

## TEMPO DE RETORNO DAS COTAS DE GRANDES CHEIAS E DE ATENÇÃO, ALERTA E INUNDAÇÃO DO SAH NA BACIA DO IBICUÍ

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

**RESUMO** – Na operação, análise dos dados passados e previsibilidade de ocorrência de eventos futuros, é importante que cotas de interesse em rios com Sistemas de Alerta Hidrológicos (SAH) estejam associados a períodos de retorno. O objetivo deste trabalho foi apresentar os períodos de retorno estimados para as cotas das maiores cheias registradas, e para às cotas de atenção, alerta e de inundação dos rios Ibirapuitã, em Alegrete (76750000), Santa Maria, em Rosário do Sul (76310000), e Ibicuí, em Manoel Viana (76560000). Estudou-se o ajuste das distribuições teóricas de probabilidade Log-Normal e Gumbel à série histórica das 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 nas três estações. Os tempos de retorno encontrados para as cotas de atenção, alerta e de inundação dos rios Ibirapuitã, Santa Maria e Ibicuí, nos respectivos postos de Alegrete, Rosário do Sul e Manoel Viana ficaram no intervalo de um a dois anos e meio. Já para as maiores cheias registradas, foram, respectivamente para as estações supracitadas, 13,9 anos, cheia de 11/04/1959; 17,8 anos, cheia de 15/04/1992; e 18,8 anos, cheia de 19/04/1992.

**ABSTRACT** – In the operation, analysis of past data and predictability of future events, it is important that quotas of interest in rivers with Hydrological Alert Systems (SAH) are associated with return periods. The objective of this work was to present the estimated return periods for the highest recorded flood levels, and for the attention, alert and flood levels of the Ibirapuitã rivers, in Alegrete (76750000), Santa Maria, in Rosário do Sul (76310000), and Ibicuí, in Manoel Viana (76560000). The adjustment of the theoretical Log-Normal and Gumbel probability distributions to the historical series of maximum double readings (7:00 am and 5:00 pm) was studied, using the non-parametric Kolmogorov-Smirnov adherence test, at a 5% significance level. The Log-Normal distribution with L moments was chosen in the three stations. The return times found for the attention, alert and flooding quotas of the Ibirapuitã, Santa Maria and Ibicuí rivers, in the respective stations of Alegrete, Rosário do Sul and Manoel Viana were in the range of one to two and a half years. As for the highest recorded floods, they were, respectively, for the aforementioned seasons, 13.9 years, full on 04/11/1959; 17.8 years old, full on 04/15/1992; and 18.8 years old, full on 04/19/1992.

**Palavras-Chave** – Sistema de Alerta de Eventos Críticos, Bacia do Rio Uruguai, Rio Ibirapuitã.

### 1. INTRODUÇÃO

No constante monitoramento e operação 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 a defesa civil da localidade começa a tomar as devidas providências, aplicando os planos de contingência. Na previsibilidade de ocorrência de eventos futuros críticos futuros de inundação, é importante que cotas de importância em rios com SAH

<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](mailto: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](mailto:eber.andrade@sgb.gov.br).

estejam associados a Tempos de Retorno (TR) estudados com estatística consolidada na literatura, e utilizando-se de dados verificados com apoios a montante e jusante, além de consistidos.

O Sistema de Alerta de Eventos Críticos (SACE, <https://www.cprm.gov.br/sace/>) da bacia do rio Uruguai entrou em operação em dezembro de 2018 e, considerando as informações disponíveis em julho de 2022, realiza previsão de níveis para seis municípios: Uruguaiana, 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, que serão o foco deste estudo.

Utilizando-se os dados do Alerta de Eventos Críticos da Bacia do Uruguai, destacam-se os trabalhos de Guimarães *et al.* (2018) que estudou com que antecedência se consegue prever cheias na bacia, e o de Müller *et al.* (2019), que estudou o efeito da discretização na calibração do modelo MGB-IPH para a bacia do rio Uruguai. Em 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, 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.

Sendo assim, este estudo tem o objetivo de apresentar e discutir os períodos de retorno estimados para as cotas associadas as maiores cheias registradas, e para às cotas de atenção, alerta e de inundação dos rios Ibirapuitã, Santa Maria e Ibicuí, nas respectivas localidades das estações fluviométricas de Alegrete (76750000), Rosário do Sul (76310000) e Manoel Viana (76560000), considerando as informações disponíveis até junho de 2022.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Caracterização geral da região de estudo

