

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – SGB/CPRM
DIRETORIA DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL
DEPARTAMENTO DE HIDROLOGIA
SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE PORTO ALEGRE

PROGRAMA GESTÃO DE RISCO E DE DESASTRES
AÇÃO LEVANTAMENTOS, ESTUDOS, PREVISÃO E ALERTA DE EVENTOS
HIDROLÓGICOS CRÍTICOS

**PROJETO DE REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES NAS
BACIAS HIDROGRÁFICAS BRASILEIRAS**

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

Francisco Fernando Noronha Marcuzzo
Eber José de Andrade Pinto



PORTO ALEGRE

2022

PROGRAMA GESTÃO DE RISCO E DE DESASTRES
AÇÃO LEVANTAMENTOS, ESTUDOS, PREVISÃO E ALERTA DE
EVENTOS HIDROLÓGICOS CRÍTICOS

PROJETO DE REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES
NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS BRASILEIRAS

ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DE COTAS DOS SISTEMAS DE ALERTA

Executado pelo Serviço Geológico do Brasil – SGB/CPRM
Superintendência Regional de Porto Alegre

Copyright @ 2022 CPRM - Superintendência Regional de Porto Alegre
Rua Banco da Província, 105 - Bairro Santa Teresa
Porto Alegre / RS – 90.840-030
Telefone: 0(xx) (51) 3406-7300
Fax: 0(xx) (51) 3233-7772
<http://www.cprm.gov.br>

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

A532 Marcuzzo, Francisco Fernando Noronha
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 / Francisco Fernando Noronha Marcuzzo; Eber José de Andrade Pinto. – Porto Alegre: CPRM, 2022.
1 recurso eletrônico: PDF

Título da capa: Projeto de Regionalização nas Bacias Hidrográficas Brasileiras. Programa Gestão de Riscos e de Desastres. Ação Levantamentos, Estudos, Previsão e Alerta de Eventos Hidrológicos Críticos. ISBN 978-65-5664-262-8

1. Hidrologia – Brasil. 2. Regionalização de Vazões. 3. Análise de Frequência Local. I. Marcuzzo, Francisco Fernando Noronha. II. Pinto, Eber José de Andrade. III. Título. III. Título da capa: Projeto de Regionalização nas Bacias Hidrográficas Brasileiras.

CDD 551.48

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Ana Lúcia Borges Fortes Coelho – CRB10 - 840

Direitos desta edição: Serviço Geológico do Brasil – SGB/CPRM

É permitida a reprodução desta publicação desde que mencionada a fonte

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

MINISTRO DE ESTADO

Bento Albuquerque

SECRETÁRIO EXECUTIVO

Marisete Fátima Dadald Pereira

SECRETÁRIO DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL

Pedro Paulo Dias Mesquita

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM/SGB)

CONSELHO DE ADMINISTRAÇÃO

Presidente

Lília Mascarenhas Sant'Agostino

Vice-Presidente

Fernando Antônio Freitas Lins

Conselheiros

Cassio Roberto da Silva

Geraldo Medeiros de Moraes

Gabriela Valente

DIRETORIA EXECUTIVA

Diretor-Presidente

Esteves Pedro Colnago

Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial

Alice Silva de Castilho

Diretor de Geologia e Recursos Minerais

Márcio José Remédio

Diretor de Infraestrutura Geocientífica

Paulo Afonso Romano

Diretor de Administração e Finanças

Cassiano de Souza Alves

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE PORTO ALEGRE

Alexandre Trevisan Chagas (interino)
Superintendente

Franco Turco Buffon
Gerente de Hidrologia e Gestão Territorial

Carla Klein
Gerente de Geologia e Recursos Minerais

Ana Cristina Bomfim Peixoto
Gerente de Infraestrutura Geocientífica

Alexandre Trevisan Chagas
Gerente de Administração e Finanças

REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES NAS BACIAS BRASILEIRAS

Departamento de Hidrologia
Frederico Cláudio Peixinho

Divisão de Hidrologia Aplicada
Adriana Dantas Medeiros
Achiles Monteiro (*In memoriam*)

Coordenação Executiva do DEHID
Estudos de Regionalização nas Bacias Hidrográficas Brasileiras
Eber José de Andrade Pinto

Equipe Executora

Cynthia Pedrosa Teixeira – RETE
Denise Christina de Rezende Melo – SUREG/GO
Francisco F. N. Marcuzzo – SUREG/PA
Múcio Valença Virões – SUREG/RE
Myrla de Souza Batista Vieira – SEDE
Paula Kristhina Cordeiro Freire – REFO

Sistema de Informações Geográficas e Mapa

Ivete Souza do Nascimento – SUREG/BH

Equipe de Apoio Local – Cotas e Levantamentos de Seções Transversais

Luciano Träsel – SUREG/PA
Rejane Bao – SUREG/PA

APRESENTAÇÃO

O projeto Regionalização de Vazões nas Bacias Hidrográficas Brasileiras é uma iniciativa dentro do programa de Gestão de Riscos e de Desastres que tem por objetivo ampliar o conhecimento sobre a disponibilidade hídrica no território nacional, bem como, sobre a frequência de ocorrência das vazões e/ou das cotas.

O conhecimento da disponibilidade de água doce de uma bacia hidrográfica é o principal instrumento de gestão de recursos hídricos, com base no qual pode ser concedido de forma adequada e sustentável o direito de uso deste bem, seja para fins energéticos, de irrigação, de abastecimento e outros. Além disto, o conhecimento da frequência é uma informação útil para o planejamento nos setores elétrico, agrícola, abastecimento público e na adoção de políticas públicas.

Dentre os objetivos da ação dos Levantamentos, Estudos, Previsão e Alerta de Eventos Hidrológicos Críticos, destaca-se a realização de estudos de análise de frequência local das séries históricas de vazões máximas ou cotas máximas das estações fluviométricas.

A análise de frequência possibilita a determinação das vazões máximas ou cotas máximas associadas a uma probabilidade de ser igualda ou superada. Os resultados da análise, ou seja, os quantis, serão utilizados como valores de projeto no dimensionamento de diversas estruturas hidráulicas ou de aproveitamento dos recursos hídricos. Esta análise estatística também pode ser utilizada de forma inversa, ou seja, estimar a frequência de um evento de cheia ocorrido, definindo se o evento foi raro ou ordinário. Tipo de informação que é bastante útil para sistemas de alerta de cheias que poderão divulgar, além das previsões e dos valores observados, a raridade do evento acompanhado.

Este estudo apresenta os resultados da análise de frequência das cotas máximas observadas no rio Uruguai, especificamente na estação fluviométrica Passo São Borja, código 75780000. Esta estação fluviométrica faz parte do Sistema de Alerta de Eventos Críticos (SACE) da bacia do rio Uruguai e constitui um ponto de acompanhamento das vazões e cotas na cidade de São Borja, no Estado do Rio Grande do Sul, na fronteira com a Argentina.

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO	01
2 – METODOLOGIA PARA ANÁLISE DE FREQUÊNCIA LOCAL	09
3 – RESULTADOS DA ANÁLISE DE FREQUÊNCIA LOCAL.....	11
4 – EXEMPLOS DE APLICAÇÃO.....	13
5 – REFERÊNCIAS	16
ANEXO I	21
ANEXO II	28
ANEXO III	31

LISTA DE FIGURAS

- Figura 01 – Localização das estações fluviométricas do SAH da bacia do rio Uruguai
Figura 02 – Localização e fotos da seção de réguas da estação Passo São Borja
Figura 03 – Perfil da seção transversal da seção de réguas de Passo São Borja
Figura 04 – Cotas máximas anuais registradas nos boletins dupla leitura, e as linhas representando as cotas de atenção, alerta e inundação
Figura 05 – Ajuste das distribuições empírica e teórica

LISTA DE TABELAS

- Tabela 01 – Número e percentual de anos com cotas menores e maiores que a cota de atenção, e maiores que as cotas de alerta e inundação
Tabela 02 – Cotas, em centímetros, para diferentes tempos de retorno, em anos

ANEXOS

- Anexo I – Ficha Descritiva, Ficha Complementar e Croqui da Estação Fluviométrica
Anexo II – Distribuições de Gumbel, Log-normal e Normal
Anexo III – Dados Utilizados e as Estatísticas

1 – INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica do rio Uruguai é formada desde as nascentes do rio Pelotas e do rio Canoas e estende-se até o estuário do rio da Prata, no fim da fronteira entre Uruguai e Argentina (GUIMARÃES; FINCK; MARCUZZO, 2017). A bacia hidrográfica do rio Uruguai é transfronteiriça e interestadual, possuindo uma área de drenagem total de 349.843km² (MARCUIZZO, 2017; 2018) considerando o seu exutório no rio da Prata (*rio de la Plata*). Sendo que, deste total, a área territorial da bacia do rio Uruguai no Brasil é de 174.078km² (49,76%), dividindo-se no estado do Rio Grande do Sul com 126.372km² (36,11%) e no estado de Santa Catarina com 95.733km² (13,65%). Já área territorial da bacia do rio Uruguai na Argentina é de 62.005km² (17,72%), no Uruguai de 113.179km² (32,35%) e 583km² (0,17%) de massa d'água. O ponto mais alto da bacia, com 1.822m, está entre Urubici e Bom Retiro, em Santa Catarina, nas coordenadas 49°19'12,3"O e 27°54'31,3"S, na divisa entre as sub-bacias 71, 83 e 84 (MARCUIZZO; SOUZA; ALMEIDA, 2016; MARCUZZO, 2017). Segundo portaria nº 447 do MME, de 20/12/1976, a bacia do rio Uruguai é a de número 7, subdividida em 10 grandes sub-bacias, da 70 a 79, e como instituído pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) na Resolução 32/2003, faz parte da região hidrográfica de número 11, denominada Região Hidrográfica do Uruguai. É limitada ao norte pela região hidrográfica do Paraná, a oeste pela Argentina e ao sul pelo Uruguai. Os principais rios da bacia do rio Uruguai, segundo Melati e Marcuzzo (2015), são: na sub-bacia 70 os rios Pelotas, Bernardo José e Lava-Tudo; na sub-bacia 71 os rios Canoas, das Caveiras e Ibicuí; na sub-bacia 72 os rios Uruguai, do Peixe, Forquilha e Apuaê; na sub-bacia 73 os rios Uruguai, Passo Fundo, Chapecó e Irani; na sub-bacia 74 os rios Uruguai, das Almas, da Várzea e Guarita; na sub-bacia 75 os rios Uruguai, Ijuí, Piratini, Icamaquã e Santa Maria; na sub-bacia 76 os rios Ibicuí, Ibirapuitã e Jaguarí; na sub-bacia 77 os rios Uruguai, Quaraí, Touro Passo e Arroio Garupá; na sub-bacia 79 os rios Negro, São Luís e Arroio Pirai.

