

CHUVAS E VAZÕES DA GRANDE ENCHENTE DE 1941 EM PORTO ALEGRE/RS

André Luiz Lopes da Silveira

Doutor em Ciências da Água no Ambiente Continental – Universidade de Montpellier II/França

Professor no Instituto de Pesquisas Hidráulicas/UFRGS

E-mail: andre@iph.ufrgs.br

RESUMO

A cheia de 1941 em Porto Alegre, capital do Estado do Rio Grande do Sul (RS), situado no extremo sul do Brasil, que inundou uma área extensa da cidade, incluindo o centro e alguns bairros, foi de uma magnitude sem precedentes e nenhum evento posterior chegou perto em termos quantitativos. Apesar de fartamente documentada, esta grande cheia gerada na bacia do Jacuí e em outros contribuintes menores, desaguando no lago Guaíba, nunca foi objeto de estimativa consistente das suas vazões em que pese se ter os registros de cotas de nível d'água no cais do porto, localizado no centro da cidade. As chuvas causadoras também nunca foram mapeadas em termos espaciais nem explicitada sua característica temporal. O presente estudo produz resultados neste sentido. O mapeamento da chuva no evento de 1941 mostra aspecto compatível com um CCM (Complexo Convectivo de Mesoescala) assim como os quatro *bursts* de precipitações intensas identificados. A raridade da cheia de 1941 tem sido aferida pela aplicação da distribuição de Gumbel aos níveis máximos anuais, mas ela desponta como *outlier*, colocando dúvidas numa estimativa de período de retorno. Fazendo-se o mesmo ajuste com as vazões máximas anuais, este efeito de *outlier* permanece. Assim o presente estudo optou por contextualizar a raridade da cheia de 1941 em Porto Alegre com base em relações de envoltórias de vazões extremas mundiais. A conclusão é que a cheia de 1941 foi extrema e rara, mas a curva envelope de Creager dá espaço para consideração de uma cheia ainda mais extrema para Porto Alegre.

PALAVRAS-CHAVE: Enchente de 1941; cidade de Porto Alegre; inundação; lago Guaíba, rio Guaíba.

RAINS AND FLOWS OF THE GREAT FLOOD OF 1941 IN PORTO ALEGRE / RS

ABSTRACT

The 1941 flood in Porto Alegre, capital of Rio Grande do Sul State (RS), found in extreme south of Brazil, that flooded a large area of the city, including downtown and some neighborhoods, was of unprecedented magnitude and no later event came close in quantitative terms. Although this large flood generated in the Jacuí basin and other minor contributors, flowing into Guaíba lake, it has never been well documented with a consistent estimate of its flows in spite of having records of water level at the docks, located in downtown area of the city. The event rainfall have also never been spatially mapped nor their temporal characterization explicited. The present study produces results in this sense. The rainfall mapping in the 1941 event shows an aspect compatible with a Mesoscale Convective Complex (MCC) as well as the four intense precipitation bursts identified. The rarity of the 1941 flood was evaluated by applying the Gumbel distribution to the annual maximum levels, but it emerges as an outlier, causing doubts on a return period estimate. By making the same adjustment with the annual maximum flows, this outlier effect remains. Thus the present study opted to contextualize the rarity of the flood of 1941 in Porto Alegre based on relations of world maximum observed floods. The conclusion is that the flood of 1941 was extreme

and rare, but the envelope curve of Creager gives consideration of a still more extreme flood in to Porto Alegre / RS

KEYWORDS: Flood of 1941; Porto Alegre city; Inundation; Guaíba lake; Guaíba river.

INTRODUÇÃO

Imagine-se uma cidade com 272 mil habitantes dos quais cerca de 70 mil pessoas (26%) tiveram suas moradias atingidas por uma enchente, além de um terço dos estabelecimentos comerciais e indústrias ficarem igualmente sob as águas, isto durante aproximadamente 40 dias. Pois foi o que aconteceu em 1941 em Porto Alegre na localmente conhecida como a “enchente de 41” descrita com detalhes históricos por Guimaraens (2009).