Nas Figura 1, observa-se a localização das estações Alegrete (76750000), Rosário do Sul (76310000) e Manoel Viana (76560000), situadas na sub-bacia 76 (rio Ibicuí), a maior sub-bacia, em área de drenagem, das sub-bacias formadoras da bacia do rio Uruguai (7) em território brasileiro (MARCUIZZO, 2017a,b). Em sua parte norte e nordeste, estão localizados os principais afluentes do rio Ibicuí: o rio Jaguari e o rio Ibicuí-Mirim. 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 (KOEENDER, 2015; KOEFENDER; MARCUZZO, 2015, 2016a). Detalhamentos da 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), Fink *et al.* (2017), Freitas e Marcuzzo (2017), Souza *et al.* (2017). Nos mapas de distribuição espacial de precipitação média mensal da bacia do rio Uruguai, publicados por Guimarães, Finck e Marcuzzo (2017) e nos de Souza *et al.* (2017), 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. Koefender (2015) cita que a média geral da precipitação pluviométrica na sub-bacia 76 é de 1.629mm.ano<sup>-1</sup>. A variação altimétrica na sub-bacia 76 vai de 26m próximo a sua foz no rio Uruguai a 546m em sua porção nordeste na região do município de Tupanciretã/RS. As altitudes das áreas de drenagem a montante das estações variam: Alegrete de 77 a 376m (Figura 2), Rosário do Sul de 89m a 454m (Figura 3) e 60m a 546m (Figura 4). As cotas de atenção, alerta e inundação, além da área de drenagem e altitude das estações estudadas se observa no Quadro 1.

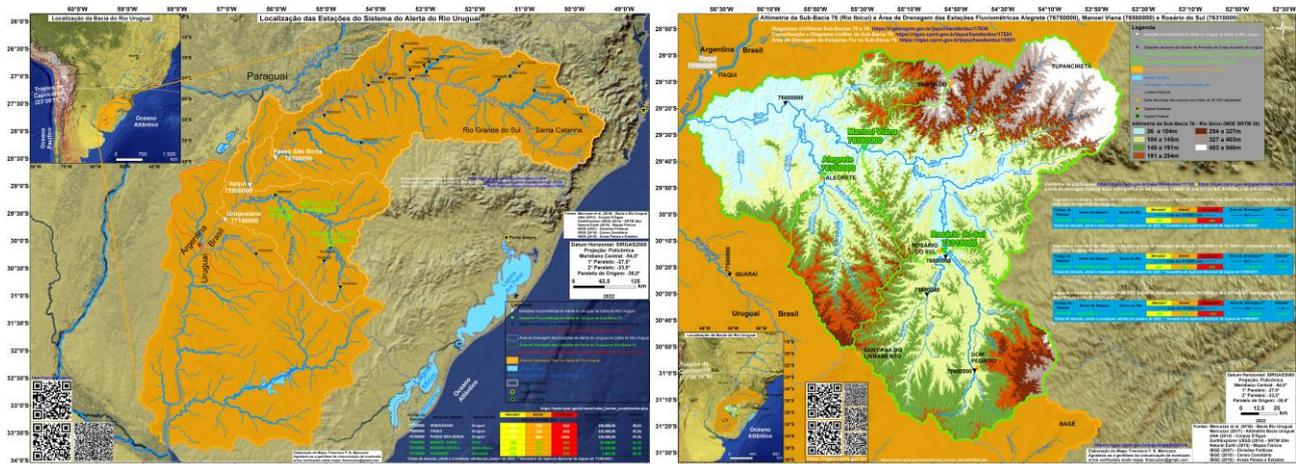


Figura 1 – Bacia do rio Uruguai (7) e a sua sub-bacia do rio Ibicuí (76) e a localização das estações do SACE Uruguai.

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

Código da Estação	Nome da Estação	Nome do Rio	Atenção*	Alerta*	Inundação*	Área de Drenagem**	Altitude**
			----- Cota em 06/2022 (cm) -----			----- km <sup>2</sup> -----	----- m -----
76750000	ALEGRETE	Ibirapuitã	750	850	970	5.867,84	66,25
76310000	ROSÁRIO DO SUL	Santa Maria	450	550	650	12.100,00	82,58
76560000	MANOEL VIANA	Ibicuí	760	860	960	29.400,00	61,71