Nos mapas de distribuição espacial de precipitação média mensal da bacia do rio Uruguai, publicados por Guimarães, Finck e Marcuzzo (2017) utilizando os dados de Pinto *et al.* (2011), é possível visualizar que a sua sub-bacia 75, possui o mês de agosto na sua metade Sul e Março na sua metade Norte como os menos chuvosos e abril em sua metade Sul e Outubro em sua metade Norte como os meses mais chuvosos. Verifica-se, segundo os autores, que agosto é considerado o mês mais seco, em média, em toda a bacia do rio Uruguai com, na média, 54 postos pluviométricos apresentando essa característica. Já a sub-bacia 73, mais ao centro norte da bacia do rio Uruguai, apresentou a maior precipitação média anual, com 1.964mm.ano⁻¹, e que a maior precipitação média mensal foi de 229mm, em outubro, na sub-bacia 74, na porção mais setentrional da bacia do rio Uruguai, no município de Dionísio Cerqueira, do estado de Santa Catarina. Assim, segundo os autores, outubro é considerado o mês mais chuvoso da bacia do rio Uruguai com, na média, 66 postos pluviométricos apresentando essa característica. A amplitude de precipitação média anual entre as sub-bacias da bacia do rio Uruguai, em sua parte brasileira, é, em média, de 509mm.ano⁻¹.

As cheias na bacia do rio Uruguai são fenômenos naturais que fazem parte da dinâmica fluvial natural. Segundo a Agência Nacional de Águas - ANA (2001), os

condicionantes das enchentes na bacia podem ser analisados de acordo com o tamanho das bacias. Na parte superior, onde a declividade é alta e os tempos de deslocamentos são pequenos, as enchentes podem ocorrer devido a precipitações intensas com pequena abrangência espacial, enquanto que no trecho médio do rio Uruguai as enchentes são devido à ocorrência de precipitações de longa duração sobre grande parte da bacia, como ocorreu em 1972, 1983, 1990, 1992, 1997, 2014 e 2015 (PEDROLLO; SOTÉRIO; GERMANO, 2017). As enchentes atingem principalmente a população ribeirinha, ao longo do rio principal e em alguns afluentes, como os rios Ibirapuitã, Santa Maria e Quaraí. As cidades mais atingidas no rio principal são Marcelino Ramos, Iraí, Porto Lucena, Porto Xavier, São Borja, Itaqui e Uruguai. Além de vir a reduzir consideravelmente os prejuízos sociais e econômicos, o sistema de alerta hidrológico ajudará a suprir a demanda por dados confiáveis, precisos e disponíveis no tempo adequado pelas entidades interveniente em recursos hídricos, na bacia objeto deste projeto (PEDROLLO; SOTÉRIO; GERMANO, 2017).

Segundo o relatório anual de 2020 do Sistema de Alerta de Eventos Críticos (SACE) da Bacia do rio Uruguai (MATTIUIZI; BUFFON, 2020), o mesmo entrou em operação em dezembro de 2018 e realiza previsão de níveis para seis municípios: Uruguai, Itaqui e São Borja (localizados na calha do rio Uruguai), Alegrete (rio Ibirapuitã), Manoel Viana (rio Ibicuí), e Rosário do Sul (rio Santa Maria). Desde o início da operação até o ano de 2020 foram emitidos 111 boletins de alerta de cheia.

No Brasil, a bacia hidrográfica do rio Uruguai abrange ao todo 395 municípios, sendo 228 no Rio Grande do Sul e 167 em Santa Catarina. A população total residente nessa região, conforme o Censo do IBGE (2010) é de 4.753.431 habitantes; sendo 63% no Rio Grande do Sul e 27% em Santa Catarina (MATTIUIZI; BUFFON, 2020). Até março de 2021 as previsões de cota, realizadas para as seis estações já citadas, atingem uma população total de aproximadamente 349 mil pessoas (IBGE, 2010). Os municípios atendidos, até janeiro de 2022, todos no estado do Rio Grande do Sul, pelo Sistema de Alerta de Eventos Críticos da bacia do rio Uruguai (<https://www.cprm.gov.br/sace/>) são: Uruguai (125.435 habitantes), Alegrete (77.653 habitantes), São Borja (61.671 habitantes), Rosário do Sul (39.707 habitantes), Itaqui (38.159 habitantes) e Manoel Viana (7.072 habitantes).

O Serviço Geológico do Brasil – CPRM, possui em seu Repositório Institucional em Geociências (RIGEO - <http://rigeo.cprm.gov.br/>) relatórios com a delimitação das áreas em alto e muito alto risco a enchentes, inundações e movimentos de massa dos municípios que o SACE emite previsão de cotas na bacia do rio Uruguai: Uruguai (HOELZEL; LAMBERTY, 2014), Alegrete (SILVA; SILVA, 2013), São Borja (PEIXOTO; HOELZEL, 2015), Rosário do Sul (SILVA; SILVA, 2012) e Itaqui (SILVA; SILVA, 2013).

Conforme o inventário de estações fluviométricas e pluviométricas da Agência Nacional de Águas de 10/09/2021 (ANA, 2021), a bacia hidrográfica do rio Uruguai conta com 75 estações fluviométricas (32 telemétricas) e 180 estações pluviométricas (83 telemétricas), sendo oito com registrador de chuva e 172 convencionais em operação, totalizando 255 estações pertencentes à Rede Hidrometeorológica Nacional, sob responsabilidade da ANA, que são operadas pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM, Superintendência Regional de Porto Alegre/RS.

A localização das 32 estações fluviométricas que compõem o Sistema de Alerta Hidrológico da bacia do rio Uruguai, em janeiro de 2022, está apresentada na Figura 01. Mapas das áreas de drenagem das estações do Alerta Hidrológico da Bacia do Uruguai podem ser baixados clicando [AQUI \(PDF\)](#) e [AQUI \(PNG\)](#). Nota-se que, até a data de elaboração deste texto, das 32 estações fluviométricas, seis possuem previsão de cotas no SACE (<https://www.cprm.gov.br/sace/>) e 26 são estações de apoio para o modelo.

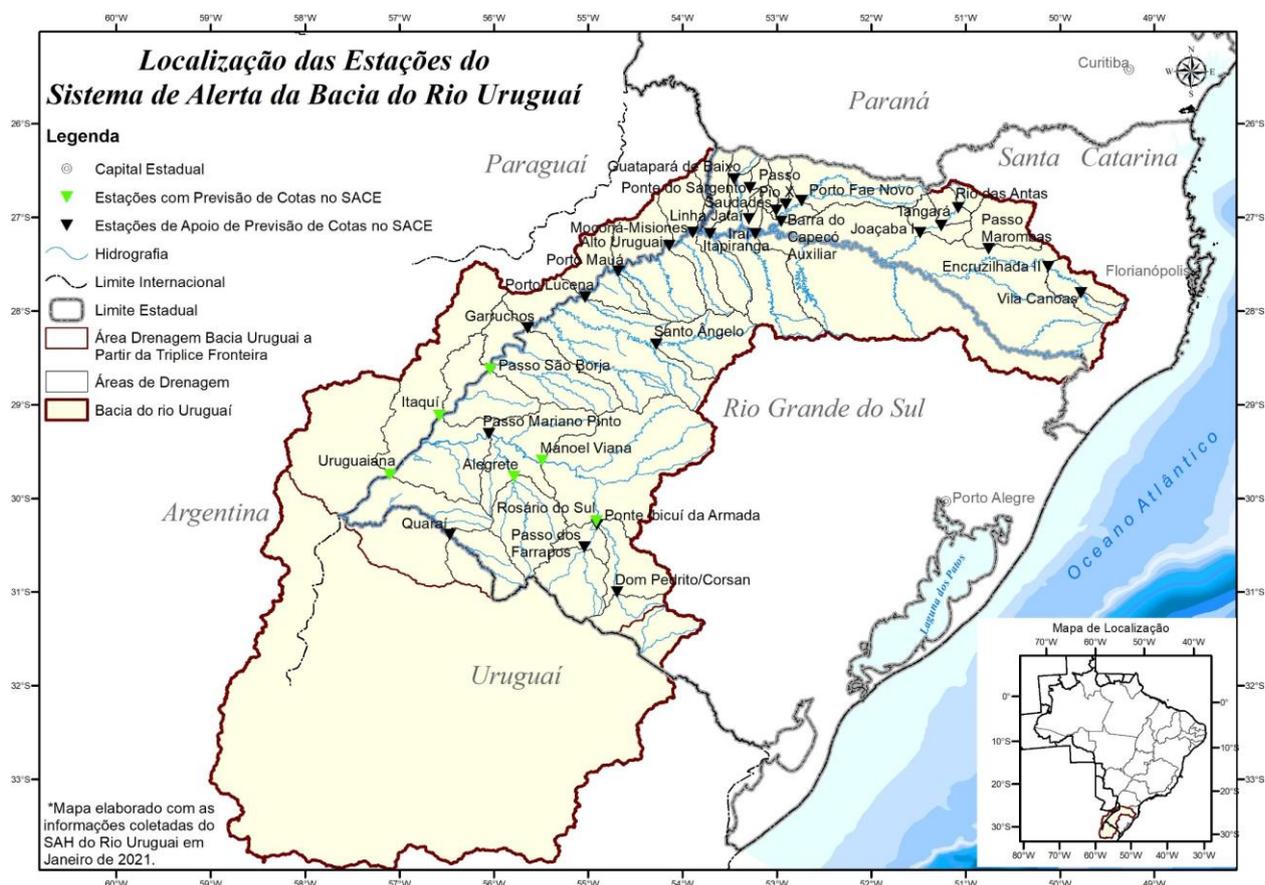


Figura 01 – Localização das estações fluviométricas do SAH da bacia do rio Uruguai

A estação de Passo São Borja, código 75780000, está localizada na Latitude $28^{\circ}37'28''S$ e Longitude $56^{\circ}02'13''O$, na altitude de 47,35m no rio Uruguai e possui uma área de drenagem de 125.000 km², resultando em 35,73% da área total da bacia do rio Uruguai (349.844km², 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. A Figura 02 ilustra a localização e fotos da seção de réguas da estação de Passo São Borja (75780000).

