

Projeto de regionalização de vazões nas bacias hidrográficas brasileiras

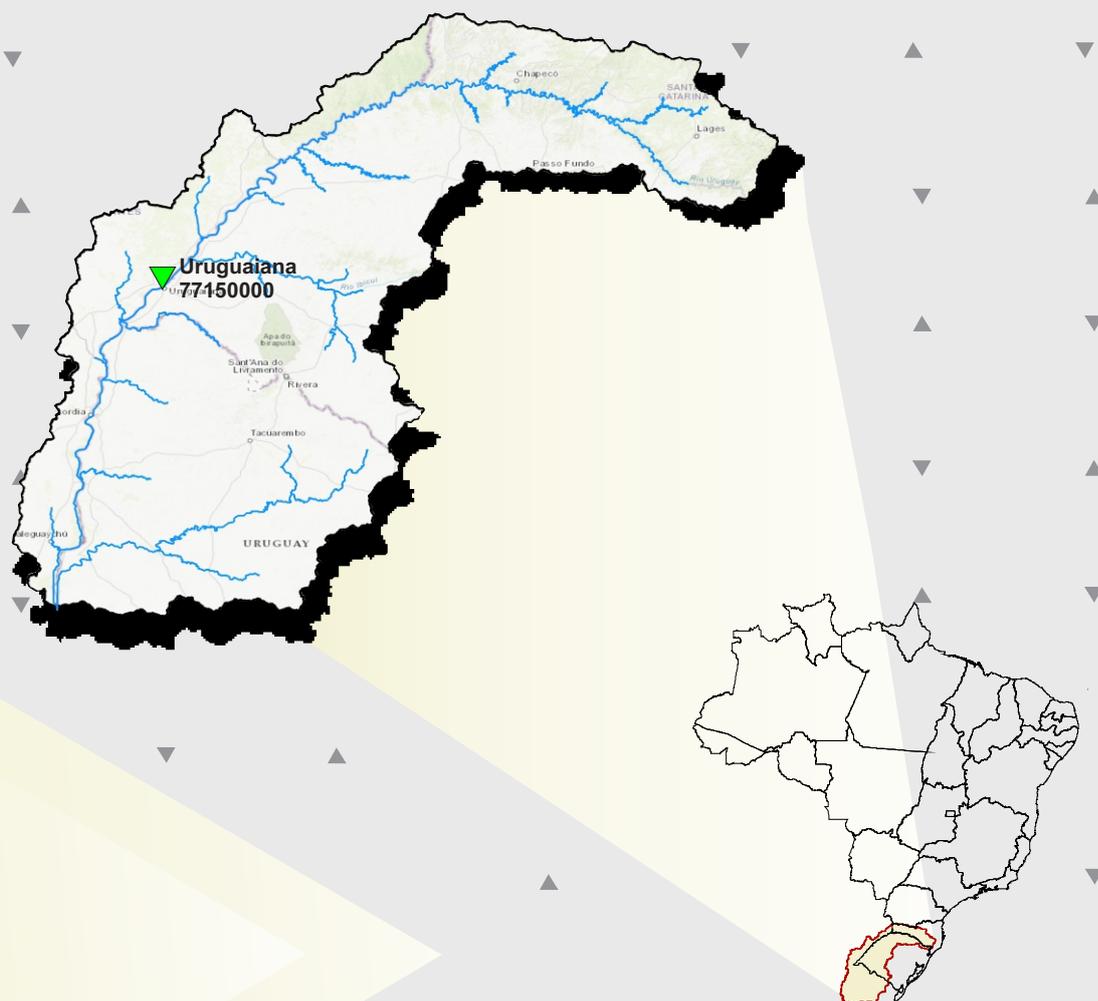
Análise de Frequência de Vazões dos Sistemas de Alerta

Sistema de Alerta: Bacia do Rio Uruguai

Rio Uruguai em Uruguaiana

Código: 77150000

Município Atendido: Uruguaiana - RS



2022

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 RISCOS 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 VAZÕES DOS SISTEMAS DE ALERTA

Sistema de Alerta: Bacia do Rio Uruguai

Rio: Uruguai
Estação Fluviométrica: Uruguaiana
Código: 77150000
Município Atendido: Uruguaiana/RS

Francisco Fernando Noronha Marcuzzo
Eber José de Andrade Pinto



PORTO ALEGRE

2022

PROGRAMA GESTÃO DE RISCOS 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 VAZÕES 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 vazões dos sistemas de alerta: Sistema de Alerta Bacia do Rio Uruguai, rio Uruguai, estação fluviométrica Uruguaiana, código 77150000, município atendido Uruguaiana, 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 978-65-5664-258-1

Hidrologia – Brasil. 2. Regionalização de Vazões. 3. Análise de Frequência Local. I. Marcuzzo, Francisco Fernando Noronha. II. Pinto, Eber José de Andrade. II. 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 vazões máximas observadas no rio Uruguai, especificamente na localidade da estação fluviométrica Uruguaiana, código 77150000. 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 Uruguaiana, no Estado do Rio Grande do Sul.

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	18
ANEXO I	23
ANEXO II	30
ANEXO III	33

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 Uruguiana
Figura 03 – Perfil da seção transversal da seção de réguas de Uruguiana
Figura 04 – Vazões máximas anuais calculadas com as cotas máximas anuais dupla leitura, e as linhas representando as vazões nas 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 as vazões calculadas com as cotas menores e maiores que a vazão calculada na cota de atenção, e maiores que as vazões calculadas nas cotas de alerta e inundação
Tabela 02 – Vazões, em metros cúbicos por segundo, para diferentes tempos de retorno, em anos
Tabela 03 – Resumo com os dados calculados nos exemplos de aplicação

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

As nascentes do rio Pelotas (sub-bacia 70) e do rio Canoas (sub-bacia 71) formam o início da bacia hidrográfica do rio Uruguai (7) e estende-se até o seu exutório no estuário do rio da Prata, no fim da fronteira entre Uruguai e Argentina (GUIMARÃES; FINCK; MARCUZZO, 2017). O curso d'água é denominado rio Uruguai a partir do encontro das águas dos rios Pelotas e Canoas, sendo a bacia do rio Pelotas a maior, portanto, o local da nascente do rio Uruguai. A bacia hidrográfica do rio Uruguai é transfronteiriça e interestadual, possuindo uma área de drenagem total de 349.843km² (MARCUIZZO, 2017) 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 77, a mais ocidental, no extremo oeste do Rio Grande do Sul, apresentou a menor precipitação média anual, com 1.455mm.ano⁻¹, e que, na mesma sub-bacia 77, no município de Uruguaiana do estado do Rio Grande do Sul, a menor precipitação média mensal foi observada, com um valor de 69mm, em agosto. Dessa forma, segundo os autores, agosto é considerado o mês mais seco da 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 Uruguaiana. 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: Uruguaiana, 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 outubro de 2021 as previsões de cota, realizadas para as seis estações já citadas, atingiam 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: Uruguaiana (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: Uruguaiana (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

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 apenas arquivos de dupla leitura a partir de 1974 e medições de vazões a partir de 1982. Descartando alguns anos com falhas, totalizou-se 39 anos completos de dados de vazão máxima anual, gerados pela curva-chave, disponível no Anexo III, com as duplas leituras de cotas, que foram utilizadas neste estudo de análise de frequências.

Nesta estação, desde março de 1996, estão instalados equipamentos automáticos para registro contínuo e transmissão dos níveis do rio Uruguai, ou seja, a estação fluviométrica de Uruguaiana 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: 02957003) via telefone.