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

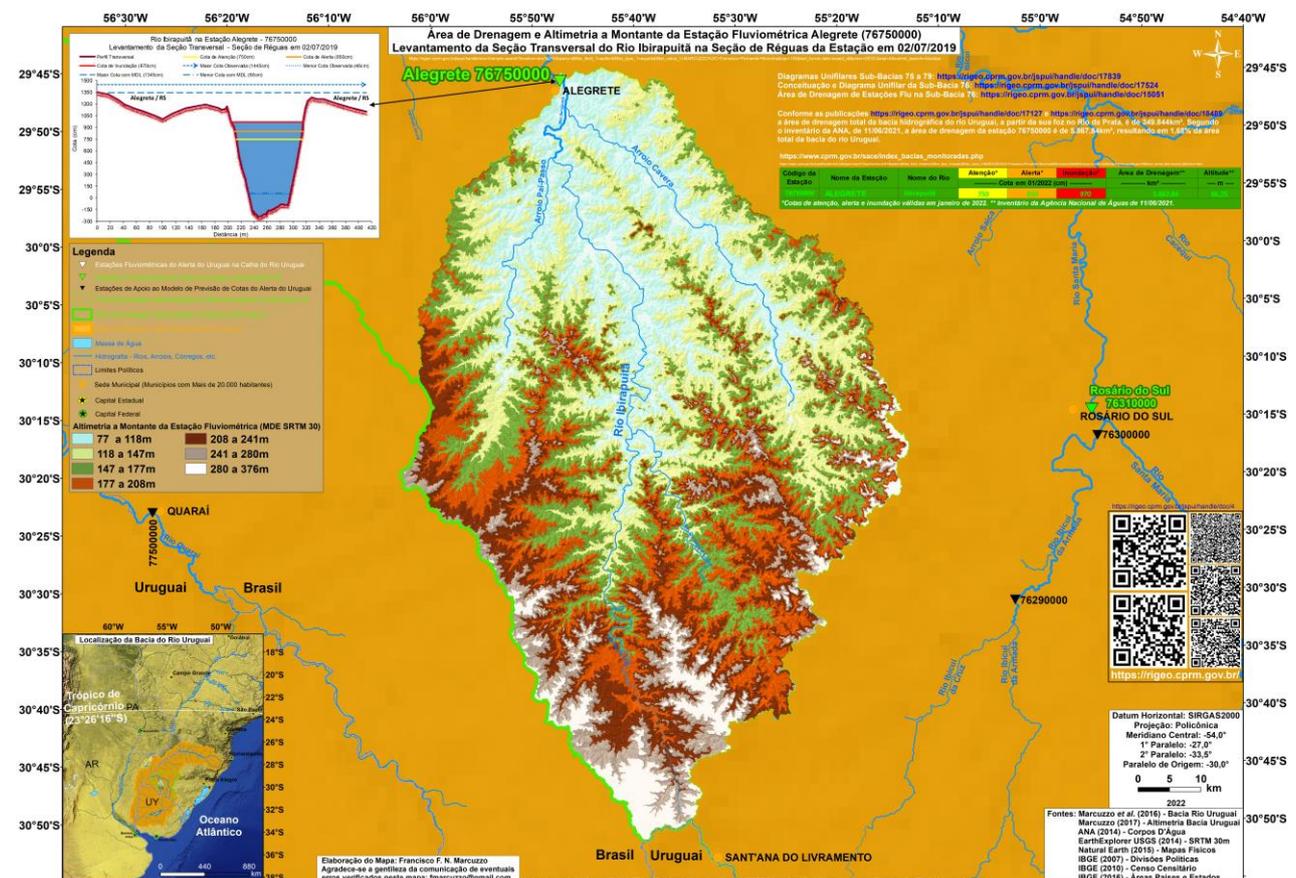


Figura 2 – Área de drenagem e altimetria a montante da estação fluviométrica Alegrete (76750000) no rio Ibirapuitã.