A enchente de 1941, decorrente da maior cheia registrada no lago Guaíba desde 1873, foi um evento traumático para Porto Alegre pela sua magnitude, com nível de pico atingindo 4,75 metros contra a referência de 3,00 metros do cais do porto. Entre 1873 e 2015 há registros de várias outras cheias importantes, mas nenhuma com nível máximo superior a 3,50 metros (ver Tabela 2 adiante).

A enchente de 1941 e a apreensão provocada pela cheia de 1967, que atingiu 3,13 m, foram decisivas para a construção do sistema de diques de proteção contra inundações de Porto Alegre, terminado em 1974. Um trecho desse dique, na parte central da cidade, com 2.647 metros foi construído em concreto ao longo da avenida Mauá, razão pela qual passou a ser chamado de “Muro da Mauá”, provavelmente apelidado dessa forma por seus críticos, na busca de uma conotação negativa por analogia ao “Muro de Berlim” (GUIMARAENS, 2009).

A discussão sobre esse trecho do dique, reconhecido como sem qualidade estética, e acusado por muitos de “separar” a população do lago Guaíba, suscita recorrentemente a questão do período de retorno de uma cheia similar a de 1941: se este período de retorno é tão elevado, denotando uma cheia extremamente rara, seria possível eliminar esse trecho do dique (o “Muro da Mauá”)?

A incerteza sobre o grau de raridade de uma cheia como a de 1941 é que todas as avaliações têm sido feitas a partir de ajuste de uma distribuição de probabilidades e o fato da cheia de 1941 despontar como *outlier*¹ fragiliza a estimativa de seu período de retorno.

Neste contexto o objetivo principal deste artigo é de promover uma análise da cheia de 41, estimando seu volume e vazão de pico, e relacionando-a com informações da precipitação pluviométrica espacial e envoltórias de vazões extremas mundiais.

¹ *Outlier*, segundo o Glossário Inglês-Português de Estatística (glossario.spestatistica.pt) da Sociedade Portuguesa de Estatística e da Associação Brasileira de Estatística, é um valor atípico, discordante, aberrante ou anômalo.

(trimestre da cheia de 1941) os valores médios situaram-se no intervalo de 300 a 420 mm, neste mesmo período de 1976 a 2005. Em ambos casos o gradiente é positivo no sentido sul-norte da bacia, seguindo a tendência do relevo mais elevado.

Quanto aos solos, na parte norte da bacia, eles são basicamente lateríticos, solos de climas muito úmidos, como os Latossolos, e na parte sul, pedalférricos, solos de climas úmidos, como os Argissolos (BECKER, 2008). Segundo o mapa de vegetação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2004), ocorrem nessas regiões predominantemente florestas ombrófilas mistas e tropicais caducifólias ao norte e campos ao sul.

O lago Guaíba em si é um corpo d'água com 468 km² e profundidade média da ordem de dois metros (SILVEIRA; TUCCI, 1988). Para uma referência que explica a classificação do Guaíba como lago, sugere-se o artigo de Oliveira (1976).

MATERIAL E MÉTODOS

Para atender o objetivo de análise das precipitações e volumes e vazões da cheia de 1941 em Porto Alegre, e realizar uma comparação com envoltórias de vazões extremas mundiais, foram utilizados dados de chuva do portal Hidroweb da Agência Nacional de Águas (ANA), de todo estado do Rio Grande do Sul (alguns de Santa Catarina), e dados e informações de níveis d'água e vazões do lago Guaíba e rio Jacuí, parte publicada em documentos e parte obtida do portal Hidroweb.

Como procedimento metodológico, primeiro foram analisados os níveis da cheia de 1941, isto é, foi buscada uma reconstituição inédita da evolução dos níveis d'água da cheia de 1941 no Guaíba para, na sequência, obter o correspondente hidrograma, permitindo, desta forma, obter valores, igualmente inéditos, de volumes e vazões para esta que foi maior cheia do Guaíba em Porto Alegre. A reconstituição dos níveis foi baseada em publicações acadêmicas e também de cunho histórico. Para obtenção das vazões da cheia de 1941, foi proposto um método baseado nas vazões do rio Jacuí em São Jerônimo que poderiam ser obtidas de uma curva-chave aplicada aos níveis d'água de 1941.