A estação de Passo São Borja possui, desde a sua implementação, em dezembro de 1939, réguas linimétricas instaladas para realização de duas leituras diárias pelo observador dos níveis do rio Uruguai, as 7h e as 17h. Contudo, até janeiro de 2022, estavam disponíveis, para utilização e verificação, apenas arquivos de dupla leitura (DL) a partir de 1974. Descartando alguns anos com falhas, totalizou-se 31 anos completos de dados de dupla leitura de cotas (Anexo III) utilizadas neste estudo de análise de frequências. Os dados são do ano de 1974 e de 1991 a 2020.

Nesta estação, desde 2014, estão instalados equipamentos automáticos para registro contínuo e transmissão dos níveis do rio Uruguai (amostragem a cada 15 minutos e transmissão via satélite a cada 1 hora), ou seja, a estação fluviométrica de Passo São Borja possuía desde a instalação do alerta de cheias da bacia do rio Uruguai um equipamento telemétrico para aquisição de dados de nível e chuva (código da estação pluviométrica: 02856006).



Figura 02 – Localização e fotos da seção de régua da estação Passo São Borja

A estação automática está localizada na metade da ponte internacional da integração sobre o rio Uruguai, aproximadamente 2.500m à montante da seção de régua. A Plataforma de Coleta de Dados (PCD) está alocada em um poste de iluminação a 12m de altura, sendo necessário a utilização de um caminhão com cesto

aéreo para manutenção (a solicitação para manutenção deve ser realizada com ao menos 24h de antecedência na concessionária da ponte). A antena, painel solar e o pluviômetro automático da estação estão fixados em um suporte de duas hastes sobre a caixa da PCD. O sensor de nível é do tipo radar e está fixado na parte inferior da estrutura da ponte, a manutenção do radar requer a presença da empresa concessionária e a utilização de veículo de manutenção da ponte.

A Figura 03 apresenta o levantamento da seção transversal na seção de régua da estação. A Figura 03 também apresenta graficamente as cotas de atenção (700cm), alerta (800cm) e inundação (1.000cm) para a cidade de São Borja/RS, bem como, a maior cota observada e a maior cota com medição de descarga líquida. A maior cota observada/registrada em Passo São Borja (75780000) foi 1.588cm, em 02/07/2014. Na época da grande cheia histórica do rio Uruguai de 1983, considerando apenas os dados de cotas médias, os únicos disponíveis para esta estação no momento da elaboração deste relatório, registrou-se a cota de 1.496cm em 12/07/1983, sendo a terceira maior cheia histórica com registro para a localidade da estação Passo São Borja. Na medição de descarga líquida na cota de 836cm, em 24/05/2017, obteve-se $9.518\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ no rio Uruguai, na localidade da estação de Passo São Borja. Já a menor cota observada foi de 0cm, em 01/05/1970, e a menor cota com medição de descarga líquida foi de 39cm, em 29/04/2012, quando se obteve uma vazão de $405\text{m}^3.\text{s}^{-1}$. Ressalta-se que, os dados e as informações transcritas neste parágrafo, acima, foram obtidos no banco de dados brutos até setembro de 2021, ou seja, a partir desta data os valores de cotas de atenção, alerta, inundação, bem como as maiores e menores cotas, sejam as observadas ou com medição de vazão, poderão sofrer alterações na estação Passo São Borja (75780000).

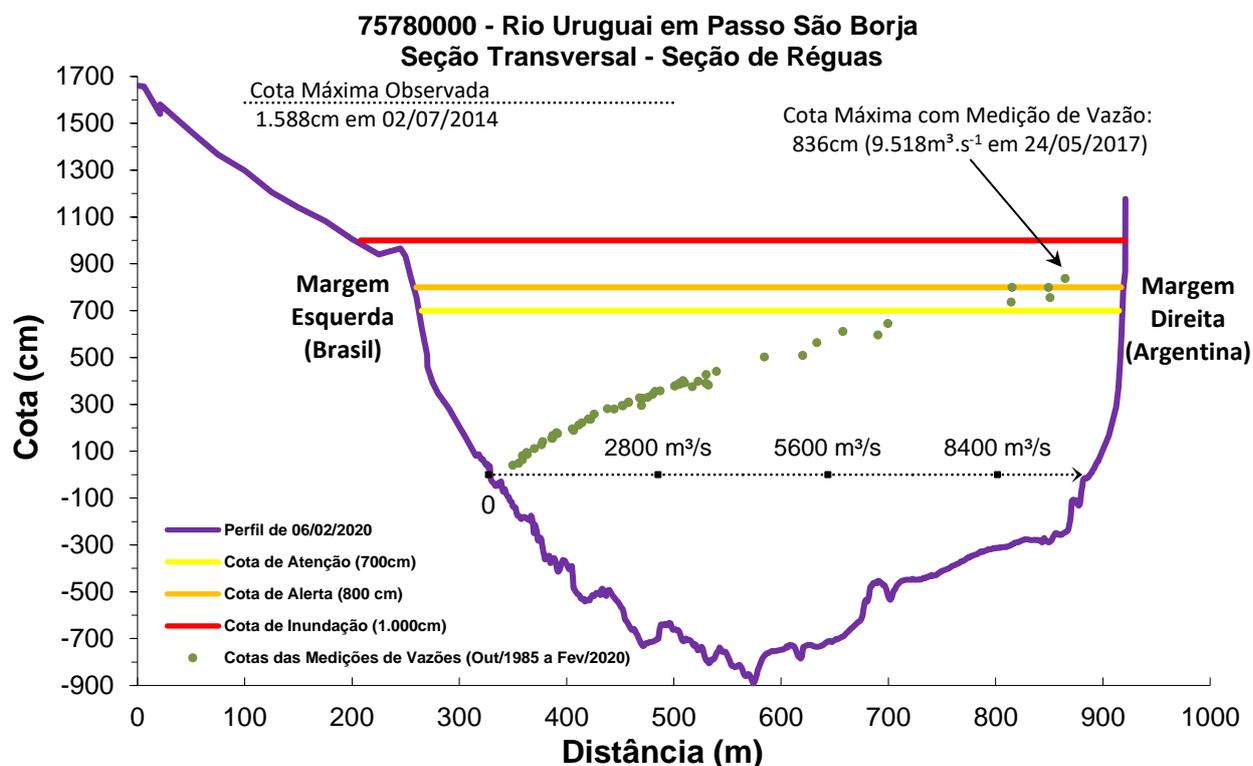


Figura 03 – Perfil da seção transversal da seção de régua de Passo São Borja

Em um estudo que utilizou os Levantamentos de Seção Transversal (LST) das estações do SACE Uruguai, Buffon, Rolim e Marcuzzo (2019) concluíram que a utilização 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. Os autores também relatam que, de montante para jusante, há redução da profundidade ao atingir regiões com baixas declividades e grandes planícies de inundação próximas à São Borja/RS. Assim os autores relatam que a característica dos escoamentos nessa região inclui o transbordamento do canal principal em vastas planícies de inundação e isso reduz drasticamente a velocidade da propagação das ondas de cheia.

Ao longo do histórico da estação, disponível em seu inventário, não se encontrou informação que tenha ocorrido mudança da cota do zero da régua, ou seja, não foram acrescidos 100cm ou outro qualquer valor as cotas da estação. Adverte-se que a cota de inundação, de 1.000cm, se refere ao início do alagamento na cidade de São Borja/RS, a qual está a margem esquerda do rio Uruguai. Maiores detalhes sobre a estação podem ser encontrados na sua ficha descritiva que consta do Anexo I. Detalhamentos da bacia 7, como hidrogeologia, cálculos de subáreas, drenagens de estações e diagramas unifilares, podem ser vistos em Almeida *et al.* (2016), Koefender e Marcuzzo, (2016b), Finck *et al.* (2017), Freitas e Marcuzzo (2017), Souza *et al.* (2017) e Finck (2018).

No Anexo III observa-se que a série de cotas máximas DL, por ano hidrológico, que no caso desta estação fluviométrica foi considerado o mesmo período que o ano civil, apresenta 31 valores registrados, sendo todos os 31 válidos dentro dos limites estatísticos de Grubbs e Beck (NAGHETTINI; PINTO, 2007, p. 287). Conforme se observa na Tabela 01 e na Figura 04, destes 31 valores registrados de cotas máximas DL, em nenhum ano em relação ao total de observações, observou-se cotas máximas anuais menores que a cota de atenção (700cm), ou seja, os 31 registros, portanto, 100%, são superiores a cota de atenção (700cm). Também se observa que 29 registros, ou seja, 94% do total de 31, são superiores a cota de alerta (800cm) e 21 registros, ou seja, 68%, são superiores a cota de inundação (1000cm). O rio Ibicuí, que forma a maior sub-bacia do rio Uruguai, desemboca no rio Uruguai logo a jusante da estação fluviométrica Itaqui, que está logo a jusante de Passo São Borja, podendo afetar, por remanso, as cotas em Itaqui. (KOEENDER, 2015; KOEENDER; MARCUZZO, 2015, 2016a,b).