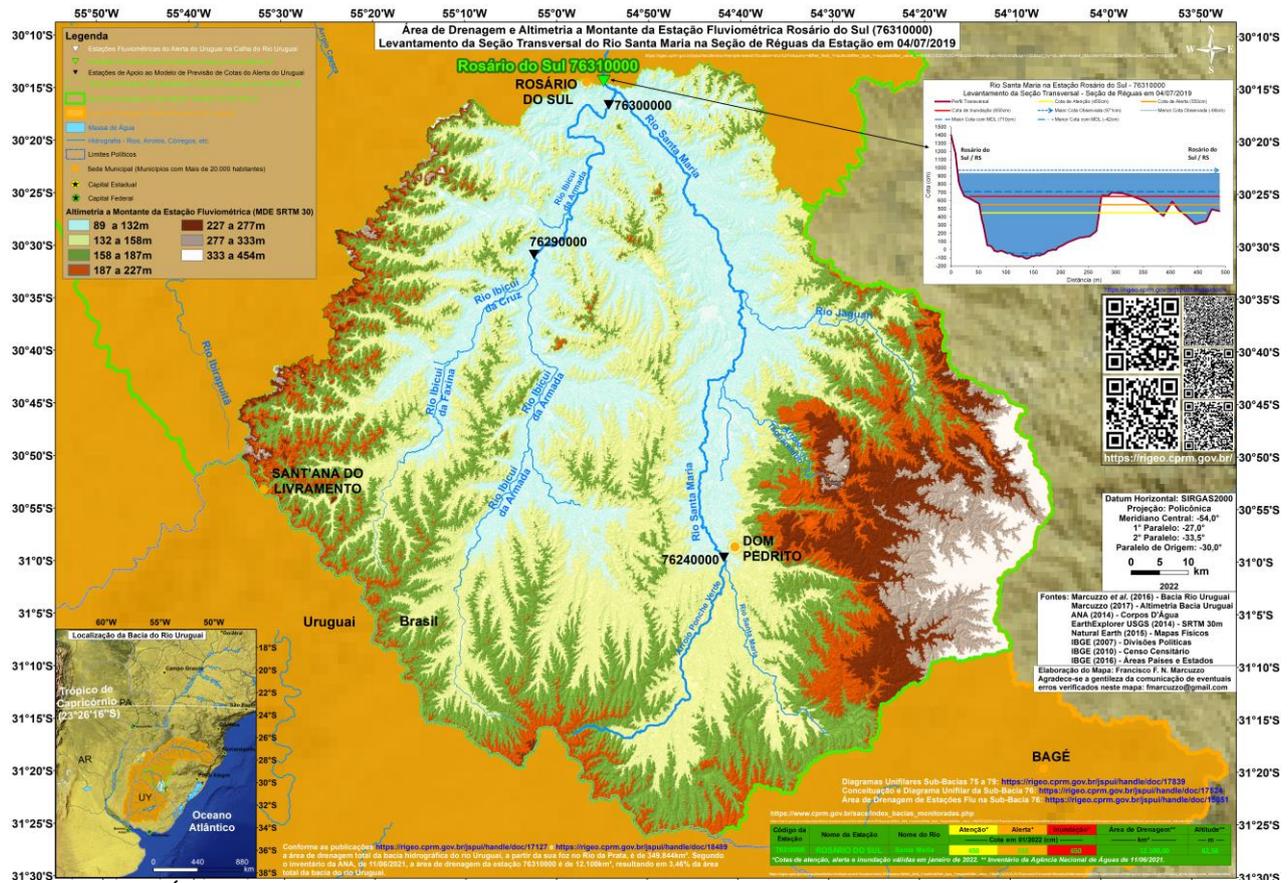


Figura 3 – Área de drenagem e altimetria a montante da estação Rosário do Sul (76310000) no rio Santa Maria.