Em um segundo bloco metodológico foi feita uma análise estatística das vazões máximas anuais – normalmente são feitas análises estatísticas dos níveis máximos anuais – com o intuito de evidenciar, com a variável vazão, que o pico da cheia de 1941 foi um *outlier*, sem parametrização possível via distribuição de extremos.

A hipótese de evento *outlier* remete à busca de alguma explicação pelo lado da precipitação,

desta forma, uma terceira etapa foi a análise das chuvas que causaram a enchente de 1941. Todos os dados das estações pluviométricas com dados relevantes para quantificar as alturas precipitadas foram analisados. A intenção foi obter uma inédita visualização espacial e expor uma sequência temporal que não é claramente referida na gênese da cheia de 1941, de modo a permitir um olhar meteorológico normalmente ignorado nesta gênese.

Por fim, é apresentada uma análise não probabilística da cheia de 1941, através de uma metodologia de comparação com curvas envelopes de vazões extrema mundiais, com a finalidade de situá-la sob um prisma de evento raro local, mas relativamente mais frequente em nível mundial.

NÍVEIS DA CHEIA DE 1941

O nível máximo da cheia de 1941, ocorrido em 8 de maio, foi de 4,76 m, medido pela Capitania dos Portos de Porto Alegre conforme consta em Guimaraens (2009) que também cita a cota de 4,75 m. Este nível segue uma escala onde o nível ou cota 3,00 m é a cota do cais, cujo valor consta de plantas do projeto do porto, mas provavelmente sem amarração a um datum vertical conhecido. Alves (2005) refere que um dos critérios para definição da altura do cais foi que ele estivesse 3,00 m acima das cotas mínimas de estiagem da época (início do século XX) para garantir calado de navegação.

Guimaraens (2009) reporta que em 2 de maio de 1941 o nível do Guaíba no cais atingiu a cota de 2,99 m, no dia 3 atingiu 3,25 m, no dia 5 variou de 3,90 m (19h30min) a 4,06 m (24h00min), no dia 6 chegou a 4,13 m, no dia 8 foi ao pico de 4,76 m e, no dia 18, já em recessão, a cota baixou para 3,20 m. Há informação de valores um pouco diferentes para o nível máximo: Franco (1988) fala em 4,73 m e outra referência, o estudo da Engevix (BRASIL, 1968), registra 4,75 m, mas essas diferenças são irrelevantes frente à magnitude da cheia.

O registro completo da cheia de 1941 em Porto Alegre encontra-se, entretanto, apenas nos dados da estação fluviométrica Porto Alegre (código ANA 87450000), com bacia contribuinte de 82.500 km²), cujo arquivo abrange o período entre os anos de 1929 a 1952. Há uma similitude dos dados desta estação com aqueles mencionados acima por Guimaraens (2009). Assim tem-se no dia 2 de maio de 1941 a cota média de 2,72 m, no dia 3 a cota de 3,12 m, dia 5 a cota 3,75 m, no dia 6 a cota de 4,21 m e o pico no dia 7 com 4,63 m na média desse dia (no dia 8 esta estação registrou queda para 4,40 m, mas isso é inconsistente com os relatos históricos que afirmam ser esse dia o dia do pico da enchente de 1941).