Figura 02 – Localização e fotos da seção de régua da estação Uruguaiana

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 (650cm), alerta (750cm) e inundação (850cm) para a cidade de Uruguiana/RS, bem como, a maior cota observada e a maior cota com medição de descarga líquida. A maior cota observada/registrada foi 1.358cm, em 19/07/1983, na grande cheia histórica do rio Uruguai, sendo que, no dia seguinte, em 20/07/1983, mediu-se a descarga líquida do rio sob a cota de 1.354cm, o que acarretou a não necessidade de extrapolação da curva-chave, visto que a diferença de apenas 4cm pode ser obtida apenas estendendo a curva-chave traçada até a maior cota observada. Na medição de descarga líquida na cota de 1.354cm, em 20/07/1983, obteve-se $31.025\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ no rio Uruguai, na localidade da estação de Uruguiana. Já a menor cota observada foi de 35cm, em 08/12/1995, e a menor cota com medição de descarga líquida foi de 92cm, em 08/01/1986, quando se obteve uma vazão de $445\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ no rio Uruguai, na localidade da estação Uruguiana. Ressalta-se que, os dados e as informações transcritas neste parágrafo foram obtidos em banco de dados até dezembro de 2020, ou seja, a partir desta data os valores de cotas de atenção, alerta, inundação, bem como as maiores e menores cotas observadas e medidas poderão sofrer alterações.

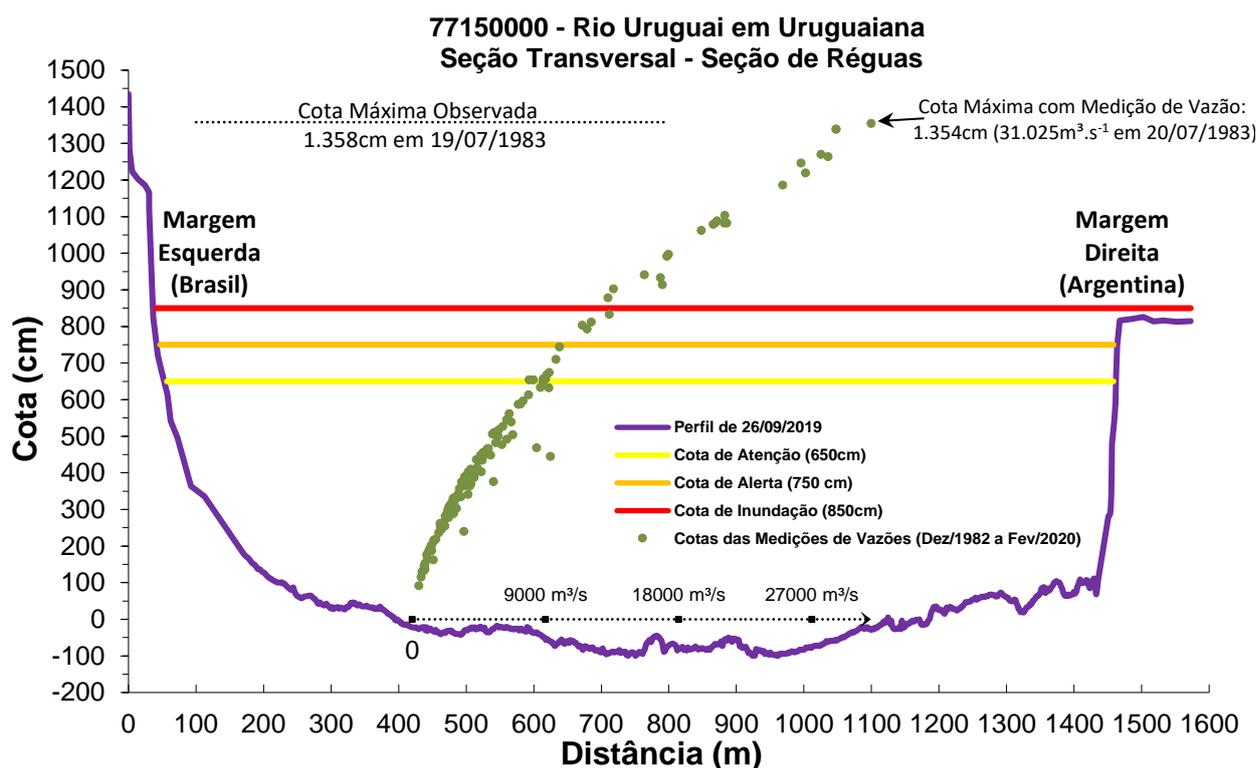


Figura 03 – Perfil da seção transversal da seção de régua de Uruguiana

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 a estação Uruguaiana (77150000, 190.000km²) está situada em região de baixa declividade e grande planície de inundação. Detalhamentos da bacia 7, como hidrogeologia, cálculos de subáreas, drenagens de estações e diagramas unifilares, podem ser observados em Almeida *et al.* (2016), Koefender e Marcuzzo, (2016b), Fink *et al.* (2017), Freitas e Marcuzzo (2017), Souza *et al.* (2017).

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 valor as cotas da estação. Adverte-se que a cota de inundação, de 850cm, se refere ao início do alagamento na cidade de Uruguaiana/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.

A diferença entre a máxima cota com vazão medida (31.025m³.s⁻¹ na cota 1.354cm) e a máxima cota observada (1.358cm) nas régua é de apenas 4cm. Já a diferença entre a maior cota (1.358cm) e a menor (35cm) observada é de 1.323cm. A razão entre as cotas máximas, a observada com a que possui medição de vazão é de 1,003 (1.358cm/1.354cm). 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 Uruguaiana/RS, pode ser analisado na publicação de Hoelzel e Lamberty (2014).

As características mencionadas no parágrafo anterior é um facilitador ao traçado e ajuste do tramo superior da curva-chave da estação de Uruguaiana e ampliam a confiabilidade na estimativa das vazões em cotas altas para a localidade. Entretanto, é necessário mencionar que as medições de vazões em cotas altas envolvem mais riscos à segurança dos hidrotécnicos, o que podem inviabilizar a realização do trabalho e, além disso, a frequência de ocorrência de grandes cheias para se conseguir tais medições pode ser baixa.

No Anexo III observa-se que a série se vazões máximas, e as suas respectivas cotas máximas (dupla leitura) que as geraram, por ano hidrológico (que no caso desta estação fluviométrica foi considerado o mesmo período que o ano civil), apresenta 39 valores registrados e válidos, todos dentro dos limites estatísticos de Grubbs e Beck, conforme consta em Naghettini e Pinto (2007, p. 287), sendo 29 valores, ou seja, 74%, superiores a vazão de 13.574m³.s⁻¹, gerada com a cota de inundação, que é 850cm, com a curva-chave do Anexo III. Conforme se observa na Figura 04 e na Tabela 01, destes 39 valores de vazões calculados pela curva-chave com as cotas máximas DL, em nenhum ano houve vazões calculadas máximas anuais menores que a vazão calculada na cota de atenção (8.622m³.s⁻¹ para 650cm), e, 39 vazões máximas anuais, ou seja, 100%, são superiores a vazão calculada para essa mesma cota de atenção. Também se observa que 37 registros, ou seja, 95% do total de 39, são superiores a vazão calculada para a cota de alerta (10.942m³.s⁻¹ para 750cm) e 29 registros, ou seja, 74%, são superiores a vazão na cota de inundação (13.574m³.s⁻¹ para 850cm). Os valores destas

vazões máximas anuais (Figura 04 e Tabela 01) e as respectivas cotas que as geraram, bem como a curva-chave utilizada disponível em 10/2021, podem ser observadas no Anexo III.