Tabela 01 – Número e percentual de anos com cotas menores e maiores que a cota de atenção, e maiores que as cotas de alerta e inundação

Número Total de Anos com Dados Dupla Leitura	31	% em Relação ao Total
Nº de Anos com Cotas Maiores que Inundação	21	68%
Nº de Anos com Cotas Maiores que Alerta	29	94%
Nº de Anos com Cotas Maiores que Atenção	31	100%
Nº de Anos com Cotas Menores que Atenção	0	0%

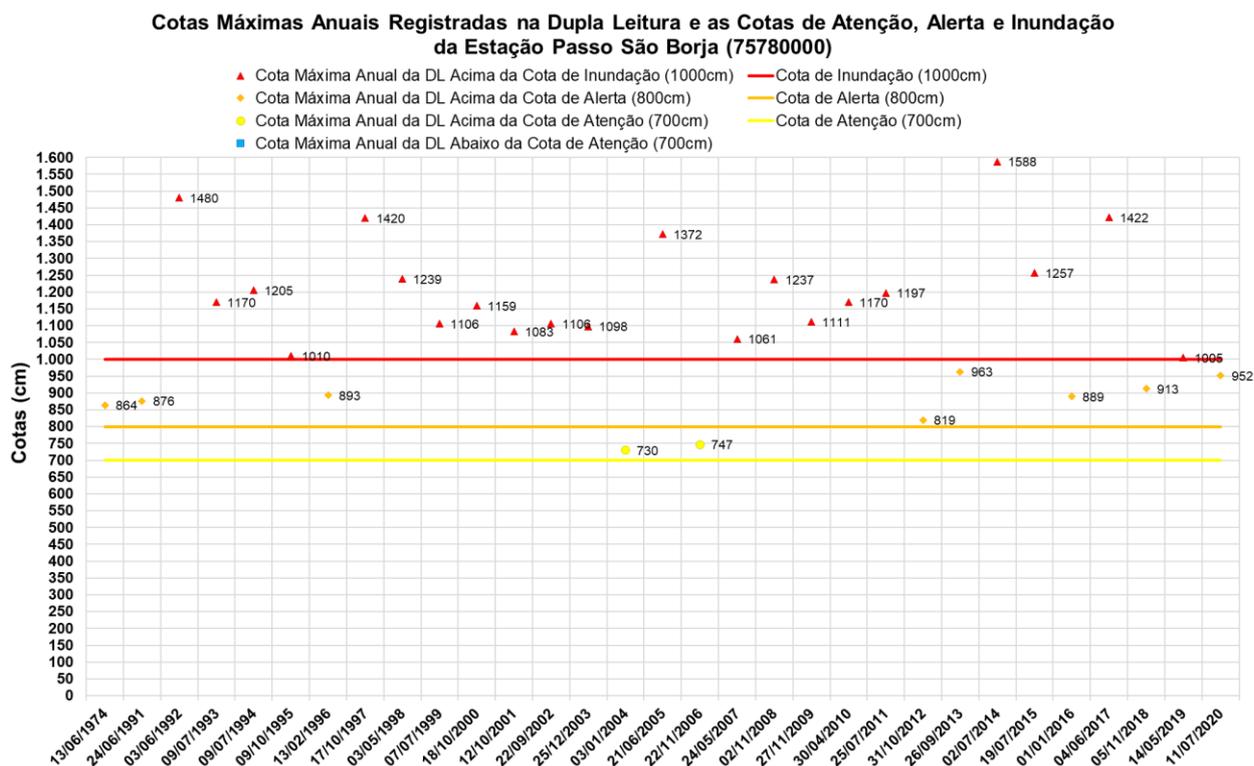


Figura 04 – Cotas máximas anuais registradas nos boletins dupla leitura, e as linhas representando as cotas de atenção, alerta e inundação

Ressalta-se que, neste estudo, ao invés de se utilizar o ano hidrológico, que na maioria das vezes não é compatível com o ano civil para a maioria das bacias hidrográficas brasileiras, optou-se por utilizar o ano civil na coleta das máximas cotas anuais observadas. Este fato decorre da boa uniformidade de distribuição de chuva nos meses do ano (GUIMARÃES; FINCK; MARCUZZO, 2017; MARCUZZO; MELATI, 2016; MARCUZZO; MELATI, 2017), tanto na bacia do rio Uruguai (7) como um todo, como em suas sub-bacias (70 a 79), o que impossibilita a determinação de um mês de início e um mês de fim do ano hidrológico. A diferença entre a máxima cota com vazão medida (836cm com vazão de $9.518\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) e a máxima cota observada (1.588cm) nas réguas é de 752cm. Já a diferença entre a maior cota observada (1.588cm) e a menor cota observada (0cm) é de 1.588cm. Nos registros disponíveis, nota-se que, entre 1943 e 1970 teve-se 10 registros de cota 0cm. Como não há relato registrado no histórico da estação sobre esse fato, acredita-se que, possivelmente, não foi instalado régua para registro de cota negativa neste período. Nas últimas décadas, de 1971 a 2020, a menor cota registrada pelo observador no boletim dupla leitura foi de 24cm, em 27/05/2012 e, logo após, 26cm, em 03/05/2020, quando ocorreu uma estiagem histórica, no primeiro semestre de 2020, no estado do Rio Grande do Sul. A razão entre as cotas máximas, ou seja, a maior cota observada com a maior cota que possui medição de vazão é de 1,9 (1.588cm/836cm). Segundo Tucci (2002) a melhores curva-chaves, aquelas com menor extrapolação do ramo superior, possuem a razão entre as cotas máximas observadas e com medição de vazão inferior a 1,25. A delimitação das áreas em alto e muito alto risco a enchentes, inundações e movimentos de massa do município de São Borja/RS, pode ser analisado na publicação de Peixoto e Hoelzel (2015).

As características mencionadas anteriormente, atrelada ao fato que na margem direita, na Argentina, até janeiro de 2022, não havia Levantamento de Seção Transversal (LST) até a maior cota observada, são fatos que dificultam o traçado e ajuste do tramo superior (extrapolação) da curva-chave da estação de Passo São Borja e diminuem a confiabilidade na estimativa das vazões em cotas altas para a localidade. A falta de um LST, na margem direita na Argentina, até, no mínimo, a maior cota observada registrada, impossibilita a utilização de métodos mais confiáveis de extrapolação de curva-chave, derivadas da equação de Manning, que, por sua vez, utilizam os parâmetros hidráulicos da seção, como área molhada e raio hidráulico. Entretanto, é necessário mencionar que as medições de vazões em cotas altas envolvem mais riscos à segurança dos hidrotécnicos de campo, o que, em algumas situações, podem inviabilizar a realização do trabalho e, além disso, a frequência de ocorrência de grandes cheias para se conseguir tais medições pode ser baixa. Além da necessidade de medições em cotas altas, há também a necessidade de mais medições quando o rio está em ascensão e descenso do seu nível, de modo a se confirmar ou excluir a possibilidade de no local ocorrer o fenômeno físico da histerese, conforme relatado no trabalho de Marcuzzo, Maldonado e Souza (2019), para a estação Itaqui (7590000), localizada logo a jusante de Passo de São Borja (75780000). Logo a jusante da estação Passo São Borja (75900000), em Pinto e Marcuzzo (2022a,b), na própria calha principal do rio Uruguai, pode-se verificar e comparar os resultados de análise de frequência de cotas máximas nas estações Itaqui (75900000) e Uruguiana (77150000).

Até a presente data de elaboração deste relatório, a dificuldade de se obter uma extrapolação da curva-chave confiável (conforme relatado anteriormente), para se estimar vazões máximas confiáveis, atrelado a não alteração da cota do zero da régua, a ausência de mudanças significativas na geometria do trecho, onde a estação fluviométrica está instalada, associada ao fato de que o modelo de previsão de cotas do SACE da bacia do rio Uruguai utilizar um modelo “cota-cota” (até janeiro de 2022), fez com que se optasse pela análise da frequência de cotas máximas e não vazão máxima.

Ressalta-se e sublinha-se que, os tempos de retorno das cotas não são idênticos aos das vazões, ou seja, uma cota máxima não possui o mesmo tempo de retorno que a vazão máxima gerada por essa mesma cota máxima, seja essa vazão máxima medida no rio ou estimada por curva-chave. Isso se ocorre devido ao fator de escala, ou seja, as diferenças assimétricas numéricas entre cotas e vazões. Adiciona-se a isso, para os casos de extrapolações de curvas-chave com elevada razão entre as cotas máximas observadas com as cotas com medição de vazão superior a 1,25, os possíveis erros e assimetrias geradas pelas equações potenciais das curvas-chave que geram/estimam as vazões máximas para as cotas máximas registradas. Associada ao fator de escala e os possíveis erros das equações potenciais das curvas-chave com grande extrapolação, há também o peso variável da histerese entre a relação vazão medida e a cota registrada para essa mesma vazão medida, fazendo com que, para uma mesma cota observada, se tenha vazões diferentes, a depender se a vazão é medida, e/ou estimada pela curva-chave, estando o curso d'água com cotas ascendentes ou descendentes (MARCUIZZO; MALDONADO; SOUZA, 2019).

2 – METODOLOGIA PARA A ANÁLISE DE FREQUÊNCIA LOCAL

A análise estatística deve ser realizada utilizando séries históricas representativas do processo analisado, sem a presença de erros acidentais ou sistemáticos e possuindo um número mínimo de elementos para garantir uma boa confiabilidade nas extrapolações. É recomendável o emprego de séries com pelo menos 30 anos hidrológicos e aceitável no mínimo 15 anos hidrológicos.

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

- Avaliar a consistência dos dados e organizar a série de cotas ou vazões máximas por ano hidrológico.

Na etapa de consistência procura-se identificar problemas com os registros de cotas ou vazões que poderiam desacreditar as informações. Para tanto podem ser realizadas métodos consagrados no meio técnico, como por exemplo, verificar se há mudança do zero da régua (mudança de referência); verificar a presença de erro de metro nas cotas; verificar a presença de erro de 1/2 metro nas cotas; verificar a presença de erro de digitação; comparar a cota máxima com a cota média diária; avaliar o comportamento dos cotogramas das estações de montante e jusante; verificar as cotas máximas da série disponível nos bancos de dados com os boletins de campo; avaliar os dados que estão como duvidosos ou estimados; avaliar o preenchimento de falhas (média, linígrafo e PCD); verificar as medições de vazões; analisar as curvas chave; verificar a continuidade das vazões etc.

- Verificar a presença de valores atípicos (*outliers*)

A presença de valores atípicos (superiores e inferiores) é avaliada 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). O valor atípico pode ter origem em erros de medição ou de processamento, mas, também pode ser o produto de causas naturais indeterminadas. Se for identificado que o valor atípico é inconsistente, este deve ser excluído da amostra. Em caso de presença de *outliers* realmente observados deve-se avaliar a manutenção ou retirada destes pontos amostrais atípicos. Pois, a presença de pontos atípicos em uma dada amostra, pode afetar drasticamente o ajuste da distribuição de probabilidades.

- Avaliar a independência, a homogeneidade e a estacionariedade das séries.

A independência dos valores de uma série significa que nenhuma observação pode influenciar a ocorrência, ou não ocorrência, da observação seguinte. No projeto de Regionalização de Vazões do Brasil a hipótese de independência é avaliada com o teste não paramétrico proposto por Wald e Wolfowitz (1943). A descrição detalhada deste teste é encontrada em Naghettini e Pinto (2007, p. 264).