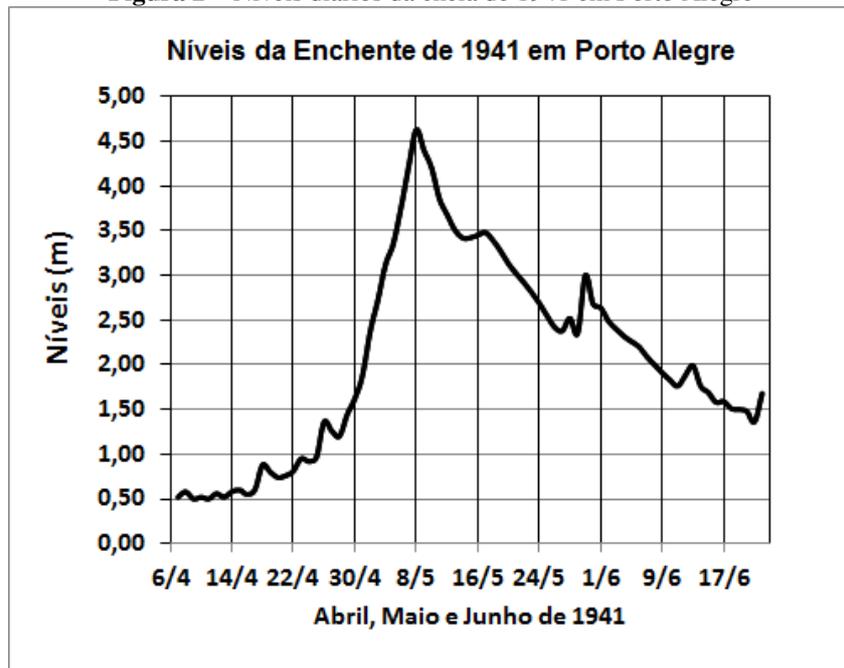
O levantamento descrito em Valenti *et al.* (2012) e Valenti (2010), com base em várias

marcas do nível máximo da enchente de 1941 em Porto Alegre, chegou ao valor, arredondado no centímetro, de 4,17 m, referenciada ao datum vertical de Imbituba/SC nivelada por meio da referência de nível 1788A (RN1788A) da rede mantida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), na cota 2,9344 m. Como o cais do porto está na altitude de 2,55 m, segundo o mesmo levantamento, portanto, na referência onde o cais está em 3,00 m e cota de cheia teria chegado a 4,62 m. Coincidência ou não esse valor é praticamente idêntico ao registro da estação 87450000.

O valor consagrado do nível máximo da cheia de 1941 é de 4,75 m, ou seja, 13 cm acima do levantamento de Valenti (2010). Como não há como recuperar as circunstâncias de como foi medido esses 4,75 m pela Capitania dos Portos na época, em que pese haver menção a este valor oriundo de registro linigráfico (BRASIL, 1968), o assunto se presta a várias especulações. Seria o 4,75 m um valor instantâneo que não deixou marca e os 4,62 m seria de um nível que durou mais e teve tempo de deixar rastro em paredes e muros?

O presente artigo não pretende elucidar as dúvidas que se tem sobre as cotas da enchente de 1941. Mas para efeito do que realmente se pretende, será adotada como verdadeira para o hidrograma da cheia de 1941 a série de dados de nível da estação fluviométrica Porto Alegre (código ANA 87450000) considerando uma defasagem de um dia, ou seja, com isso o dia do pico passa a coincidir com aquele testemunhado historicamente. Também, em função de algumas evidências (VALENTI, 2010), esses níveis serão admitidos como tendo a mesma referência que aponta a cota 3,00 m como a cota do cais do porto. Assim esses níveis que estão representados na Figura 2 passam a ser a base para avaliações volumétricas do presente estudo.

Figura 2 – Níveis diários da cheia de 1941 em Porto Alegre



Fonte: Estação Fluviométrica Porto Alegre, Lago Guaíba, Código 8745000, Hidroweb, Agência Nacional de Águas
Org.: o autor