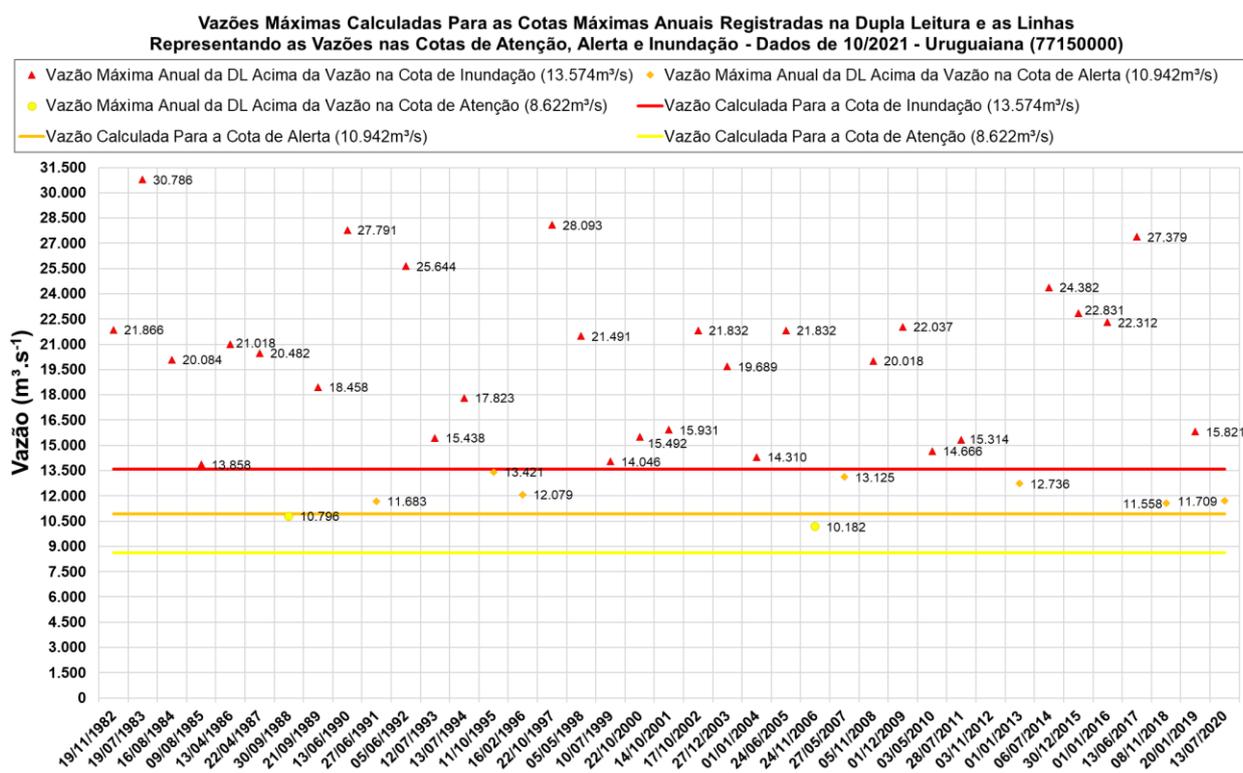


Figura 04 – Vazões máximas anuais calculadas com as cotas máximas anuais dupla leitura, e as linhas representando as vazões nas cotas de atenção, alerta e inundação

Tabela 01 – Número e percentual de anos com as vazões calculadas com as cotas menores e maiores que a vazão calculada na cota de atenção, e maiores que as vazões calculadas nas cotas de alerta e inundação

Número Total de Anos com Vazões Calculadas com Dados Dupla Leitura	39	% em Relação ao Total
Nº de Anos com Vazões Maiores que Inundação	29	74%
Nº de Anos com Vazões Maiores que Alerta	37	95%
Nº de Anos com Vazões Maiores que Atenção	39	100%
Nº de Anos com Vazões Menores que Atenção	0	0%

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 para gerar a vazão máxima anual. 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, que foi 1.354cm (20/07/1983) e resultou numa vazão medida em campo de $31.025\text{m}^3.\text{s}^{-1}$, e a máxima cota observada, que foi de 1.358cm (19/07/1983) e resultou em uma vazão calculada, pela curva-chave do Anexo III, em $30.786\text{m}^3.\text{s}^{-1}$, é de apenas 4cm no nível do rio e de $239\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ na vazão. Contudo, nota-se que, a vazão medida em campo ($31.025\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) numa cota menor (1.354cm) é maior que a vazão calculada ($30.786\text{m}^3.\text{s}^{-1}$), pela curva-chave, numa cota maior (1.358cm). Essa diferença de toda série histórica disponível, entre a maior vazão medida ($31.025\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) e a vazão calculada para a maior cota observada ($30.786\text{m}^3.\text{s}^{-1}$), em percentual, é de apenas 0,78%, podendo ser considerada uma diferença insignificante. Mesmo desconsiderando um possível efeito, mesmo que pequeno, de histerese (MARCUIZZO; MALDONADO; SOUZA, 2019) no rio Uruguai na localidade da estação fluviométrica de Uruguiana, a curva-chave (Anexo III) deveria ter passado em cima da medição de vazão de 20/07/1983, assim evitando o fato relatado anteriormente neste parágrafo, cuja medição de vazão em campo em cota mais baixa é maior que a vazão calculada pela curva-chave para uma cota maior. Atenta-se para o fato que no dia 20/07/1983, a medição da descarga líquida foi executada sob o efeito de vazante do rio Uruguai, pois as 17h00 do dia 19/07/1983 registrou-se a maior cota histórica, com 1.358cm, e as 7h00 e as 17h00 do dia 20/07/1983, registrou-se, respectivamente, 1.354 e 1.350cm. Contudo, para se confirmar ou descartar o efeito da histerese no rio Uruguai nesta localidade, ou mesmo identificar a sua possível intensidade, será necessário mais medições de vazão cobrindo boa parte do processo de cheia e vazante em cotas altas do rio. Observa-se também, no Anexo III, que essa curva-chave foi extrapolada 46cm pelo método logarítmico, da maior cota com medição de descarga líquida, que foi 1.354cm, até a cota 1.400cm.

Adverte-se e ressalta-se que os tempos de retorno das vazões não são idênticos aos das cotas, 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 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 ou sem 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 descargas líquidas 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 e PINTO, 2007, p. 39), e com o teste de Grubbs e Beck (NAGHETTINI e 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 2 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 das vazões máximas do rio Uruguai em Uruguaiana, código 77150000, foi efetuada utilizando as vazões estimadas por curva-chave e a série de cotas máximas dupla leitura por ano civil (01/Jan a 31/Dez), expostas no Anexo III, visto que não há definição de início e fim do ano hidrológico na região (MARCUIZZO; MELATI, 2016, 2017). No Anexo III também há alguns endereços eletrônicos, de vídeos, com eventos de cheia registrados em Uruguaiana/RS. A distribuição de frequência selecionada foi a Log-Normal (Anexo II). As estatísticas da série de dados de vazão máxima anual, com 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 a 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 (9,76254);

σ é o parâmetro de escala (0,31577).