Uma amostra é considerada homogênea quando todos os elementos provêm de uma única e idêntica população. A recomendação é avaliar a homogeneidade da

série por meio do teste não-paramétrico proposto por Mann e Whitney (1947), o qual está descrito em detalhes em Naghettini e Pinto (2007, p.265).

A estacionariedade de uma série, de um ponto de vista intuitivo, está associada a não alteração das características estatísticas ao longo do tempo o que significa a não existência de tendências, saltos e outras propriedades. Nos trabalhos da Regionalização a verificação da estacionariedade das séries é efetuada pelo teste não-paramétrico de Spearman, o qual encontra-se descrito em Naghettini e Pinto (2007, p. 267).

- Estimar a distribuição empírica.

A estimativa da distribuição empírica é realizada com ordenação decrescente da série e o cálculo da 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.

- Definir as distribuições teóricas de probabilidades candidatas a modelagem das vazões ou cotas máximas por ano hidrológico.

A definição da distribuição teórica de probabilidade é de suma importância, pois valores calculados para um mesmo período de retorno podem apresentar grandes variações quando estimados por diferentes distribuições. Nos estudos de análise de frequência local de máximos por ano hidrológico do projeto de Regionalização são adotadas as distribuições candidatas de dois parâmetros conforme recomendação de Hosking e Wallis (1997). As distribuições candidatas são a distribuições de Gumbel e Log-Normal.

- Calcular os parâmetros das distribuições teóricas de probabilidades candidatas.

A estimativa dos parâmetros das distribuições candidatas é efetuada pelo método dos momentos-L (HOSKING; WALLIS, 1997). O Anexo II apresenta as funções densidade e acumulada de probabilidades das distribuições candidatas e as equações para cálculo dos parâmetros.

- 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 descrição detalhada destes testes é encontrada em Naghettini e Pinto (2007, p. 275-278).

- Estimar os quantis associados a diferentes tempos de retorno.

Após a conclusão das etapas anteriores, calcular os quantis associados a diferentes tempos de retorno de interesse.

3 – RESULTADOS DA ANÁLISE DE FREQUÊNCIA LOCAL

A análise de frequência local dos níveis do rio Uruguai em Passo São Borja, código 75780000, foi efetuada utilizando a série de cotas máximas por ano civil (01/Jan a 31/Dez), apresentadas no Anexo III, visto que não há definição de início e fim do ano hidrológico na região (MARCUIZZO; MELATI, 2016, 2017). Neste Anexo III também são apresentados alguns endereços eletrônicos, disponíveis na Internet, de alguns eventos de cheia registrados, em vídeos, da cidade de São Borja/RS. A distribuição de frequência selecionada foi a Log-Normal (Anexo II). As estatísticas da série de dados, e os parâmetros calculados pelo Método dos Momentos-L, são apresentados no Anexo III. 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. A Figura 04 apresenta o gráfico com as distribuições empírica e teórica ajustadas.

A inversa da distribuição Log-Normal é calculada da seguinte forma:

$$x_T = \text{EXP}(\mu + \sigma \cdot Z_{(1-1/T)}) \quad (01)$$

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;

μ é o parâmetro de posição (6,98575);

σ é o parâmetro de escala (0,20113).

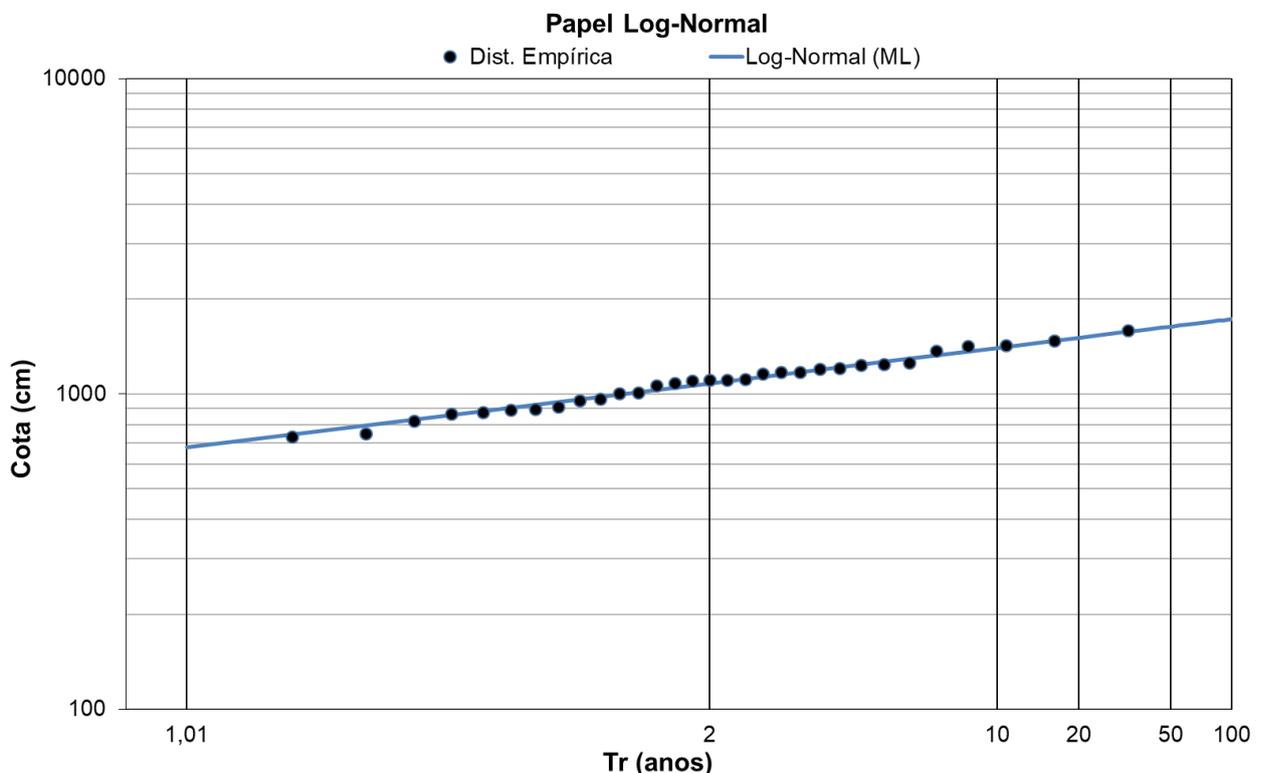


Figura 04 – Ajuste das distribuições empírica e teórica

A equação 01 é válida para tempos de retorno de 1,01 até 100 anos. A Tabela 01 apresenta as cotas associadas a diferentes tempos de retorno da estação Passo São Borja (75780000) pelo modelo de distribuição de frequência Log-Normal com o Método de Momentos-L.

Tabela 01 – Cotas, em centímetros, para diferentes tempos de retorno, em anos.

Cotas (cm)	Tempo de Retorno, T (anos)												
	2	5	10	15	20	25	30	40	50	60	75	90	100
	1081	1281	1399	1462	1505	1537	1563	1604	1634	1659	1688	1712	1726

4 – EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

- a) No dia 02/07/2014 o rio Uruguai, no município de São Borja/RS, na estação fluviométrica Passo São Borja (código 75780000), alcançou a cota de 1.588cm. Qual é o tempo de retorno desta cota? Qual a probabilidade desta cota ser igualada ou superada?

Resposta: *Inicialmente, para se calcular o tempo de retorno será necessário estimar a variável Normal Padrão da equação 01. Dessa forma temos:*

$$Z_{\left(1-\frac{1}{T}\right)} = \frac{(\ln(x_T) - \mu)}{\sigma} \quad (02)$$

A cota registrada foi de 1.588cm, o parâmetro de posição é $\mu = 6,98575$, e o de escala é $\sigma = 0,20113$. Substituindo os valores na equação 02 temos:

$$Z_{\left(1-\frac{1}{T}\right)} = \frac{(\ln(1588) - 6,98575)}{0,20113} = 1,9116$$

Levando o valor 1,9116 em uma tabela de Inversa da Distribuição Normal Padrão ou executando a função DIST.NORMP.N do Excel obtém-se: $P(Z \leq 1,9116) = 0,97204$.

O tempo de retorno será:

$$T = \frac{1}{1 - P(Z \leq z)} \quad (03)$$

$$T = \frac{1}{1 - 0,97204} = 35,77 \text{ anos}$$

A probabilidade de a cota ser igualada ou superada será:

$$P(x_T \geq \text{Cota}) = \frac{1}{T} 100 \quad (04)$$

$$P(x_T \geq 1.588\text{cm}) = \frac{1}{35,77} 100 = 2,80\%$$

O tempo de retorno de 35,77 anos, corresponde a probabilidade de 2,80% da cota 1.588cm ser igualada ou superada em um ano qualquer.

- b) Qual é o tempo de retorno da cota de atenção em Passo São Borja (código 75780000) e a probabilidade desta cota ser igualada ou superada em um ano qualquer?

Resposta: *A cota de atenção em Passo São Borja, código 75780000, em janeiro de 2022, é 700cm. Substituindo este valor e os parâmetros da distribuição Log-Normal com Momentos-L, como no primeiro exemplo, tem-se que o tempo de retorno é de 1,02 anos. A probabilidade da cota de 700cm ser igualada ou superada, em um ano qualquer, é de 98,04%.*

- c) Qual é o tempo de retorno da cota de alerta em Passo São Borja (código 75780000) e a probabilidade desta cota ser igualada ou superada em um ano qualquer?

Resposta: *A cota de alerta em Passo São Borja, código 75780000, em janeiro de 2022, é 800cm. Substituindo este valor e os parâmetros da distribuição Log-Normal com Momentos-L, como no primeiro exemplo, tem-se que o tempo de retorno é de 1,07 anos. A probabilidade da cota de 800cm ser igualada ou superada, em um ano qualquer, é de 93,46%.*

- d) Qual é o tempo de retorno da cota de inundação em Passo São Borja (código 75780000) e a probabilidade desta cota ser igualada ou superada em um ano qualquer?

Resposta: *A cota de inundação em Passo São Borja, código 75780000, em janeiro de 2022, é 1.000cm. Substituindo este valor e os parâmetros da distribuição Log-Normal com Momentos-L, como no primeiro exemplo, tem-se que o tempo de retorno é de 1,54 anos. A probabilidade da cota de 1.000cm ser igualada ou superada, em um ano qualquer, é de 64,94%.*

- e) Uma agroindústria será instalada no município de São Borja/RS as margens do rio Uruguai. Considerando a transposição das cotas das réguas da estação Passo São Borja (código 75780000), até o local de sua instalação, verificou-se que a agroindústria terá sua base instalada na cota 1.715cm (1.588cm na estação Passo São Borja, em 02/07/2014, mais 8%). Considerando a análise de frequência de cotas, aqui publicados, qual é o tempo de retorno da cota na base da agroindústria e a probabilidade desta cota ser igualada ou superada pelo rio Uruguai em um ano qualquer?