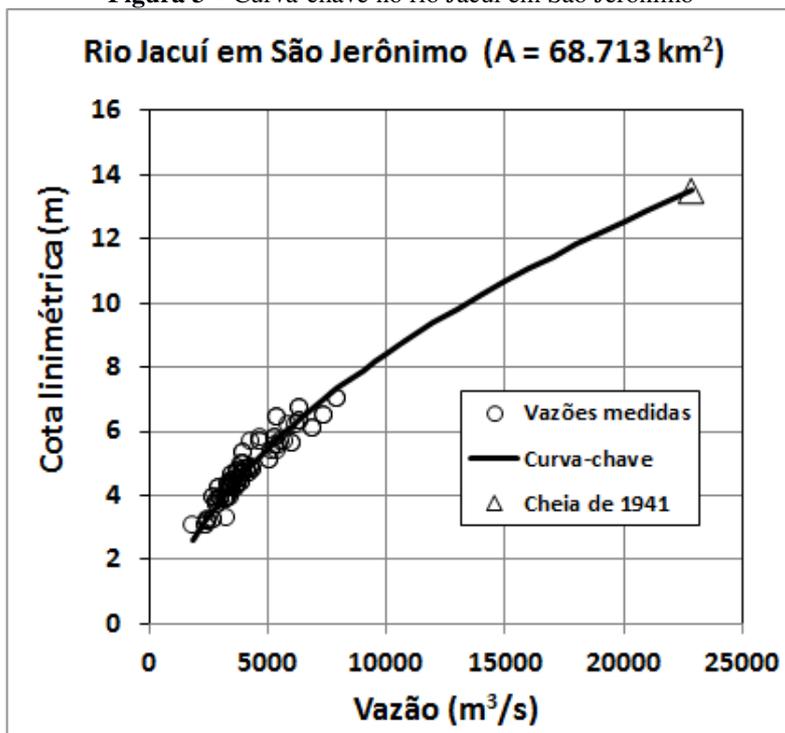
VAZÕES DA CHEIA DE 1941

Não há dados de vazão no lago Guaíba durante a cheia de 1941. Entretanto, é possível fazer uma estimativa das vazões da cheia de 1941 no Guaíba se forem explorados os dados de vazões medidas no rio Jacuí. Na estação São Jerônimo Jusante (código ANA 87035000) do rio Jacuí, há mais de 50 medições de vazão realizadas no período de 1972 a 1987, com vazões de médias a altas (2.000-8.000 m³/s). A proximidade desta com a estação São Jerônimo (código ANA 87020000), logo a montante, a menos de 50 metros, permite que se esboce uma curva-chave com os níveis desta com as vazões daquela. Como há dados de níveis d'água de 1941 somente na estação São Jerônimo de montante, a ideia foi extrapolar a curva chave até a cota máxima da cheia de 1941 ocorrida nessa estação que foi de 13,50 m. A Figura 3 mostra a curva-chave, cuja equação obtida foi :

$$Q_{SJM} = 0,00451(H_{SJM} + 208,49)^{2,10} \quad (1)$$

Onde Q_{SJM} é vazão em m³/s na estação São Jerônimo (montante) do rio Jacuí e H_{SJM} a correspondente cota de nível d'água em cm. A área contribuinte a esta estação é de 68.713 km².

Figura 3 – Curva-chave no rio Jacuí em São Jerônimo



Org.: o autor

Pela curva-chave estimada, a vazão máxima da cheia de 1941 no rio Jacuí em São Jerônimo foi de 22.848 m³/s.

A área contribuinte ao Guaíba na estação fluviométrica Porto Alegre (estação 87450000 da ANA) é de 82.500 km². Por proporcionalidade de áreas com São Jerônimo, a vazão de pico da cheia de 1941 no Guaíba foi de 27.433 m³/s (=82500/68713*22.848). Esta mesma proporcionalidade foi usada nas demais vazões do hidrograma da cheia de 1941 em São Jerônimo para gerar a totalidade do hidrograma de cheia estimado no lago Guaíba em 1941.

Para o projeto da Ponte do Guaíba, o laboratório da Neyrpic da França (NEYRPIC, 1955), contratado pelo Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem do Rio Grande do Sul (DAER-RS), estimou uma vazão de 38.000 m³/s para o pico da cheia de 1941. Não há detalhes disponíveis de como esta estimativa foi feita, mas seguramente entraram elementos “a favor da segurança” tão comuns em projetos de engenharia.

A Tabela 1 apresenta os resultados da aplicação da equação 1, seguida da multiplicação pelo fator de proporção de áreas 82.500/68.713, na obtenção das vazões atribuídas às cotas do hidrograma de cheia de 1941 no Guaíba. As vazões de São Jerônimo antecipam-se à do Guaíba em dois dias.