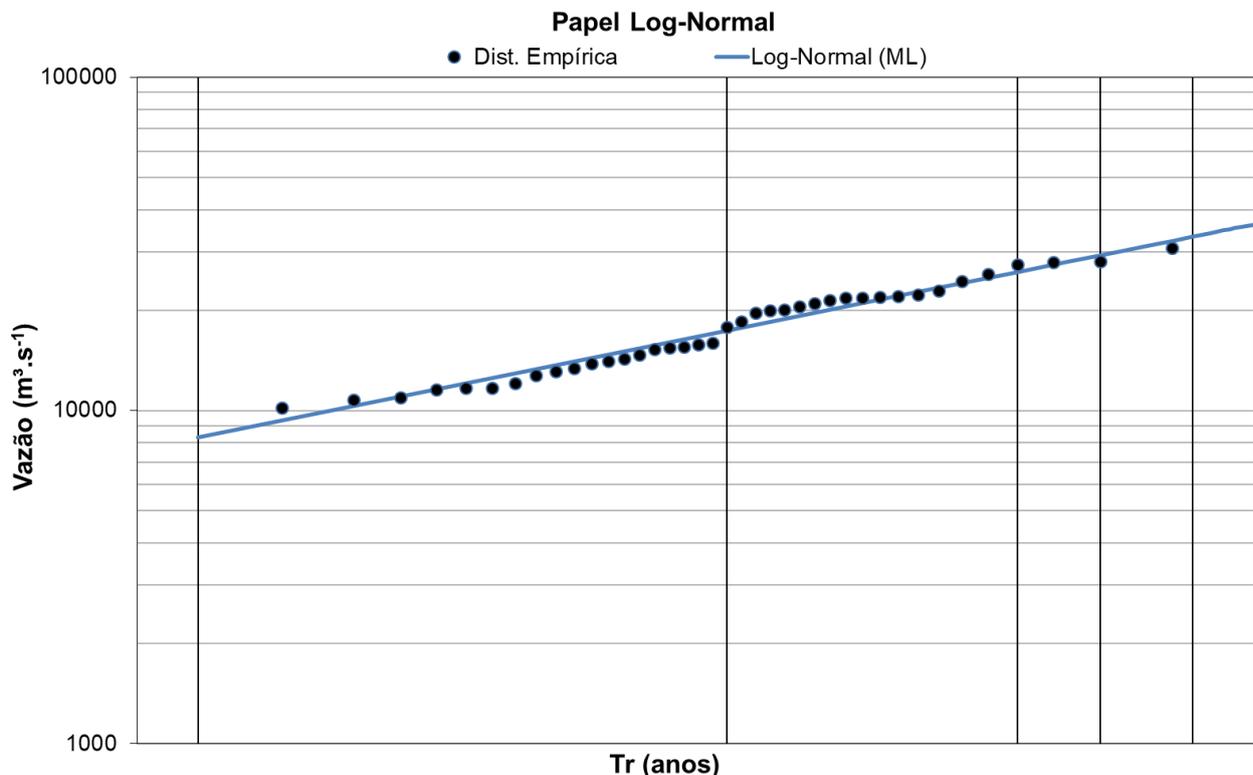


Figura 05 – Ajuste das distribuições empírica e teórica

A equação 01 é válida para tempos de retorno de 1,01 até 100 anos. A Tabela 01 apresenta as vazões associadas a diferentes tempos de retorno da estação Uruguiana (77150000) pelo modelo de distribuição de frequência Log-Normal com o Método de Momentos-L.

Tabela 02 – Vazões, em metros cúbicos por segundo, para diferentes tempos de retorno, em anos

		Tempo de Retorno, T (anos)												
		2	5	10	15	20	25	30	40	50	60	75	90	100
Vazões (m ³ .s ⁻¹)		17.371	22.659	26.036	27.905	29.201	30.193	30.997	32.256	33.225	34.014	34.976	35.759	36.212

4 – EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

- a) No dia 19/07/1983 o rio Uruguai, no município de Uruguai/RS, na estação Uruguai, código 77150000, alcançou a cota de 1.358cm, na maior cheia histórica registrada até o ano de 2021. Qual é o tempo de retorno da vazão associada a esta cota? Qual a probabilidade desta vazão da grande cheia histórica ser igualada ou superada?

Resposta: *Inicialmente, será necessário calcular a vazão associada à cota de 1.358cm com a curva-chave válida para a data de 19/07/1983, utilizando a equação disponível no Anexo III. O tramo da curva-chave disponível para a data de 19/07/1983 e para a cota 1.358cm, possui validade de 01/01/1982 a 14/06/1993 para o intervalo de cotas de 800cm a 1.400cm. Os parâmetros da equação potencial utilizada são $a = 434,6145$, $h_0 = 0,54m$ e $n = 1,659$. Dessa forma temos:*

$$Q(h) = a (h - h_0)^n \quad (02)$$

$$Q(1.358cm) = 434,6145 (1.358/100 - 0,54)^{1,659}$$

$$Q(1.358cm) = 30.786 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

Numa segunda etapa, para se calcular o tempo de retorno será necessário estimar a variável Normal Padrão da equação 01. Dessa forma temos:

$$Z_{\left(1-\frac{1}{T}\right)} = \frac{(\ln(x_T) - \mu)}{\sigma} \quad (03)$$

A vazão calculada foi de $30.786 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, o parâmetro de posição é $\mu = 9,76254$, e o de escala é $\sigma = 0,31577$. Substituindo os valores na equação 03 temos:

$$Z_{\left(1-\frac{1}{T}\right)} = \frac{(\ln(30.786) - 9,76254)}{0,31577} = 1,81229$$

Levando o valor 1,81229 em uma tabela de Inversa da Distribuição Normal Padrão ou executando a função DIST.NORMP.N do Excel obtém-se: $P(Z \leq 1,81229) = 0,96503$.

O tempo de retorno será:

$$T = \frac{1}{1 - P(Z \leq z)} \quad (04)$$

$$T = \frac{1}{1 - 0,96503} = 28,6 \text{ anos}$$

A probabilidade de a cota ser igualada ou superada será:

$$P(x_T \geq \text{Vazão}) = \frac{1}{T} 100 \quad (05)$$

$$P(x_T \geq 30.786 \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}) = \frac{1}{28,6} 100 = 3,5\%$$

O tempo de retorno de 28,6, corresponde a probabilidade de 3,5% da vazão $30.786 \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, associada a cota 1.358cm, da cheia de 19/07/1983, pela curva-chave disponível no anexo III, ser igualada ou superada em um ano qualquer.

Atenção: A cota associada a uma vazão de uma mesma localidade, em um curso d'água qualquer, não necessariamente tem o mesmo tempo de retorno, ou seja, a análise de frequência das cotas não gera os mesmos resultados da análise de frequência das vazões correspondentes. Este assunto é melhor explicado e discutido na última parte da introdução deste trabalho.

- b) Na data de 13/06/2017 o rio Uruguai, no município de Uruguai/RS, na estação de nome Uruguai, código 77150000, alcançou a cota de 1.269cm, em uma das maiores cheias registradas no local. Qual é o tempo de retorno da vazão de $27.379 \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, associada a essa cota de cheia de 1.269cm pela curva-chave do Anexo III (tramo com validade de 01/01/2015 a 31/12/2021, para o intervalo de cotas de 800cm a 1.400cm e parâmetros da equação potencial $a = 434,6145$, $h_0 = 0,54\text{m}$ e $n = 1,659$), em Uruguai (código 77150000) e a probabilidade desta vazão ser igualada ou superada em um ano qualquer?

Resposta: Substituindo o valor da vazão de $27.379 \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, associada a cota de 1.269cm de 13/06/2017, e os parâmetros da distribuição Log-Normal com Momentos-L, como no primeiro exemplo, tem-se que o tempo de retorno é de 13,37 anos. A probabilidade da vazão de $27.379 \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ser igualada ou superada, em um ano qualquer, é de 7,48%.

- c) Na data de 20/07/1983 no rio Uruguai, no município de Uruguai/RS, na estação de nome Uruguai, código 77150000, mediu-se a descarga líquida de $31.025 \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, na cota de 1.354cm, sendo, até o ano de 2021, a medição de vazão na maior cota de toda série histórica da estação. Qual é o tempo de retorno da vazão de $31.025 \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, medida em campo na estação na cota de 1.354cm em 20/07/1983? Qual a probabilidade desta vazão ser igualada ou superada em um ano qualquer?

Resposta: Substituindo o valor da vazão de $31.025 \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, associada a cota de 1.354cm de 20/07/1983, e os parâmetros da distribuição Log-Normal com Momentos-L, como no primeiro exemplo, tem-se que o tempo de retorno é de 30,19 anos. A probabilidade da vazão de $31.025 \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ser igualada ou superada, em um ano qualquer, é de 3,31%.

- d) Qual é o tempo de retorno da vazão de $8.622\text{m}^3.\text{s}^{-1}$, associada a cota de atenção de 650cm pela curva-chave do Anexo III (tramo com validade de 01/01/2015 a 31/12/2021, para o intervalo de cotas de 300cm a 800cm e parâmetros da equação potencial $a = 300,3461$, $h_0 = -0,34\text{m}$ e $n = 1,746$), em Uruguaiana (código 77150000) e a probabilidade desta vazão ser igualada ou superada em um ano qualquer?

Resposta: Substituindo o valor da vazão, associada a cota de atenção, e os parâmetros da distribuição Log-Normal com Momentos-L, como no primeiro exemplo, tem-se que o tempo de retorno é de 1,01 anos. A probabilidade da vazão de $8.622\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ ser igualada ou superada, em um ano qualquer, é de 99,01%.

