 2017, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ABRH, 2017. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/18491>. Acesso em: 13 set. 2022.
- FREITAS, M. A. de; MARCUZZO, F. F. N. Aquíferos da bacia hidrográfica do rio Ibicuí no estado do Rio Grande do Sul. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 22., 2017, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ABRH, 2017. Dispo.: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/18488>.
- GUIMARÃES, G. M.; FAN, F. M.; MARCUZZO, F. F. N.; BUFFON, F. T.; GERMANO, A. de O. Com qual antecedência conseguimos prever cheias no rio Uruguai usando um modelo hidrológico de grande escala? In: ENCONTRO NACIONAL DE DESASTRES, 1., 2018, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 2018. Disponível: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/19640>. 13 set. 2022.
- GUIMARÃES, G. M.; FINCK, J. S.; MARCUZZO, F. F. N. Espacialização Pluviométrica da Precipitação Média Mensal na Parte Brasileira da Bacia do Rio Uruguai. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 29.; ENCONTRO TÉCNICO AESABESP, 28., 2017, São Paulo. **Anais eletrônicos[...]** São Paulo: ABES; AESABESP, 2017. Disponível em: <http://rigeo.sgb.gov.br/jspui/handle/doc/18201>. Acesso em: 02 mar. 2023.
- HOSKING, J. R. M.; WALLIS, J. R. **Regional frequency analysis: an approach based on L - moments**. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.
- KOEFENDER, A. Regionalização das vazões Q95%, Q50% e Q7,10 da bacia hidrográfica do Rio Ibicuí. 2015. 120 f. **TCC (Graduação)** - Curso de Engenharia Ambiental, UFRGS/IPH, Porto Alegre, 2015. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/40514>. Acesso: 13 set. 2022.
- KOEFENDER, A.; MARCUZZO, F. F. N. Análise de diferentes MDE no cálculo de área de drenagem e perímetro de estações fluviométricas na Sub-Bacia 76. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE



- RECURSOS HÍDRICOS, 21., 2015, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: ABRH, 2015. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/jspui/handle/doc/15051>. Acesso em: 14 set. 2022.
- KOEFENDER, A.; MARCUZZO, F. F. N. Estudo da delimitação automática das sub-bacias do Rio Ibicuí na Bacia do Rio Uruguai utilizando diferentes MDT. In: SIMPÓSIO DOS RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 13., 2016, Aracaju. **Anais...** Aracaju: ABRH, 2016a. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/jspui/handle/doc/17193>. Acesso em: 16 set. 2021.
- KOEFENDER, A.; MARCUZZO, F. F. N. Modelo e conceituação de diagrama unifilar de bacia hidrográfica: o caso da sub-bacia 76. **Revista de Geografia**, Recife, v. 33, n. 3, p. 201-229, 2016b. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/jspui/handle/doc/17524>. Acesso em: 14 set. 2022.
- MARCUZZO, F. F. N. Bacia hidrográfica do rio Uruguai: altimetria e áreas. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 22., 2017, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ABRH, 2017a. Disponível em: <http://rigeo.sgb.gov.br/jspui/handle/doc/18489>. Acesso em: 03 abr. 2022.
- MARCUZZO, F. F. N.; MALDONADO, L. H.; SOUZA, S. A. de. Curva-chave sob efeito de histerese: traçado e ajuste de curva-chave média e em laço. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 23., 2019, Foz do Iguaçu, PR. **Anais[...]** Foz do Iguaçu: ABRH, 2019. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/jspui/handle/doc/21532>. Acesso em: 22 mar. 2022.
- MARCUZZO, F. F. N.; MELATI, M. D. Caracterização da precipitação pluviométrica mensal nas sub-bacias pertencentes à Bacia do Rio Uruguai. In: SIMPÓSIO DOS RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 13., 2016, Aracaju. **Anais[...]** Aracaju: ABRH, 2016. Disponível em: <http://rigeo.sgb.gov.br/jspui/handle/doc/17183>. Acesso em: 06 mar. 2023.