Tabela 1 – Níveis-vazões da cheia de 1941 no Guaíba

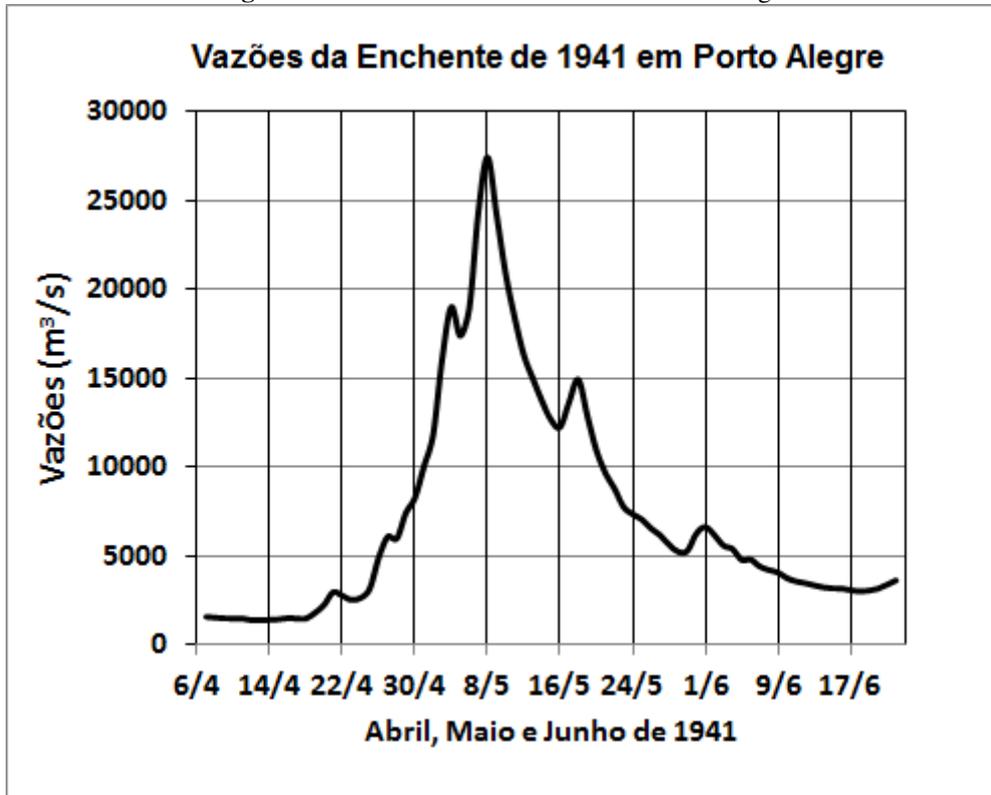
Dia	H (m)	Q (m ³ /s)	Dia	H (m)	Q (m ³ /s)
06/04/1941	0,55	1581	15/05/1941	3,42	12662
07/04/1941	0,52	1581	16/05/1941	3,45	12247
08/04/1941	0,58	1532	17/05/1941	3,48	13668
09/04/1941	0,50	1492	18/05/1941	3,39	14929
10/04/1941	0,52	1484	19/05/1941	3,27	12910
11/04/1941	0,50	1484	20/05/1941	3,13	10952
12/04/1941	0,56	1389	21/05/1941	3,02	9669
13/04/1941	0,52	1389	22/05/1941	2,92	8791
14/04/1941	0,58	1404	23/05/1941	2,81	7766
15/04/1941	0,60	1436	24/05/1941	2,69	7352
16/04/1941	0,55	1500	25/05/1941	2,55	7058
17/04/1941	0,60	1484	26/05/1941	2,42	6559
18/04/1941	0,88	1475	27/05/1941	2,38	6181
19/04/1941	0,80	1805	28/05/1941	2,52	5635
20/04/1941	0,74	2248	29/05/1941	2,35	5240
21/04/1941	0,76	2968	30/05/1941	3,00	5271
22/04/1941	0,81	2764	31/05/1941	2,68	6249
23/04/1941	0,95	2525	01/06/1941	2,64	6629
24/04/1941	0,92	2632	02/06/1941	2,49	6181
25/04/1941	0,96	3132	03/06/1941	2,40	5587
26/04/1941	1,36	4904	04/06/1941	2,32	5396
27/04/1941	1,26	6080	05/06/1941	2,26	4784
28/04/1941	1,20	5979	06/06/1941	2,20	4799
29/04/1941	1,44	7426	07/06/1941	2,09	4408
30/04/1941	1,62	8270	08/06/1941	2,00	4211
01/05/1941	1,88	10058	09/06/1941	1,91	4074
02/05/1941	2,37	11791	10/06/1941	1,83	3754
03/05/1941	2,72	16081	11/06/1941	1,76	3574
04/05/1941	3,12	19002	12/06/1941	1,88	3473
05/05/1941	3,35	17393	13/06/1941	1,99	3349
06/05/1941	3,75	18942	14/06/1941	1,76	3239
07/05/1941	4,21	24385	15/06/1941	1,69	3179
08/05/1941	4,63	27433	16/06/1941	1,58	3167
09/05/1941	4,40	24211	17/06/1941	1,59	3084
10/05/1941	4,20	20878	18/06/1941	1,51	3014
11/05/1941	3,86	18398	19/06/1941	1,50	3049
12/05/1941	3,68	16305	20/06/1941	1,48	3155
13/05/1941	3,51	14983	21/06/1941	1,36	3374
14/05/1941	3,42	13720	22/06/1941	1,68	3635