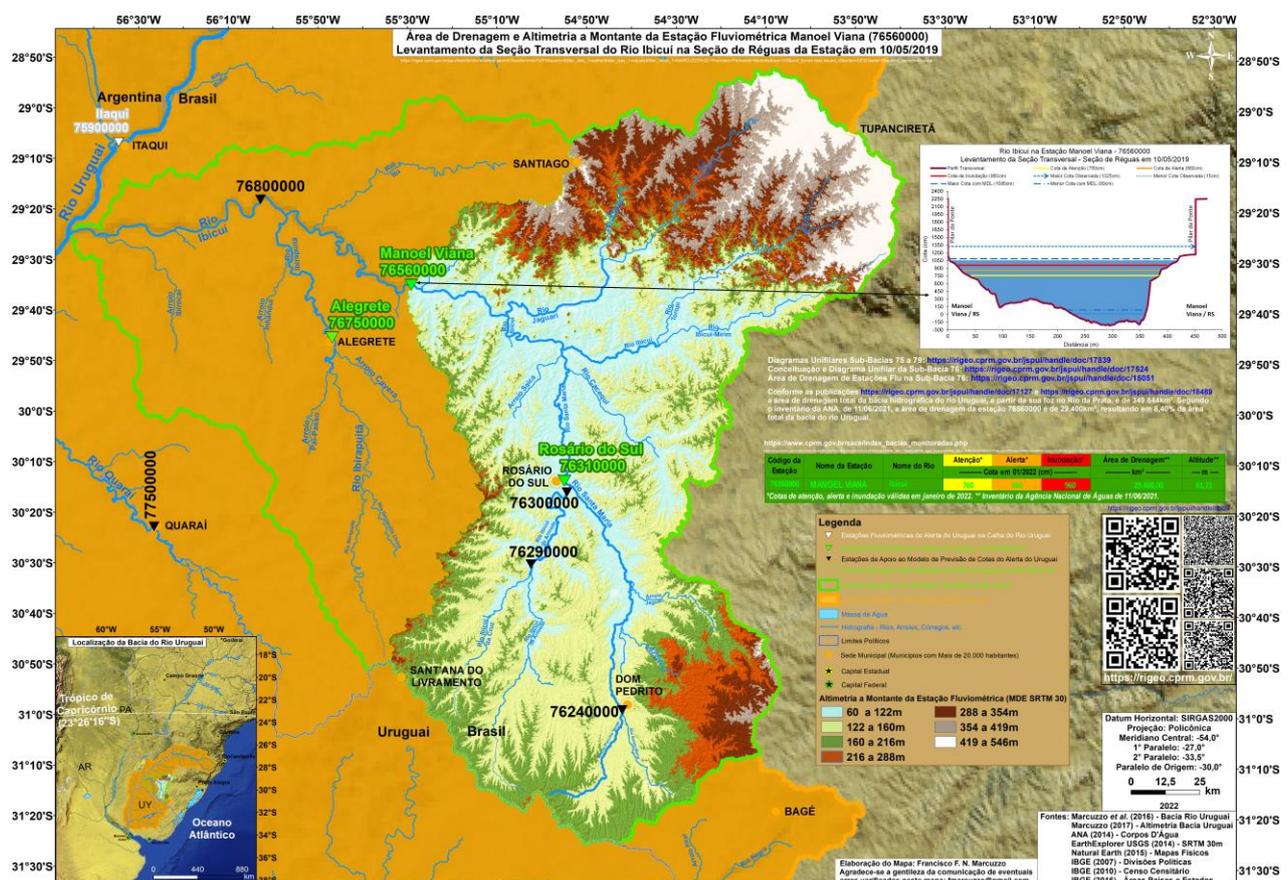


Figura 4 – Área de drenagem e altimetria a montante da estação fluviométrica Manoel Viana (76560000) no rio Ibicuí.

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
Figura 1 – Bacia do rio Uruguai e sub-bacia 76	<a href="https://drive.google.com/file/d/1Fc4h_m0E6VDwwf8xOOAMaCs926T59jn1/view?usp=sharing">https://drive.google.com/file/d/1Fc4h_m0E6VDwwf8xOOAMaCs926T59jn1/view?usp=sharing</a> <a href="https://drive.google.com/file/d/1eWoHxBJNp3v2C0lrj2Iwp4_8iURVWgDC/view?usp=sharing">https://drive.google.com/file/d/1eWoHxBJNp3v2C0lrj2Iwp4_8iURVWgDC/view?usp=sharing</a>
Figura 3 – Área de drenagem da estação Alegrete	<a href="https://drive.google.com/file/d/1Js-qBII3G8IFXRm5UIOSjXRojMsu9ZJp/view?usp=sharing">https://drive.google.com/file/d/1Js-qBII3G8IFXRm5UIOSjXRojMsu9ZJp/view?usp=sharing</a>
Figura 4 – Área de drenagem de Rosário do Sul	<a href="https://drive.google.com/file/d/1XU72Fp1HfqCRvlyZT20E_QgF7aM9XfrY/view?usp=sharing">https://drive.google.com/file/d/1XU72Fp1HfqCRvlyZT20E_QgF7aM9XfrY/view?usp=sharing</a>
Figura 5 – Área de drenagem de Manoel Viana	<a href="https://drive.google.com/file/d/1qIEJvg_VRHmirZGVqkLtMQQWi4rGx9h8/view?usp=sharing">https://drive.google.com/file/d/1qIEJvg_VRHmirZGVqkLtMQQWi4rGx9h8/view?usp=sharing</a>
Planilha de aplicação do TR em Alegrete	<a href="https://docs.google.com/spreadsheets/d/1adEA1Msmmw9mD5ZH6H-wayaABw2D/edit?usp=sharing&amp;ouid=100577311085498659823&amp;rtfpof=true&amp;sd=true">https://docs.google.com/spreadsheets/d/1adEA1Msmmw9mD5ZH6H-wayaABw2D/edit?usp=sharing&amp;ouid=100577311085498659823&amp;rtfpof=true&amp;sd=true</a>
Planilha de aplicação do TR em Rosário do Sul	<a href="https://docs.google.com/spreadsheets/d/1PbQYUeVg3fSmk7uDXrFp1ry9XigSWrCD/edit?usp=sharing&amp;ouid=100577311085498659823&amp;rtfpof=true&amp;sd=true">https://docs.google.com/spreadsheets/d/1PbQYUeVg3fSmk7uDXrFp1ry9XigSWrCD/edit?usp=sharing&amp;ouid=100577311085498659823&amp;rtfpof=true&amp;sd=true</a>
Planilha de aplicação do TR em Manoel Viana	<a href="https://docs.google.com/spreadsheets/d/1Uq6_dVD9aQ4iiu3fXHKqSk2kniMFh0/edit?usp=sharing&amp;ouid=100577311085498659823&amp;rtfpof=true&amp;sd=true">https://docs.google.com/spreadsheets/d/1Uq6_dVD9aQ4iiu3fXHKqSk2kniMFh0/edit?usp=sharing&amp;ouid=100577311085498659823&amp;rtfpof=true&amp;sd=true</a>
Apresentação Deste Trabalho em PDF	<a href="https://drive.google.com/drive/folders/1feVr98QLHkVhL_TeiXZ84nb39yZ-kY5w?usp=sharing">https://drive.google.com/drive/folders/1feVr98QLHkVhL_TeiXZ84nb39yZ-kY5w?usp=sharing</a>
LSTs – Levantamentos de Seção Transversal	<a href="https://docs.google.com/spreadsheets/d/1lccqLjA5MQ4YeCvVRIUhvYeMsZ8kA4X/edit?usp=sharing&amp;rtfpof=true&amp;sd=true">https://docs.google.com/spreadsheets/d/1lccqLjA5MQ4YeCvVRIUhvYeMsZ8kA4X/edit?usp=sharing&amp;rtfpof=true&amp;sd=true</a>
Localização das estações – KMZ – Google Earth	<a href="https://drive.google.com/drive/folders/1lx-GxDLJ4pwtjZWgnv5ZJUOzLmWZu4VM?usp=sharing">https://drive.google.com/drive/folders/1lx-GxDLJ4pwtjZWgnv5ZJUOzLmWZu4VM?usp=sharing</a>
Delimitação e altimetria da bacia do rio Uruguai	<a href="https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/18489">https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/18489</a> e <a href="https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/17127">https://rigeo.cprm.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 cotas 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 da 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 cotas máximas por ano hidrológico. As distribuições candidatas são a distribuições de Gumbel e 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:

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

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 (2022a,b,c).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de frequência local dos níveis do rio Ibirapuitã em Alegrete (76750000), rio Santa Maria em Rosário do Sul (76310000), e rio Ibicuí em Manoel Viana (76560000), apresentadas com maior detalhamento nos trabalhos publicados por Marcuzzo e Pinto (2022a,b,c), foi efetuada utilizando a série de cotas máximas por ano civil (01/Jan a 31/Dez), visto que não há definição de início e fim do ano hidrológico na região, conforme relatado por Marcuzzo e Melati (2016; 2017).

No teste de Grubbs e Beck, para limites inferiores e superiores, houve um limite inferior para a estação de Alegrete. A cota de 535cm, de 24/08/1989, estava abaixo do limite inferior do teste Grubbs e Beck, que ficou em 558,64cm, quando a cota de 535cm estava presente. Retirando-se essa cota de 535cm, o limite inferior vai para 618,73cm para a estação de Alegrete. Já para a estação de Rosário do Sul houveram dois limites inferiores, a cota de 230cm de 18/06/2020 era menor que o limite inferior do teste, que era de 243cm. Após retirar essa cota de 230cm, ao limite inferior pelo teste foi para 274,8cm, o que resultou na exclusão da cota de 273cm, de 11/11/2006. Retirando-se essa cota de 273cm, o limite inferior vai para 307,82cm em Rosário do Sul.

A distribuição de frequência selecionada foi a Log-Normal para as três estações, com os parâmetros calculados pelo Método dos Momentos-L. Para Alegrete, das duas distribuições candidatas, Gumbel foi rejeitada pelo teste de aderência e Log-Normal não foi rejeitada. Já para Rosário do Sul e Manoel Viana, as duas distribuições candidatas, Gumbel e Log-Normal, não foram rejeitadas pelo teste de aderência. A distribuição Log-Normal também apresentou um menor desvio padrão dos resíduos entre a distribuição empírica e a teórica para as três estações fluviométricas estudadas. 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 1.100cm, a partir dos valores em torno de 1.300cm, as curvas passam a dispensar e se afastar da probabilidade empírica estabelecida a partir da frequência de ocorrências. Mosini (2018), em um estudo de cotas máximas do rio Uruguai, associadas a diferentes períodos de retorno para Itaqui/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. A Figura 5 apresenta o gráfico com as distribuições empírica e teórica ajustadas para as três estações.

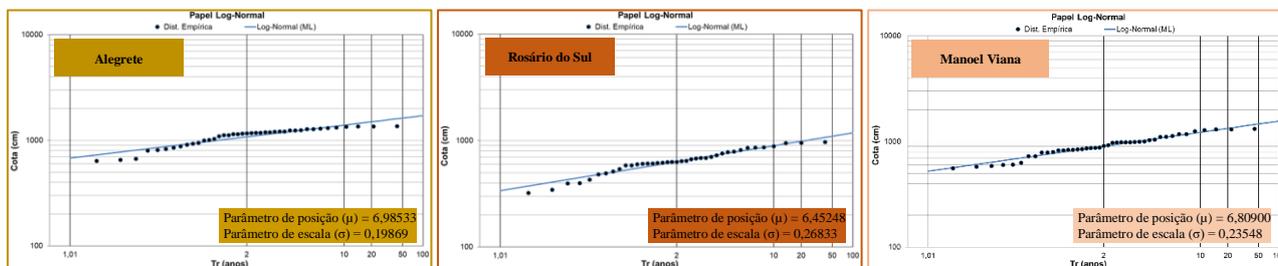


Figura 5 – Ajuste das distribuições empírica e teórica Log-Normal das estações Alegrete, Rosário do Sul e Manoel Viana.