Resposta: *Substituindo a cota de 1.715cm e os parâmetros da distribuição Log-Normal com Momentos-L, como no primeiro exemplo, tem-se que o tempo de retorno é de 91,83 anos. A probabilidade da cota de 1.715cm, na base da instalação da agroindústria, ser igualada ou superada pelo rio Uruguai, em um ano qualquer, é de 1,09%.*

Nota-se, nestes exemplos de aplicação, que os tempos de retornos para as cotas de atenção, com 1,02 anos para 700cm, de alerta, com 1,07 anos para 800cm, e de inundação, com 1,54 anos para 1.000cm, são curtos, ou seja, há uma grande frequência, praticamente anual, que há emissão de boletins pelo SACE Uruguai para a localidade. Para se compreender melhor o que ocorre, conforme já discutido na Introdução, e que pode ser observado na Tabela 01 e na Figura 04, dos 31 valores registrados e válidos de cotas máximas oriundas dos boletins dupla leitura, em 1974 e entre os anos de 1991 a 2020, em nenhum ano em relação ao total de observações das cotas máximas, houve dados anuais menores que a cota de atenção (700cm), ou seja, os 31 registros são superiores a cota de atenção (700cm) segundo as informações disponíveis, no SACE Uruguai, no mês de janeiro de 2022.

A planilha com os cálculos destes exemplos de aplicação pode ser obtida clicando [AQUI](#). *A planilha só funciona corretamente após baixada da rede para ser utilizada no EXCEL do teu próprio computador. Quando abrir a página do link acima, ir em Arquivo >> Fazer Download.*

5 – REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA (Brasil). Bacia do Rio Uruguai. *In*: AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA (Brasil). **Bacias brasileiras do rio da Prata: avaliação e propostas**. [Brasília]: ANA, 2001. Disponível em: <https://docplayer.com.br/12283366-Bacias-brasileiras-do-rio-da-prata-avaliacoes-e-propostas.html>. Acesso: 05 mar. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA (Brasil). **Hidroweb**: inventário.zip. Brasília, DF: ANA, 2021. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/download>. Acesso em: 10 set. 2021.

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.

ENCHENTE EM SÃO BORJA. [s.l.]: Arquivo i4 Plataforma de Notícias, 2017. 1 vídeo (2,16 min.). Publicado pelo canal Arquivo i4 Plataforma de Notícias. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=IjF2GqaX6z8>. Acesso em: 13 set. 2021.

ENCHENTE RIO URUGUAI- SÃO BORJA, RS: 1a parte, desocupação das residências. [s.l.]: Mochilando na Rede, 2017. 1 vídeo (4,14 min.). Publicado pelo canal Mochilando na Rede. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=5WBjjhS9IO0>. Acesso em: 13 set. 2021.

ENCHENTE RIO URUGUAI- SÃO BORJA, RS: 2a parte, a enchente. [s.l.]: Mochilando na Rede, 2017. 1 vídeo (6,32 min.). Publicado pelo canal Mochilando na Rede. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=BgWiJumsxDU>. Acesso em: 13 set. 2021.

FINCK, J. S. **Estudo preliminar de sistema de alerta para a parte brasileira da bacia do rio Uruguai utilizando modelo de previsão cota-cota**. TCC (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Porto Alegre, p. 104. 2018. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/179893>. Acesso em: 01 dez. 2021.

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.

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.; FEIRA NACIONAL DE SANEAMENTO E MEIO AMBIENTE, 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.

HOELZEL, M.; LAMBERTY, D. **Ação emergencial para delimitação de áreas em alto e muito alto risco a enchentes, inundações e movimentos de massa**: Uruguiana, Rio Grande do Sul. Porto Alegre: CPRM, 2014. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/20144>. Acesso em: 04 mar. 2021.

HOSKING, J. R. M.; WALLIS, J. R. **Regional frequency analysis**: an approach based on L - moments. Cambridge: Cambridge University Press, 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511529443>. Acesso em: 16 jul. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo 2010**. Brasília, DF: IBGE, 2010. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/>. Acesso em: 16 jul. 2021.

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 em: 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.

MANN, H. B.; WHITNEY, D. R. On a Test of Whether one of Two Random Variables is Stochastically Larger than the Other. **The Annals of Mathematical Statistics**, Durham, v.18, n. 1, p 50-60, mar, 1947. Disponível em: <https://doi.org/10.1214/aoms/1177730491>. Acesso em: 05 mar. 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, 2017. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/18489>. Acesso em: 03 mar. 2021.

MARCUZZO, F. F. N. 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.cprm.gov.br/handle/doc/19906>. Acesso em: 08 ago. 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., 2017, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ABRH, 2017. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/18492>. Acesso em: 08 ago. 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.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/21532>. Acesso em: 22 jul 2021.

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.; 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>. 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 Uruguai, estação fluviométrica Uruguaiana, código 77150000, município atendido Uruguaiana, 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/22872>. Acesso em: 25 jul. 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 Itaqui, código 75900000, município atendido Itaqui, RS. Porto Alegre: CPRM, 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. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/22611>. Acesso em: 25 jul. 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/jspui/handle/doc/17127>. Acesso em: 03 mar. 2021.

MATTIUZI, C. D. P.; BUFFON, F. T. **Sistema de alerta hidrológico da Bacia do rio Uruguai**: relatório anual 2020. Porto Alegre: CPRM, 2020. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/21922>. Acesso em: 03 mar. 2021.

MELATI, M. D.; MARCUZZO, F. F. N. Mapeamento fisiográfico básico das sub-bacias pertencentes à Bacia do Rio Uruguai. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 21., 2015, Brasília, DF. **Anais[...]** Brasília, DF: ABRH, 2015. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/15053>. Acesso em: 03 mar. 2021.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. **Hidrologia estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/454>. Acesso em: 03 mar. 2021.

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.cprm.gov.br/handle/doc/21807>. Acesso em: 13 set. 2021.

PEDROLLO, M. C. R.; SOTÉRIO, P. W.; GERMANO, A. de O. Estudo técnico para instalação e operação de um sistema de alerta hidrológico na bacia do rio Uruguai. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 22., 2017, Florianópolis. **Anais[...]** Florianópolis: ABRH, 2017. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/18892>. Acesso em: 03 mar. 2021.

PEIXOTO, C. A. B.; HOEZEL, M. **Setorização de áreas em alto e muito alto risco a movimentos de massa, enchentes e inundações**: São Borja, Rio Grande do Sul. Porto Alegre: CPRM, 2015. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/21389>. Acesso em: 05 mar. 2021.

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: 3 mar. 2021.

PINTO, E. J. de A.; AZAMBUJA, A. M. S. de; FARIAS, J. A. M.; SALGUEIRO, J. P. de B.; PICKBRENNER, K. (coord.). **Atlas pluviométrico do Brasil**: isoietas mensais, isoietas trimestrais, isoietas anuais, meses mais secos, meses mais chuvosos, trimestres mais secos, trimestres mais chuvosos. Brasília, DF: CPRM, 2011. Escala 1.5:000.000. Programa Geologia do Brasil; Levantamento da Geodiversidade. 1 DVD. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique///Mapas-e-Publicacoes/Atlas-Pluviometrico-do-Brasil-1351.html>. Acesso em: 16 Jul. 2021.

SILVA, D. R. da; SILVA, P. R. da. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massas e enchentes**: Alegrete, RS.

Porto Alegre: CPRM, 2013. Disponível em:
<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/20084>. Acesso em: 05 mar. 2021.

SILVA, D. R. da; SILVA, P. R. da. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massas e enchentes**: Itaqui, RS. Porto Alegre: CPRM, 2013. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/20111>. Acesso em: 05 mar. 2021.

SILVA, P. R. da; SILVA, D. R. da. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massas e enchentes**: Rosário do Sul, RS. Porto Alegre: CPRM, 2012. Disponível em:
<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/20134>. Acesso em: 05 mar. 2021.

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. **Revista Tecno-lógica**, Santa Cruz do Sul, v. 21, n. 2, p. 65-74, jul./dez. 2017. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/17839>. Acesso em: 15 set. 2021.

TUCCI, C. E. M. **Regionalização de vazões**. Porto Alegre: UFRGS. 2002.
WALD, J.; WOLFOWITZ, J. An exact test for randomness in the non-parametric case based on serial correlation. **The Annals of Mathematical Statistics**, Durham, v. 14, n. 4, p. 378-388, dec. 1943. Disponível em: <https://doi.org/10.1214/aoms/1177731358>. Acesso em: 05 mar. 2021.

ANEXO I

Ficha Descritiva, Ficha Complementar e Croqui
Estação Fluviométrica de Passo São Borja, código 75780000

FICHA DESCRITIVA DE ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA

Identificação

Código:	75780000	Estação:	PASSO SÃO BORJA	Tipo:	FDQT
Região hidrográfica:	Rio Uruguai			Sub-bacia:	75
Bacia:	RIOS URUGUAI				
Município:	São Borja	Estado:	RS	Roteiro:	98
Latitude:	-28.6240	Longitude:	-56.0370	Altitude (m):	50
Instrumento:	GPS	Datum:	WGS 84		
Área de dren. (km ²):	125000	Instalada em:	01/12/1939	Extinta em:	
Coordenador:	ANA	Operador:	CPRM - SUREG/PA		
Código da folha:	2723	Nome da folha:			
Orgão executor:		Ano:		Escala:	1:100.000

Localização

- A estação localiza-se em São Borja junto a captação de água da CORSAN no rio Uruguai.

Acessibilidade

- Pelo passo que liga São Borja a Argentina.

Seção de réguas

Margem: Margem esquerda

Réguas: 000-100, 100-200, 200-300, 300-400, 400-500, 500-600, 600-900, 900-1000, 1000-1100, 1100-1200, 1200-1300, 1300-1400, 1400-1500 e 1500-1600.

A seção de medição localiza-se 100m a jusante da captação de água da CORSAN.