- 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 Itaqui, código 75900000, município atendido Itaqui, RS. Porto Alegre: SGB, 2021. Programa Gestão de Risco e Resposta a Desastres. Ação Levantamentos, Estudos, Previsão e Alerta de Eventos Hidrológicos. Estudos de Regionalização nas Bacias Hidrográficas Brasileiras. <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/22611>.
- 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 Passo São Borja, código 75780000, município atendido São Borja, RS. Porto Alegre: SGB, 2022a. 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/22858>. Acesso em: 22 mar. 2023.
- 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, 2022b. 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, 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. 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., 2022, Caruaru, PE. **Anais [...]**. Caruaru: ABRHidro, 2022. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/22947>. 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 no talvegue do rio Uruguai. In: ENCONTRO NACIONAL DE

- DESATRES, 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.; SOUZA, C. J. R.; ALMEIDA D. B. Bacia hidrográfica internacional do rio Uruguai e consistência dos seus divisores de água na escala 1:3.000. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 48., 2016, Porto Alegre. **Anais...** São Paulo: SBG, 2016. Disponível em: <http://rigeo.sgb.gov.br/xmlui/handle/doc/17127>. Acesso em: 20 jun. 2022.
- MARCUZZO, F. F. N. Bacias hidrográficas e regiões hidrográficas do Brasil: cálculo de áreas, diferenças e considerações. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 22., 2017b, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ABRH, 2017. Disponível em: <http://rigeo.sgb.gov.br/jspui/handle/doc/18492>.
- MARCUZZO, F. F. N.; MELATI, M. D. Mapeamento da máxima, média e mínima precipitação pluviométrica mensal nas sub - bacias pertencentes às bacias do Rio Uruguai e do Atlântico no trecho Sudeste. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 18., Santos, SP, 2017. **Anais**[...] Santos, SP: INPE, 2017. Disponível em: <http://rigeo.sgb.gov.br/jspui/handle/doc/17854>.
- MELATI, M. D.; MARCUZZO, F. F. N. Estudo de Perfis de Estações Fluviométricas: Transcrições de Campo, Ajuste de Escritório e Efeito nos Atributos Hidráulicos. In: XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2014, Natal. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 2014. p. 1-10. Disponível em: <http://rigeo.sgb.gov.br/xmlui/handle/doc/17448>. Acesso em: 28 Jun. 2022.
- MENEZES, D. J. Proposta metodológica para análise espaço-temporal de inundações: aplicação na área urbana de Alegrete – RS. **Tese de Doutorado** apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGGE), da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) 2018. 267p. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/16498>. Acesso em: 03 mai. 2023.
- MOSINI, S.; DA SILVA SEGABINAZZI, M.; GOULART MEUS, A.; JANNY COTA OLIVEIRA, L. Cotas máximas do rio Uruguai associadas a diferentes períodos de retorno para itaqui-RS. **Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão**, v. 10, n. 2, 3 mar. 2020. Disponível em: <https://periodicos.unipampa.edu.br/index.php/SIEPE/article/view/100691>. Acesso em: 01 jul. 2022.
- MÜLLER, Y. T.; FAN, F. M.; BUFFON, F. T.; MARCUZZO, F. F. N. Efeito da discretização na calibração do modelo MGB-IPH para a Bacia do rio Uruguai. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 23., 2019, Foz do Iguaçu, PR. **Anais...** Foz do Iguaçu: ABRH, 2019. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/21544>. Acesso em: 13 set. 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.
- 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: <http://rigeo.sgb.gov.br/jspui/handle/doc/11560>. Acesso em: 03 mai. 2022.
- 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.
- SOUZA, C. J. R.; ALMEIDA, D. B.; KOEFENDER, A.; MARCUZZO, F. F. N. Diagramas unifilares e mapeamento das estações F, FD, P, PR e barramentos das Sub-bacias 75 a 79 no rio Uruguai. **Tecnológica**, Santa Cruz do Sul, v. 21, n. 2, p. 65- 74, jul./dez. 2017. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/17839>. Acesso em: 29 ago. 2022.