- e) Qual é o tempo de retorno da vazão de $10.942\text{m}^3.\text{s}^{-1}$, associada a cota de alerta de 750cm pela curva-chave do Anexo III (tramo com validade de 01/01/2015 a 31/12/2021, para o intervalo de cotas de 300cm a 800cm e parâmetros da equação potencial $a = 300,3461$, $h_0 = -0,34\text{m}$ e $n = 1,746$), em Uruguaiana (código 77150000) e a probabilidade desta vazão ser igualada ou superada em um ano qualquer?

Resposta: Substituindo o valor da vazão, associada a cota de alerta, e os parâmetros da distribuição Log-Normal com Momentos-L, como no primeiro exemplo, tem-se que o tempo de retorno é de 1,08 anos. A probabilidade da vazão de $10.942\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ ser igualada ou superada, em um ano qualquer, é de 92,59%.

- f) Qual é o tempo de retorno da vazão de $13.574\text{m}^3.\text{s}^{-1}$, associada a cota de 850cm pela curva-chave do Anexo III (tramo com validade de 01/01/2015 a 31/12/2021, para o intervalo de cotas de 800cm a 1.400cm e parâmetros da equação potencial $a = 434,6145$, $h_0 = 0,54\text{m}$ e $n = 1,659$), em Uruguaiana (código 77150000) e a probabilidade desta vazão ser igualada ou superada em um ano qualquer?

Resposta: Substituindo o valor da vazão, associada a cota de inundação, e os parâmetros da distribuição Log-Normal com Momentos-L, como no primeiro exemplo, tem-se que o tempo de retorno é de 1,28 anos. A probabilidade da vazão de $13.574\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ ser igualada ou superada, em um ano qualquer, é de 78,13%.

Nota-se, nestes exemplos de aplicação, que os tempos de retornos para as vazões calculadas para as cotas de atenção, com 1,01 anos para $8.622\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ associada a 650cm, de alerta, com 1,08 anos para $10.942\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ associada a 850cm, e de inundação, com 1,28 anos para $13.574\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ associada a 970cm, são curtos, ou seja, há uma grande frequência que há emissão de boletins pelo SACE Uruguai para a localidade. Para se entender melhor o que ocorre, conforme já discutido na Introdução, e que pode ser

observado nos dados apresentados na Tabela 01 e na Figura 04, dos 39 valores de vazões calculados pela curva-chave com as cotas máximas DL, em nenhum ano houve vazões calculadas máximas anuais menores que a vazão calculada na cota de atenção ($8.622\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ para a cota associada de 650cm), ou seja, as 39 vazões máximas anuais, 100%, são superiores a vazão calculada para essa mesma cota de atenção, considerando os dados disponíveis em 10/2021 (Anexo III).

Na Tabela 03 encontra-se um resumo dos cálculos importantes deste item.

Tabela 03 – Resumo com os dados calculados nos exemplos de aplicação

Evento	Cota (cm)	^a Vazão ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$)	^b % da Q na > Cota Registrada	Tempo de Retorno da Vazão (anos, em decimal)	Probabilidade (%) da vazão ser igualada ou superada em um ano qualquer
Cheia 1 (19/07/1983)	1.358	30.786	100,0%	28,6	3,5%
Cheia 2 (13/06/2017)	1.269	27.379	88,9%	13,4	7,5%
Maior Vazão Medida (20/07/1983)	1.354	31.025	100,8%	30,2	3,3%
SACE do SGB / CPRM					
Atenção	650	8.622	28,0%	1,0	99,0%
Alerta	750	10.942	35,5%	1,1	92,6%
Inundação	850	13.574	44,1%	1,3	78,1%

^a Vazão gerada com a curva-chave válida e disponível em outubro de 2021.

^b Percentual da Vazão ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) nas cotas de cheia 1 (maior cheia histórica registrada nesta estação pluviométrica), cheia 2, maior vazão medida, atenção, alerta e inundação em relação a maior vazão estimada pela curva-chave para a maior cota registrada da série histórica.

Apesar de diferença pequena, menor que 1%, verifica-se na Tabela 03, que a cota da cheia 1, em 19/07/1983, 1.358cm, gera um tempo de retorno da vazão, com 28,6 anos, menor que a medição de vazão em campo, em 20/07/1983, com uma cota menor, 1.354cm, que gerou um tempo de retorno de 30,2 anos. O mesmo vale para a probabilidade de a vazão ser igualada ou superada em um ano qualquer, só que inversamente. Presume-se que, em uma análise de frequência local para vazões máximas, que se utiliza de curva-chave para estimar essas vazões máximas associadas as cotas máximas, o contrário deveria ser verdadeiro quanto ao tempo de retorno dos

dados mostrados na Tabela 03, entre a cheia 1 e a maior vazão medida. Contudo a curva-chave utilizada (Anexo III, de outubro de 2021) gerou uma vazão de $30.786\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ para a maior cota observada (1.358cm), ou seja, menor que a vazão medida em campo, de $31.025\text{m}^3.\text{s}^{-1}$, para uma cota menor, que foi de 1.354cm. Partindo-se do princípio que a curva-chave foi bem traçada, buscando-se a minimização da soma dos desvios entre as vazões medidas em campo e as vazões estimadas pela curva-chave, entre outros critérios técnicos para um bom traçado e ajuste de equação para determinação da descarga líquida em função da cota observada no curso d'água, chega-se à conclusão que, mesmo sendo pequena, normalmente menor que 5%, o que afetou essas pequenas diferenças foram as incertezas inerentes as medições de vazão em campo. Gamaro *et al.* (2013) citam a ISO 748 de 2007, que durante a redação deste trabalho verificou-se atualizada em 2011, e estudos internacionais que mostram que existem fatores de relevância para a realização de medições mecânicas em rios, dissertando que o tempo de amostragem e da precisão do aparelho, além da calibração do equipamento pode inferir na qualidade e nos resultados da medição de vazão. Segundo o Manual de Medição de Vazão, de Delmée (2003), a “incerteza” é atributo da medição de vazão que, convencionalmente, significa que existe 95% de probabilidade de o valor real estar compreendido na faixa de incerteza considerada. Já Rios *et al.* (2011), em um estudo comparativo entre métodos de medição de vazão em cursos d'água, dissertaram em seus resultados os problemas encontrados com os resultados devido as incertezas nos processos de medição de vazão estudados. Segundo o estudo de Maldonado e Wendland (2013), cada método de medição de vazão apresenta seu procedimento de aplicação, assim como suas vantagens, desvantagens e incertezas. Os autores relatam que, segundo a ISSO de 2007, que se verifica atualizada em 2011 (ISO 748, 2011), os métodos que se baseiam pelo produto das velocidades e áreas (e.g., tradicional) apresentam incertezas relativas ao número de velocidades medidas ao longo de uma vertical e ao longo da seção (7,5% no caso de cinco verticais a 1% para 35 verticais), o tempo de amostragem de cada velocidade (4% no caso de 0,5 min a 2% para 3 min), e o tipo de instrumento utilizado. Além destas, há as incertezas de medições de vazão atreladas ao fenômeno da histerese, seja quando o rio está com o nível ascendente ou descendente (MARCUIZZO; MALDONADO; SOUZA, 2019).

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.

DELMÉE, G. J. **Manual de medição de vazão**. Editora Blucher, 3ª ed. 2003.

ENCHENTE EM URUGUAIANA. [s.l.: s.n., 2014]. 1 vídeo (1,44 min.). Publicado por Dorcidonio. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=f4_-3rntxA. Acesso em: 22 jul. 2021.

ENCHENTE EM URUGUAIANA, RS 06.06.17. [s.l.: s.n., 2014]. 1 vídeo (8,05 min.). Publicado por Hans Lucas Salgado Farias. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=jYiUfjOaCb8>. Acesso em: 22 jul. 2021.

ENCHENTE EM URUGUAIANA: 30 de dezembro de 2015. Uruguaiana, RS: TV Fronteira20, 2015. 1 vídeo (3,37 min.). Publicado pela TV Fronteira canal 20. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=lcme_IROiao. Acesso em: 22 jul. 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.