A equação 1 é válida para tempos de retorno de 1,01 até 100 anos da Tabela 1. O parâmetro de posição da equação 1 ficou 6,98533 para Alegrete, 6,45248 para Rosário do Sul e 6,80900 para Manoel Viana); já o parâmetro de escala ficou 0,19869 para Alegrete, 0,26833 para Rosário do Sul e 0,23548 para Manoel Viana. A Tabela 1 apresenta as cotas associadas a diferentes tempos de retorno

da estação Alegrete (76750000), Rosário do Sul (76310000) e Manoel Viana (76560000) pelo modelo de distribuição de frequência Log-Normal com o Método de Momentos-L.

Tabela 1 – Cotas a serem alcançadas, em centímetros, para diferentes tempos de retorno (de 2 a 100 anos).

Estações	Tempo de Retorno, T (anos)												
	2	5	10	15	20	25	30	40	50	60	75	90	100
	Cotas (cm)												
ALEGRETE	1081	1277	1394	1456	1498	1530	1556	1595	1625	1649	1679	1702	1716
ROSÁRIO DO SUL	634	795	895	949	986	1015	1037	1073	1101	1123	1150	1171	1184
MANOEL VIANA	906	1105	1225	1290	1335	1368	1395	1437	1469	1495	1527	1552	1567

A maior cheia histórica, até a presente data (06/2022), registrada na estação Alegrete (76750000), foi em 11/04/1959 (Tabela 2), quando o rio Ibirapuitã alcançou a cota de 1.445cm, segundo os dados disponíveis na estatística das cotas médias do banco bruto. Para esta cota de 1.445cm o TR estimado é de 13,92 anos e uma probabilidade deste evento ser igualado ou superado de 7,18% em um ano qualquer (Tabela 2). Neste trabalho utilizou-se a série histórica da Dupla Leitura (DL) a partir de janeiro de 1974, cujos dados são disponibilizados no Anexo III de Marcuzzo e Pinto (2022a). A segunda maior cota registrada, considerando as séries de DL e leitura média, com dados disponíveis em janeiro de 2022, é a de 1.364cm, que ocorreu na DL em 15/04/1992, com tempo de retorno estimado de 8,29 anos para este estudo. Segundo Menezes, Robaina e Trentin (2021), no trabalho sobre zoneamento e classificação das áreas de risco a inundação no município de Alegrete/RS, 179 edificações no município são afetadas nas condições classificadas como de risco alto. Segundo os autores, esse grau de risco é caracterizado por condições severas de tempo de retorno de dois anos, mas com vulnerabilidade caracterizada por áreas bem estruturadas em termos de infraestrutura e padrão de construção e, também, associado a áreas de tempo de retorno de cinco anos e vulnerabilidades de médio a alto. Segundo Marcuzzo e Pinto (2022a) a menor cota observada em Alegrete, de 46cm, em 04/03/1965, é do banco de dados da leitura média, já para os dados disponíveis de DL, a menor cota observada foi de 50cm em 10/04/1997 e 28/01/2009.

Para a estação de Rosário do Sul (76310000), a maior cheia histórica registrada, até a presente data (06/2022), foi em 15/04/1992, quando alcançou a cota de 971cm as 17h, resultando em um TR de 17,78 anos e uma probabilidade deste evento ser igualado ou superado de 5,62% em um ano qualquer (Tabela 2), considerando os dados do banco de cotas médias e do banco cotas DL disponibilizado por Marcuzzo e Pinto (2022b) no Anexo III.

Na estação Manoel Viana (76560000), a maior cheia histórica registrada foi em 19/04/1992, até a presente data (06/2022), quando alcançou a cota de 1.325cm as 17h, resultando em um TR de 18,79 anos e uma probabilidade deste evento ser igualado ou superado de 5,32% em um ano qualquer (Tabela 2). As 7h do mesmo dia, alcançou 1.324cm, considerando os dados do banco de cotas médias e do banco cotas DL de Marcuzzo e Pinto (2022c). Observa-se que a maior cheia histórica de Rosário do Sul (76310000), a montante de Manoel Viana (Figuras 1 e 4), no rio Santa Maria, afluente do rio Ibicuí, quatro dias antes, em 15/04/1992, alcançou-se a cota de 971cm as 17h, considerando os dados do banco de cotas médias e do banco cotas DL.

Na Tabela 2 verifica-se que os TRs para as cotas de atenção, alerta, inundação e maior cheia registrada, aumentam conforme aumenta a área de drenagem a montante de cada estação (Quadro 1). 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 e os respectivos tempos de retorno e as probabilidades destas cotas serem igualadas ou superadas.