Referências de nível

São 3 RNs:

RN 2 = 9805mm

RN 5 = 5127mm

RN 7 = 15545mm

FICHA DESCRITIVA DE ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA

Seções e processos de medição

A seção de medição localiza-se 100m a jusante da captação de água da CORSAN.

Processo de medição: Barco

Equipe:

Data: 29/05/2021

Estação: PASSO SÃO BORJA

Código: 75780000

Potamografia

Características do trecho

Regime: Perene Conformação: Retilínea Fundo: Regular

Posição em relação à rede

Montante: GARRUCHOS Jusante: ITAQUI

Natureza e inclinação das margens

Esquerda: Baixa Argilosa com Vegetação de Médio Porte
Direita: Baixa Argilosa com Vegetação de Médio Porte

Leito

Natureza: Rochosa sem Vegetação

Controle

Controle: Canal Localização: - A estação Distância

Observador

Nome:		Apelido:	
Endereço:		Complemento:	
Bairro:		Município:	São Borja
Estado:	Rio Grande do Sul	CEP:	
Telefone fixo:		Celular:	
Autorizado:		Apelido:	
Endereço:		Complemento:	
Telefone fixo:		Celular:	
Leiturista:			

Observações

Equipamentos

Equipe:

Estação: PASSO SÃO BORJA

Data: 29/05/2021

Código: 75780000

ROT 98 – Passo São Borja – 75780000/02856006 – PFDQT

Objetivos do monitoramento

A estação fluviométrica Passo São Borja está instalada no rio Uruguai, na área urbana do município de São Borja, localizando-se neste corpo d'água a montante da estação Itaqui e a jusante da estação Garruchos. Dentro da rede hidrometeorológica nacional de referência, o objetivo deste ponto de monitoramento é o monitoramento de eventos hidrológicos críticos.

Características físicas da estação

A estação automática está localizada na metade da ponte internacional da integração sobre o rio Uruguai a cerca de 2500 m à montante da seção de réguas. A PCD está alocada em um poste de iluminação a 12m de altura, sendo necessário a utilização de um caminhão com cesto aéreo para manutenção (a solicitação para manutenção deve ser realizada com ao menos 24h de antecedência na concessionária da ponte). A antena, painel solar e o pluviômetro automático da estação estão fixados em um suporte de duas hastas sobre a caixa da PCD. O sensor de nível é do tipo radar e está fixado na parte inferior da estrutura da ponte, a manutenção do radar requer a presença da empresa concessionária e a utilização de veículo de manutenção da ponte.

Medição de descarga

A medição de descarga é realizada de forma embarcada, com medidor acústico do tipo M9, na seção de réguas, até a cota 1300 cm. Acima da cota 1300 cm, a medição é realizada com medidor acústico do tipo M9 na ponte, localizada a 2700 metros a montante da seção de réguas.

Controle

O controle desta estação é do tipo canal, para todo o intervalo de cotas.

Cota H₀

Não aplicável.

Referências de Nível

- RN5 - 5127;
- RN6 - 9805;
- PA 065 -9980.

Descrição dos equipamentos

A estação possui monitoramento automático com amostragem a cada 15 minutos e transmissão via satélite a cada 1 hora.

Instalação da telemétrica: 2014

Padrão de conexão: conector militar de 4 vias.

ID GOES: B567D072, canal primário: 61, horário de transmissão: 00:26:50;

Modem: Vaissala 2º geração (preto);

Chave TASC0 padrão Hobeco;

Fabricante: Hobeco/Vaissala;

DataLogger: Vaissala QML201C;

Bateria (12V e 26 Ah);

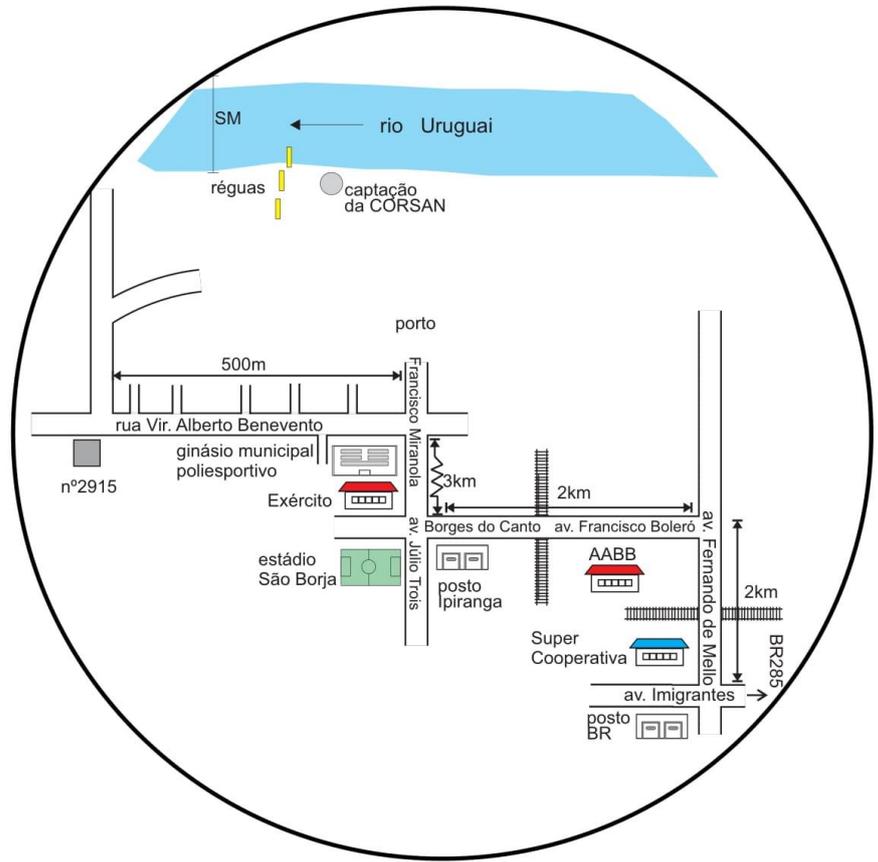
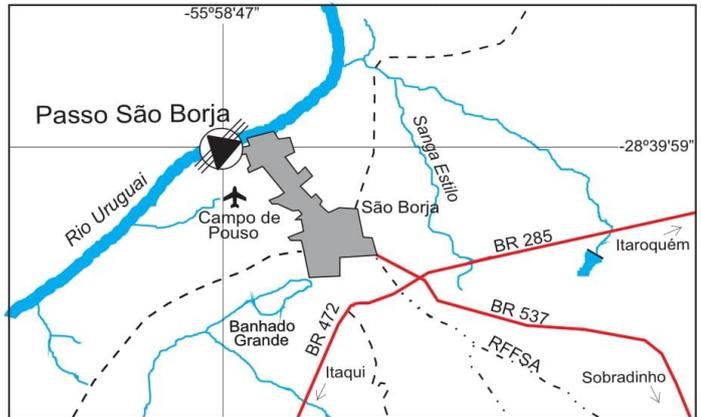
Sensor de nível tipo radar Sebal;

Cabo de comunicação militar – serial e conversor;

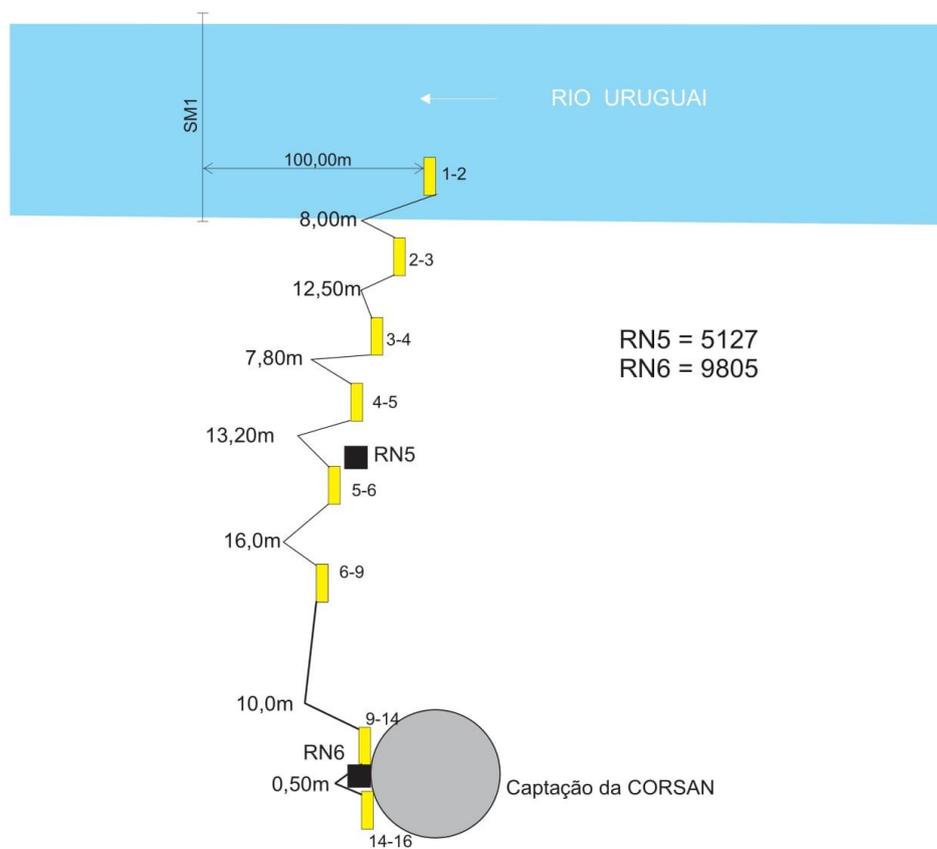
Pluviômetro tipo TB4, teste de calibração realizado com 15,7 mm na proveta padrão (resultando 20 mm de resposta), tolerável 10% de erro.

Número de patrimônio ANA: 21825

Número de patrimônio SEMA: 46375



LOCALIZAÇÃO E SITUAÇÃO
PASSO SÃO BORJA
30/10/2013



RIO URUGUAI EM PASSO SÃO BORJA
13/04/2016

ANEXO II
Distribuição de Gumbel, Log-Normal e Normal.