GAMARO, P. E.; MALDONADO, L. H.; SANTOS, J. M. Comparativo entre medições de vazão com micromolinetete e flowtracker para a estação São Francisco Falso. XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, **Anais[...]** Bento Gonçalves, p. 1- 10, 2013. Disponível em:

http://abrh.s3.amazonaws.com/Eventos/Trabalhos/66/SBRH2013__PAP013458.pdf. Acesso em: 10 jan. 2022.

GUIMARÃES, G. M.; FINCK, J. S.; MARCUZZO, F. F. N. Espacialização Pluviométrica da Precipitação Média Mensal na Parte Brasileira da Bacia do Rio Uruguai. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 29.; ENCONTRO TÉCNICO AESABESP, 28.; 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.

ISO - International Organization for Standardization, 748:2021 - **Hydrometry** – Measurement of liquid flow in open channels using current-meters or floats, 2021. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/72754.html>. Acesso em: 10 jan. 2022.

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.

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, 2016. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/17193>. Acesso em: 26 abr. 2021.

MALDONADO, L. H.; WENDLAND, E. C. Aplicação de medidores de vazão não-convencionais em rios: eletromagnético e vertedor circular móvel. XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, **Anais**[...] Bento Gonçalves. p. 1-8, 2013. Disponível em: https://abrh.s3.amazonaws.com/Sumarios/155/e62af33544f06382bbefac354d6cc03f_26c78165c859500fad1245dab3f44617.pdf. Acesso em: 10 jan. 2022.

MARCUZZO, F. F. N. Bacia hidrográfica do rio Uruguai: altimetria e áreas. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 22., 2017, Florianópolis. **Anais**[...] Florianópolis: ABRH, 2017. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/18489>. Acesso em: 03 mar. 2021.

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. Disponibilidade hídrica do Brasil: estudos de regionalização nas bacias hidrográficas brasileiras. **Análise de frequência de cotas de sistemas de alerta: Sistema de Alerta Bacia do Rio Uruguai, Rio Uruguai, Estação Fluviométrica Uruguaiana, código 77150000**. Porto Alegre: CPRM, 2022. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/>. Acesso em: 01 Mar. 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, Francisco Fernando Noronha. Influência da altitude na precipitação média anual nas 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/15056>. Acesso em: 26 abr. 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.

MULLER, Y. T.; ROLIM, F. E.; MARCUZZO, F. F. N. Ottocodificação e análise altimétrica e da precipitação pluviométrica da bacia hidrográfica do rio Pelotas na divisa entre o Rio Grande do Sul e Santa Catarina. *Geographia Meridionalis*, Pelotas, RS, v.

4, n. 02 Jul-dez., p. 227–245, 2018. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/20640>. Acesso em: 26 abr. 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.

RIOS, F. P.; FORMIGA, K. T. M. F.; ALVES, P. L. A., DE OLIVEIRA, V. T. Estudo comparativo entre métodos de medição de vazão em cursos d'água. XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. **Anais[...]** Maceió: Alagoas, 2011. Disponível em: <https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=3&ID=81&SUMARIO=1423>. Acesso em: 10 jan. 2022.

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.

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.

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 Uruguaiana, código 77150000

Identificação

Código:	77150000	Estação:	URUGUAIANA	Tipo:	FCo
Região hidrográfica:	Rio Uruguai			Sub-bacia:	72
Bacia:	RIOS URUGUAI				
Município:	Uruguaiana	Estado:	RS	Roteiro:	96
Latitude:	-29.7480	Longitude:	-57.0890	Altitude (m):	39
Instrumento:	GPS	Datum:	WGS 84		
Área de dren. (km ²):	190000	Instalada em:	01/12/1939	Extinta em:	
Coordenador:	ANA	Operador:	CPRM - SUREG/PA		
Código da folha:	2721	Nome da folha:			
Orgão executor:		Ano:		Escala:	1:100.000

Localização

- A estação localiza-se na margem esquerda do rio Uruguai, ao lado da ponte Internacional em Uruguaiana.

Acessibilidade

- Pela estrada que liga Brasil e Argentina, ponte Internacional em Uruguaiana.

Seção de réguas

Margem: Esquerda

Réguas: 0-100, 100-200, 200-300, 300-400, 400-700, 700-900, 900-1000, 1000-1300 e 1300-1400

Apenas uma seção de medição junto a ponte (SM1).

Referências de nível

RN02 = 9000

RN03 = 8870

RN08 = 13056

FICHA DESCRITIVA DE ESTAÇÃO
FLUVIOMÉTRICA

Seções e processos de medição

Apenas uma seção de medição junto a ponte (SM1).

Processo de medição: Ponte/Barco

Equipe:

Data: 26/02/2021

Estação: URUGUAIANA

Código: 77150000

Potamografia

Características do trecho

Regime: Perene Conformação: Retilínea Fundo: Irregular

Posição em relação à rede

Montante: ITAQUI

Jusante:

Natureza e inclinação das margens

Esquerda: Baixa Argilosa com Vegetação de Pequeno Porte

Direita: Baixa Argilosa com Vegetação de Pequeno Porte

Leito

Natureza: Rochosa sem Vegetação

Controle

Controle: Canal Localização: - A estação Distância

Observador

Nome:

Apelido:

Endereço:

Complemento:

Bairro:

Município: Uruguaiana

Estado: Rio Grande do Sul

CEP:

Telefone fixo:

Celular:

Autorizado:

Apelido:

Endereço:

Complemento:

Telefone fixo:

Celular:

Leiturista:

FICHA DESCRITIVA DE ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA

Observações

Equipamentos

Equipe:

Estação: URUGUAIANA

Data: 26/02/2021

Código: 77150000

ROT 96 – Uruguiana – 77150000 – FDSQT

Objetivos do monitoramento

A estação fluviométrica Uruguiana está instalada no rio Uruguai, na área urbana do município de Uruguiana, sendo o ponto de monitoramento mais a jusante deste curso d'água, localizando-se a jusante da estação Itaqui.

Dentro da rede hidrometeorológica nacional de referência, os objetivos deste ponto de monitoramentos são:

- Eventos hidrológicos críticos.
- Balanços e disponibilidades hídricas
- Mudanças e tendências de longo prazo.
- Qualidade da água.

Características físicas da estação

A estação automática está localizada na porção brasileira (aproximadamente 390m do pórtico de acesso) da ponte internacional Algustin Justo, sobre o rio Uruguai, junto da seção de réguas. A PCD está alocada em um poste metálico a 1,5m de altura, em uma plataforma de manutenção da ponte. A antena, painel solar e o pluviômetro automático da estação estão fixados em um suporte com duas hastes sobre a caixa da PCD, os equipamentos podem ser acessados utilizando uma escada móvel. O sensor de nível é do tipo radar e está fixado junto da estrutura da ponte em braço articulado.

Medição de descarga

A medição de descarga é realizada de forma embarcada, com medidor acústico do tipo M9, 30 metros a montante da seção de réguas.

Controle

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

Cota H_0

Não aplicável.

Referências de Nível

- RN2 - 9000;
- RN3 - 8870;
- RN8 – 13056;
- PA 018 – 12413.

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: 2013

Padrão de conexão: conector militar de 4 vias.