Nome da Estação	Número de Anos de Dados de Cota Dupla Leitura Disponíveis	Denominação da Cota de Interesse	Cota Disponível em 07/2022 (cm)	Tempo de Retorno (anos)	Probabilidade de a Cota Ser Igualada ou Superada em um Ano Qualquer
ALEGRETE	42	Atenção	750	1,03	97,09%
		Alerta	850	1,13	88,50%
		Inundação	970	1,42	70,42%
		Maior Cheia Histórica Registrada (11/04/1959)	1.445	13,92	7,18%
ROSÁRIO DO SUL	40	Atenção	450	1,11	90,09%
		Alerta	550	1,42	70,42%
		Inundação	650	2,16	46,30%
		Maior Cheia Histórica Registrada (15/04/1992)	971	17,78	5,62%
MANOEL VIANA	43	Atenção	760	1,30	76,92%
		Alerta	860	1,70	58,82%
		Inundação	960	2,48	40,32%
		Maior Cheia Histórica Registrada (19/04/1992)	1.325	18,79	5,32%

#### 4. CONCLUSÃO

Analisou-se o ajuste das distribuições teóricas de probabilidade Log-Normal e Gumbel à série histórica das cotas máximas, 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 por apresentar os menores resíduos entre a distribuição teoria e empírica nos três rios nas três estações estudadas da sub-bacia 76. Os tempos de retorno, em anos, encontrados para as cotas de atenção, alerta e de inundação dos rios Ibirapuitã, Santa Maria e Ibicuí, foram, para seus respectivos postos: Alegrete (1,03; 1,13; 1,42), Rosário do Sul (1,11; 1,42; 2,16) e Manoel Viana (1,30; 1,70; 2,48). Já para as maiores cheias registradas, os tempos de retorno para as cotas máximas dupla leitura estudadas foram, respectivamente para as estações de Alegrete, Rosário do Sul e Manoel Viana: 13,9 anos, para uma série histórica de 42 anos e a maior cheia histórica registrada de 1.445cm em 11/04/1959; 17,8 anos, para 40 anos de série histórica e a maior cheia de 971cm em 15/04/1992; e 18,8 anos, para 43 anos de série histórica e a maior cheia registrada de 1.325cm em 19/04/1992.

#### 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.cprm.gov.br/handle/doc/17189>. Acesso em: 10 nov. 2021.
- 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.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/21529>. Acesso em: 05 mar. 2021.
- 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.cprm.gov.br/handle/doc/18491>. Acesso em: 13 set. 2021.

- 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.cprm.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.cprm.gov.br/handle/doc/19640>. 13 set. 2021.
- 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.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/18201>. Acesso em: 02 mar. 2021.
- 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. 2021.
- 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.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/15051>. Acesso em: 14 set. 2021.
- 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.cprm.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.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/17524>. Acesso em: 14 set. 2021.
- 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.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/18489>. Acesso em: 03 abr. 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.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/17183>. Acesso em: 06 mar. 2021.
- 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 Ibicuí, estação fluviométrica Manoel Viana, código 76560000, município atendido Manoel Viana, RS.** Porto Alegre: CPRM, 2022. 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.cprm.gov.br/handle/doc/22860>. Acesso em: 25 ago. 2022.
- 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 Ibirapuitã, estação fluviométrica Alegrete, código 76560000, município atendido Alegrete, RS.** Porto Alegre: CPRM, 2022. 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.cprm.gov.br/handle/doc/22873>. Acesso em: 25 ago. 2022.
- 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 Santa Maria, estação fluviométrica Rosário do Sul, código 76310000, município atendido Rosário do Sul, RS.** Porto Alegre: CPRM, 2022. 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.cprm.gov.br/handle/doc/22857>. Acesso em: 25 ago. 2022.
- 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.cprm.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.cprm.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.cprm.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.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/17448>. Acesso em: 28 Jun. 2019.
- 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 (PPGGEO), da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) 2018. 267p. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/16498>. Acesso em: 03 mai. 2022.
- MENEZES, D. J.; ROBAINA, L. E. de S.; TRENTIN, R. Zoneamento e classificação das áreas de risco a inundação no município de Alegrete, RS. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, [S.l.], v. 50, p. 136- 152, abr. 2021. ISSN 21772738. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/69424>. Acesso em: 01 jul. 2022.
- 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.
- MULLER, 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.cprm.gov.br/handle/doc/21544>. Acesso em: 13 set. 2021.
- NAGHETTINI, M.; PINTO, É. J. de A. **Hidrologia estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007. Disponível em: <https://rigeo.cprm.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: CPRM, 2013. Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade. Disponível em: <http://rigeo.cprm.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: CPRM, 2011. 1 DVD. Escala 1.5:000.000. SIG, v. 2.0 - atualizada 11/2011; Levantamento da Geodiversidade. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Estudos-Hidrologicos-e-Hidrogeologicos/Atlas-Pluviometrico-do-Brasil-6604.html>.
- 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.cprm.gov.br/handle/doc/17839>. Acesso em: 29 ago. 2022.