ANEXO II

DISTRIBUIÇÃO DE GUMBEL

- Função Densidade de Probabilidade

$$f_X(x) = \frac{1}{\alpha} \exp\left[-\frac{x-\beta}{\alpha} - \exp\left(-\frac{x-\beta}{\alpha}\right)\right]$$

α = Parâmetro de escala β = Parâmetro de posição

Limites: $-\infty \leq x < \infty$

- Função Acumulada de Probabilidades

$$F_X(x) = \exp\left[-\exp\left(-\frac{x-\beta}{\alpha}\right)\right]$$

- Inversa da função acumulada

$$x = \beta - \alpha \ln[-\ln(F(x))]$$

- Momentos L

$$\lambda_1 = \beta + \alpha\gamma_E \quad \lambda_2 = \alpha \ln(2) \quad \lambda_3 = \alpha[2\ln(3) - 3\ln(2)] \quad \lambda_4 = \alpha[5\ln(4) - 10\ln(3) + 6\ln(2)]$$

$$\tau_3 = 0,1699 \quad \tau_4 = 0,1504$$

- Estimativa dos parâmetros pelos momentos-L

$$\hat{\alpha} = \frac{l_2}{\ln(2)} \qquad \hat{\beta} = \frac{l_1}{\gamma_E \hat{\alpha}}$$

Onde l_1 e l_2 são os momentos-L amostrais e $\gamma_E = 0,5572157$ é a constante de Euler.

Fonte: Hosking e Wallis (1997).

ANEXO II

DISTRIBUIÇÃO LOG-NORMAL

Os dados transformados pelo logaritmo natural, $Ln(x)$, se distribuem como uma normal

DISTRIBUIÇÃO NORMAL

- Função Densidade de Probabilidade

$$f_X(x) = \frac{1}{\sigma} \phi\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right)$$

$$\phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}x^2\right)$$

Parâmetros: μ é o parâmetro de posição e σ é o parâmetro de escala

Limites: $-\infty \leq x < \infty$

- Função Acumulada de Probabilidades

$$F_X(x) = \Phi\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right)$$

$$\Phi(x) = \int_{-\infty}^x \phi(t) dt$$

- Inversa da função acumulada

$x(F)$ não possui forma analítica

- Momentos-L

$$\lambda_1 = \mu \quad \lambda_2 = 0,5642\sigma = \frac{1}{\sqrt{\pi}}\sigma \quad \tau_3 = 0 \quad \tau_4 = 0,1226 = [30\pi^{-1}\arctan(\sqrt{2})] - 9$$

- Estimativa de parâmetros pelos momentos-L

$$\hat{\mu} = \lambda_1 \quad \hat{\sigma} = \lambda_2\sqrt{\pi}$$

Observação: Inicialmente os dados são transformados pelo logaritmo natural, $Ln(x)$. Em seguida são calculados os momentos-L e depois os parâmetros.

Fonte: Hosking e Wallis (1997).

ANEXO III
Série de Dados Utilizados – Cotas (cm)
Estatística da Série de Dados Utilizados – Cotas (cm)

ANEXO III

Série de Dados Utilizados – Cotas (cm)

Máximos por ano civil (01/Jan a 31/Dez) devido a boa uniformidade de distribuição de volume de precipitação pluviométrica no decorrer dos meses do ano (MARCUIZZO e MELATI, 2016, 2017). Parte dos dados abaixo foram recuperados por meio do trabalho projetado e executado por Naitzel, Goldenfum e Marcuzzo (2020).

Nº	Data do Registro	Cota (cm)	Observações
1	13/06/1974	864	Com boletim
2	24/06/1991	876	Sem boletim
3	03/06/1992	1480	DL
4	09/07/1993	1170	Sem boletim
5	09/07/1994	1205	Sem boletim
6	09/10/1995	1010	Com boletim
7	13/02/1996	893	DL
8	17/10/1997	1420	DL
9	03/05/1998	1239	DL
10	07/07/1999	1106,01	Sem boletim. Foi acrescentado 0,01 cm para organizar os dados em ordem crescente.
11	18/10/2000	1159	DL
12	12/10/2001	1083	DL
13	22/09/2002	1106	DL
14	25/12/2003	1098	DL
15	03/01/2004	730	DL
16	21/06/2005	1372	Sem boletim
17	22/11/2006	747	DL
18	24/05/2007	1061	DL
19	02/11/2008	1237	DL
20	27/11/2009	1111	DL
21	30/04/2010	1170,01	Com boletim, Foi acrescentado 0,01 cm para organizar os dados em ordem crescente.
22	25/07/2011	1197	Com boletim
23	31/10/2012	819	DL
24	26/09/2013	963	Com boletim
25	02/07/2014	**1588	DL
26	19/07/2015	1257	DL
27	01/01/2016	889	DL
28	04/06/2017	1422	Com boletim
29	05/11/2018	913	DL
30	14/05/2019	1005	DL
31	11/07/2020	952	DL

Valores obtidos através da análise do gráfico de cotas com o apoio das estações 75900000 (Itaqui) e 75550000 (Garruchos) para anos completos (com todos os dados de cota preenchidos e todas as estatísticas calculadas) e sem boletim escaneizado.

Valores obtidos através da análise do gráfico de cotas com o apoio das estações 75900000 (Itaqui) e 75550000 (Garruchos), pois faltaram dados de cota dupla leitura em alguns meses e as estatísticas não foram calculadas para todos os meses do ano (anos incompletos).

Valores conferidos através da **análise dos boletins** de dupla leitura de cotas (para **anos completos** com todas as estatísticas calculadas).

Valores obtidos através da análise do gráfico de cotas com o apoio das estações 75900000 (Itaqui) e 75550000 (Garruchos) e do boletim escaneizado de dupla leitura de cotas - para anos completos (com todos os dados de cota preenchidos e todas as estatísticas calculadas).

* DL – Dupla Leitura (07h00 e 17h00) – Horário de Brasília.

** Atenção: A maior cheia histórica, até a presente data (01/2022), registrada na estação Passo São Borja (75780000), foi em 02/07/2014, quando alcançou a cota de 1.588cm, considerando os dados do banco de cotas médias e cotas dupla leitura. Considerando os dados do banco de cotas médias, a segunda maior cheia histórica foi em 10/06/1990, quando registrou-se a cota de 1.550cm e a terceira maior cheia histórica foi em 12/07/1983, quando registrou-se a cota de 1.496cm. Contudo estes dois dados não puderam ser utilizados pois foram obtidos dos dados de cotas médias e, os dados de cotas dupla leitura, que foram os utilizados neste estudo, não foram encontrados para estes anos específicos para sua utilização. A cota de 1.480cm, alcançada em 03/06/1992, que possuía os dados de dupla leitura, foi a segunda maior cota registrada considerando o banco de dupla leitura e a quarta maior cota registrada, até a presente data, considerando os bancos de dados de cotas médias e cotas dupla leitura.

ANEXO III

Estatística da Série de Dados Utilizados – Cotas (cm)

Vídeos na INTERNET registrando a cheias na bacia do rio Uruguai em São Borja/RS.

1. ENCHENTE EM SÃO BORJA: <https://www.youtube.com/watch?v=IjF2GqaX6z8>
2. ENCHENTE RIO URUGUAI- SÃO BORJA, RS: 1a parte, desocupação das residências: <https://www.youtube.com/watch?v=5WBjhhS9IO0>
3. ENCHENTE RIO URUGUAI- SÃO BORJA, RS: 2a parte, a enchente: <https://www.youtube.com/watch?v=BgWiJumsxDU>

Estatísticas da série de máximos por ano civil (01/Jan a 31/Dez). Optou-se pelo ano civil devido a uniformidade de distribuição de chuva nos meses do ano e a impossibilidade de se estabelecer um mês para início e fim do ano hidrológico, conforme Marcuzzo e Melati (2016, 2017).

Estatísticas da Série

Média cm	Desvio-Padrão cm	Máximo cm	Mínimo cm	Amplitude cm	Assimetria	Mediana cm	1º Quartil cm	3º Quartil cm	AIQ cm
1101,4	215,1	1588,0	730,0	858,0	0,3	1106,0	932,5	1221,0	288,5

Estatísticas da série transformada: Ln(X)

Média	Desvio-Padrão	Máximo	Mínimo	Amplitude	Assimetria	Mediana	1º Quartil	3º Quartil	AIQ
6,98575	0,19659	7,37023	6,59304	0,77719	-0,10504	7,00851	6,83765	7,10734	0,26969

Momentos-L e Razões-L

l_1	l_2	L-CV	L-SKEW	L-KURT
1101,3555	123,6195	0,1122	0,0628	0,1165

Momentos-L e Razões-L da série transformada: Ln(X)

l_1	l_2	L-CV	L-SKEW	L-KURT
6,9858	0,1135	0,0162	-0,0287	0,1117

Função Acumulada de Probabilidade da Log-Normal para Máximos (μ e σ são parâmetros da distribuição Log-Normal)

$$F_X(x) = \Phi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right), \text{ onde } \Phi(x) = \int_{-\infty}^x \phi(t)dt$$

Inversa da distribuição Log-Normal: $x(F)$ não possui forma analítica

Parâmetros da Distribuição Log-Normal

Fonte: Hosking e Wallis (1997), páginas 193 e 194.

$$\text{Momentos-L: } \lambda_1 = \mu \quad \lambda_2 = 0,5642\sigma = \frac{1}{\sqrt{\pi}}\sigma \quad \text{Parâmetros: } \hat{\mu} = \lambda_1 \quad \text{e} \quad \hat{\sigma} = \lambda_2\sqrt{\pi}$$

Distribuição	Posição (μ)	Escala (σ)
Log-Normal (μ, σ)	6,985750886	0,201134307



Projeto de regionalização de vazões nas bacias hidrográficas brasileiras

Análise de Frequência de Cotas dos Sistemas de Alerta

ENDEREÇOS

Sede

SGAN- Quadra 603 – Conjunto J – Parte A – 1º andar
Brasília – DF – CEP: 70.830-030
Tel: 61 2192-8252
Fax: 61 3224-1616

Escritório Rio de Janeiro

Av Pasteur, 404 – Urca
Rio de Janeiro – RJ – CEP: 22.290-255
Tel: 21 2295-5337 - 21 2295-5382
Fax: 21 2542-3647

Superintendência Regional de Porto Alegre

Rua Banco da Província, 105 – Santa Teresa
Porto Alegre – RS – CEP: 90.840-030
Tel.: 51 3406-7300
Fax: 51 3233-7772

Superintendência Regional de Belo Horizonte

Av. Brasil, 1.731 – Funcionários
Belo Horizonte – MG – CEP: 30.140-002
Tel.: 31 3878-0376
Fax: 31 3878-0383