ID GOES: B56CF536, canal primário: 61, horário de transmissão: 00:38:30;

Modem: Vaissala 2ª geração (preto);

Chave TASCOS padrão Hobeco;

Fabricante: Hobeco/Vaissala;

DataLogger: Vaissala QML201C;

Bateria (12V e 26 Ah);

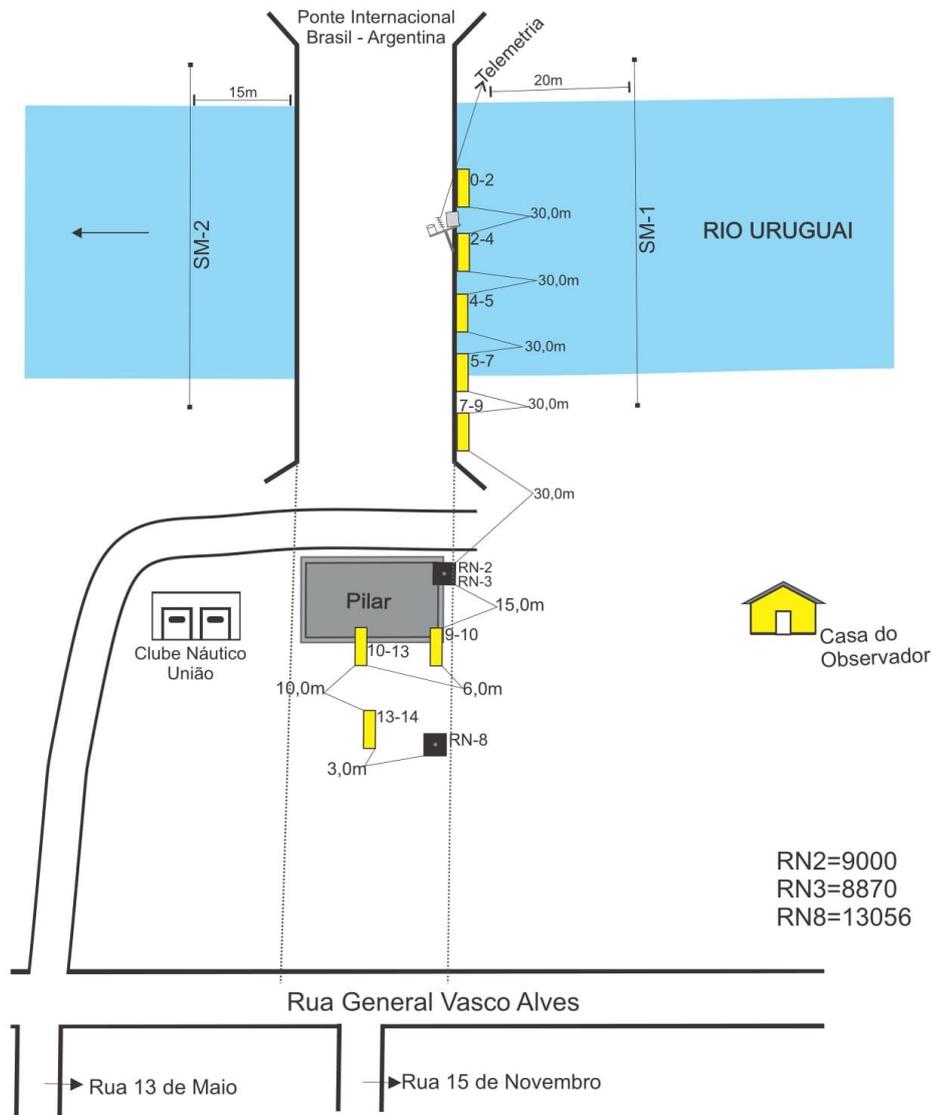
Sensor de nível tipo radar Sebal;

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: 19679

PASO DE LOS LIBRES



RIO URUGUAI EM URUGUAIANA
20/03/2019

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 e vazões máximas por ano hidrológico
Curva-Chave
Estatísticas da série

ANEXO III

Série de Dados Utilizados – Cotas da Dupla Leitura (cm) e as Respectivas Vazões (m³.s⁻¹) Geradas Pela Curva-Chave

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 de cotas dupla leitura abaixo foram recuperados por meio do trabalho projetado e executado por Naitzel, Goldenfum e Marcuzzo (2020).

Nº	Data do Registro	Cota (cm)	Vazão (m ³ .s ⁻¹)	Observações
1	19/11/1982	1.115	21.866	* DL verificado também com boletim
2	19/07/1983	1.358	30.786	Maior cheia da série histórica. Medição de vazão na cota 1.354cm, em 20/07/1983, registrou 31.025m³.s⁻¹.
3	16/08/1984	1.062	20.084	DL verificado também com boletim
4	09/08/1985	860	13.858	DL
5	13/04/1986	1.090	21.018	DL verificado também com boletim
6	22/04/1987	1.074	20.482	DL verificado também com boletim
7	30/09/1988	744	10.796	DL verificado também com boletim
8	21/09/1989	1.012	18.458	DL verificado também com boletim
9	13/06/1990	1.280	27.791	DL verificado também com boletim
10	27/06/1991	780	11.683	DL verificado também com boletim
11	05/06/1992	1.222	25.644	DL verificado também com boletim
12	12/07/1993	908	15.438	DL verificado também com boletim
13	13/07/1994	992	17.823	DL verificado também com boletim
14	11/10/1995	832	13.421	DL
15	16/02/1996	779	12.079	DL
16	22/10/1997	1.288	28.093	DL
17	05/05/1998	1.104	21.491	DL
18	10/07/1999	856	14.046	DL
19	22/10/2000	910	15.492	DL
20	14/10/2001	926	15.931	DL
21	17/10/2002	1.114	21.832,65	DL
22	27/12/2003	1.050	19.689	DL
23	01/01/2004	866	14.310	DL
24	24/06/2005	1.114	21.832,66	DL. Valor repetido. Foi acrescentado 0,01 cm para a aba ORG-DADOS organizar em ordem crescente as máximas
25	24/11/2006	700	10.182	DL
26	27/05/2007	834	13.125	DL
27	05/11/2008	1.060	20.018	DL verificado também com boletim
28	01/12/2009	1.120	22.037	DL
29	03/05/2010	888	14.666	DL
30	28/07/2011	910	15.314,01	DL

Nº	Data do Registro	Cota (cm)	Vazão (m ³ .s ⁻¹)	Observações
31	03/11/2012	750	10.942	DL verificado também com boletim
32	01/01/2013	820	12.736	DL verificado também com boletim
33	06/07/2014	1.187	24.382	DL
34	30/12/2015	1.143	22.831	DL
35	01/01/2016	1.128	22.312	DL verificado também com boletim
36	13/06/2017	1.269	27.379	DL
37	08/11/2018	775	11.558	DL
38	20/01/2019	927	15.821	DL
39	13/07/2020	781	11.709	DL

Valores conferidos através da análise do **gráfico de cotas com o apoio** das estações 75900000 (Itaqui) e 77590000 (Barra do Quaraí) para **anos completos** (com todos os dados de cota preenchidos e todas as estatísticas calculadas) e **sem boletim** escaneizado.

Valores conferidos através da análise do **gráfico de cotas com o apoio** das estações 75900000 (Itaqui) e 77590000 (Barra do Quaraí), 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 conferidos através da análise do **gráfico de cotas com o apoio** das estações 75900000 (Itaqui) e 77590000 (Barra do Quaraí) 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.

ANEXO III
Curva-Chave

As vazões da série histórica foram calculadas com a equação da curva-chave de formato de equação potencial:

$$Q(h) = a (h - h_0)^n \quad (\text{AIII-01})$$

Em que:

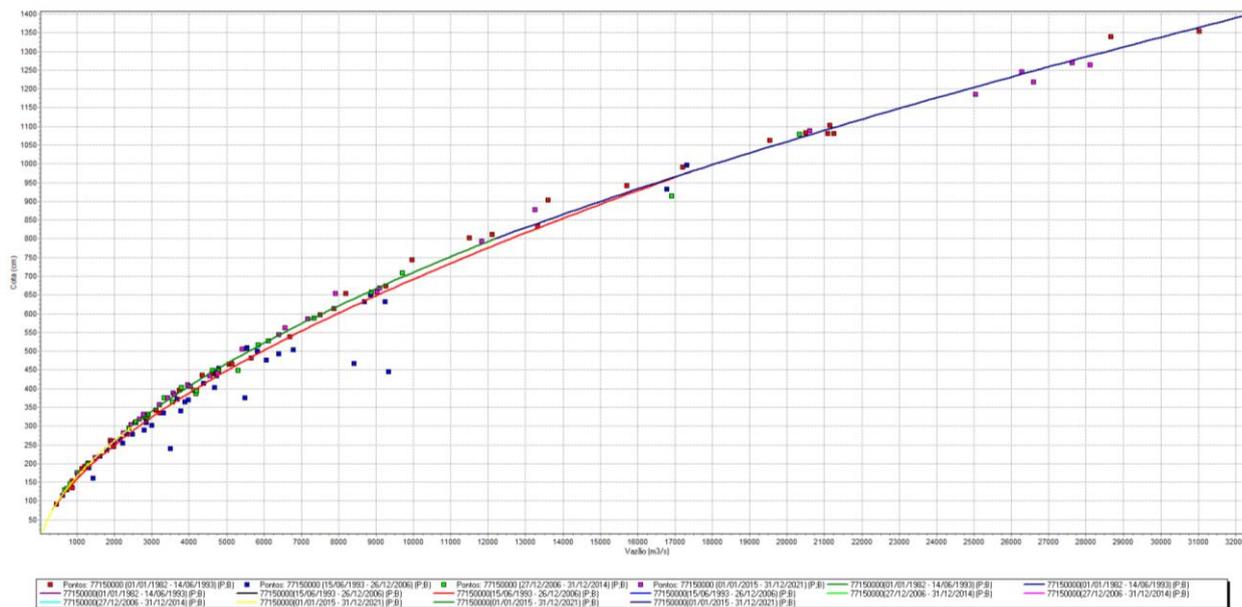
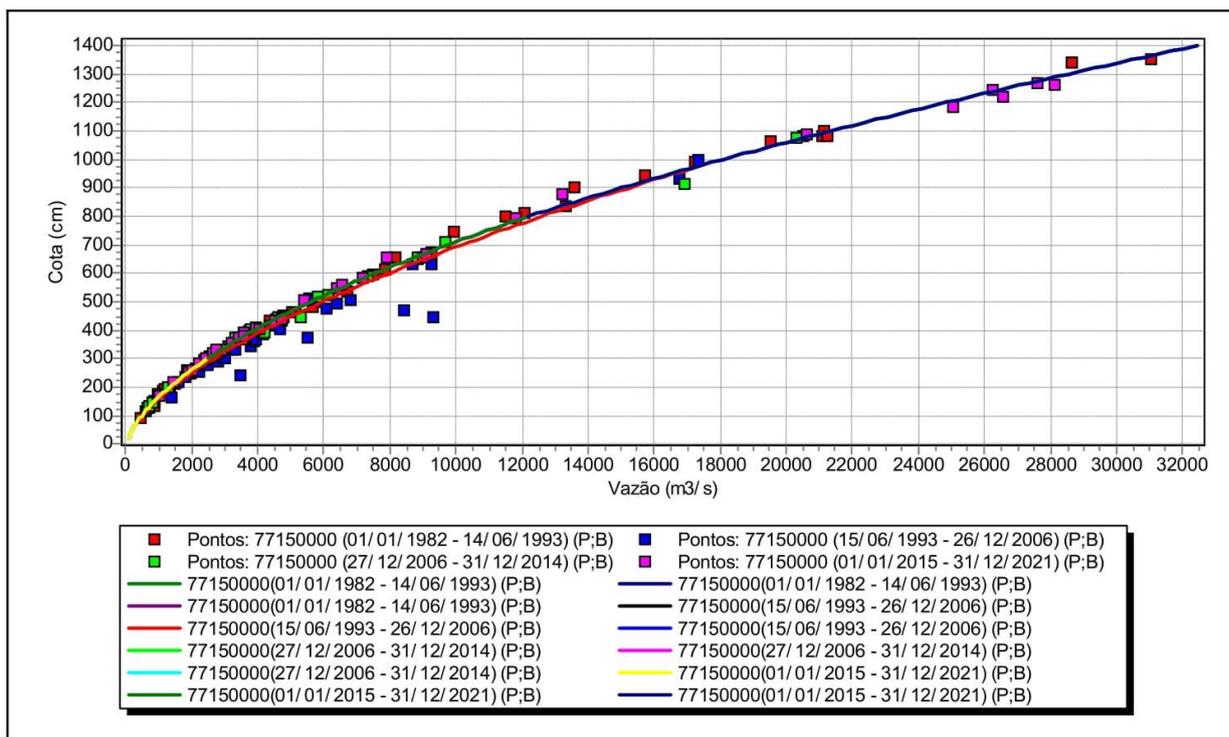
h é a cota a qual se quer calcular a vazão (m);

$Q(h)$ é a vazão calculada para a cota h ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$);

a , n e h_0 são parâmetros de ajustes.

Os parâmetros da curva-chave utilizadas neste estudo, foram os disponibilizados pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB / CPRM), em seu banco de dados brutos, em outubro de 2021. Os períodos temporais de validade, intervalos de validade das cotas e os respectivos parâmetros da equação de cada tramo da curva-chave são os seguintes:

Período de Validade		Cota		Número do Tramo	Parâmetros da Equação		
Início	Fim	Máxima ----- (cm)	Mínima ----- (cm)		a	h0 (m)	n
01/01/1982	14/06/1993	300	20	1	304,4847	-0,31	1,756
01/01/1982	14/06/1993	800	300	2	300,3461	-0,34	1,746
01/01/1982	14/06/1993	1.400	800	3	434,6145	0,54	1,659
15/06/1993	26/12/2006	79	20	1	304,4847	-0,31	1,756
15/06/1993	26/12/2006	980	79	2	422,7469	-0,11	1,622
15/06/1993	26/12/2006	1.400	980	3	434,6145	0,54	1,659
27/12/2006	31/12/2014	300	20	1	304,4847	-0,31	1,756
27/12/2006	31/12/2014	800	300	2	300,3461	-0,34	1,746
27/12/2006	31/12/2014	1.400	800	3	434,6145	0,54	1,659
01/01/2015	31/12/2021	300	20	1	304,1712	-0,31	1,756
01/01/2015	31/12/2021	800	300	2	300,3461	-0,34	1,746
01/01/2015	31/12/2021	1.400	800	3	434,6145	0,54	1,659



Legenda: Código Estação<(parâmetro opcional)> (Pasta ; Nível Consistência)

Pasta: E - Excluídos / N - Novos / I - Importados / P - Permanentes

Nível de Consistência: B - Bruto / C - Consistido

ANEXO III

Estatística da Série de Dados Utilizados – Vazões (cm)

Vídeos na INTERNET registrando cheias na bacia do rio Uruguai em Uruguaiana/RS.

1. ENCHENTE EM URUGUAIANA-RS 07/2014: https://www.youtube.com/watch?v=f4_-3rntxaA
2. TV FRONTEIRA CANAL 20 URUGUAIANA - ENCHENTES 30/12/2015: https://www.youtube.com/watch?v=lcme_IROiao
3. ENCHENTE EM URUGUAIANA-RS 06-06-17: <https://www.youtube.com/watch?v=jYiUfjOaCb8>

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 m ³ .s ⁻¹	Desvio- Padrão m ³ .s ⁻¹	Máximo m ³ .s ⁻¹	Mínimo m ³ .s ⁻¹	Amplitude m ³ .s ⁻¹	Assime- tria	Mediana m ³ .s ⁻¹	1º Quartil m ³ .s ⁻¹	3º Quartil m ³ .s ⁻¹	AIQ m ³ .s ⁻¹
18.178,3	5.540,6	30.785,7	1.0181,5	20.604,2	0,4	17.823,3	13.639,5	21.848,7	8.209,22

Estatísticas da série transformada: Ln(X)

Média	Desvio- Padrão	Máximo	Mínimo	Amplitude	Assime- tria	Mediana	1º Quartil	3º Quartil	AIQ
9,762543	0,306662	10,33481	9,228330	1,106477	0,002260	9,788263	9,520599	9,991899	0,471300

Momentos-L e Razões-L

l_1	l_2	L-CV	L-SKEW	L-KURT
18178,3103	3180,9710	0,1750	0,1079	0,0317

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

l_1	l_2	L-CV	L-SKEW	L-KURT
9,7625	0,1782	0,0182	-0,0059	0,0144

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

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

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)	9,7625430330	0,3157720093



Projeto de regionalização de vazões nas bacias hidrográficas brasileiras

Análise de Frequência de Vazões 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