Org.: o autor

De acordo com os valores da Tabela 1 (graficados na Figura 4), é possível estimar que a cheia de 1941 começou entre 16 e 18 de abril e terminou entre 27 a 29 de maio. Considerando o período de 18 de abril a 29 de maio (42 dias) como sendo o período efetivo de cheia, escoou um volume total de aproximadamente 38.658 hm³, sendo que cerca de 26.472 hm³ podem ser creditados exclusivamente ao escoamento superficial. Para esse montante de escoamento superficial, a lâmina precipitada efetiva equivalente corresponde a 321 mm sobre a área da bacia de

82.500 km².

Figura 4 – Vazões da cheia de 1941 em Porto Alegre



Org.: o autor

Como se verá mais adiante, estimou-se em 588 mm a altura de precipitação bruta na bacia do Guaíba que causou a enchente de 1941. Assim o coeficiente de escoamento durante a cheia teve uma média de 0,55 (=321/588). Há que se considerar que o Guaíba antes da cheia de 1941 estava com nível d'água baixo, compatível com o normal esperado para abril, desta forma, pode-se especular que o mesmo evento chuvoso em outra época poderia resultar num coeficiente de escoamento maior, gerando uma cheia ainda maior.

NÍVEIS E VAZÕES HISTÓRICAS NO GUAÍBA

Há uma incerteza, difícil de quantificar, no estabelecimento de uma série de níveis máximos anuais porque não existe consenso sobre a relação entre as alturas dos zeros das régua linimétricas que foram tomadas historicamente como referenciais do cais, nem registro adequado de mudanças de zero em uma mesma régua, nem concordância sobre o impacto do ajuste do datum oficial de Porto Alegre.

No estudo da Engevix (BRASIL, 1968), que tratou da viabilidade técnico-econômica das obras de defesa de Porto Alegre, Canoas e São Leopoldo contra inundações, foi feita uma

compilação dos níveis máximos anuais entre 1899 e 1967. De 1899 a 1935, os dados provêm da régua linimétrica da então Secretaria de Obras Públicas do Rio Grande do Sul (SOP), cuja leitura de 3,00 m coincidiria com a altura do cais do porto, Cais Mauá, pronto em 1930. De 1936 a 1967, os valores de nível do Guaíba compilados pela Engevix foram retirados do registro de um linígrafo do antigo órgão federal DNPVN (Departamento Nacional de Portos e Vias Navegáveis), situado no terceiro espigão das docas. O cais do porto com 3,00 m aparentemente não considerou a cota da cheia de 1873, a qual teria atingido 3,50 m, mas não há amarração disponível que comprove isto.

Em Valenti (2010, p. 140), há uma ficha de histórico da estação fluviométrica Praça da Harmonia do DEPRC (antigo Departamento de Portos, Rios e Canais do Rio Grande do Sul) em que consta que a cota do cais estava também na altura 3,00 m acima do zero do linígrafo do DNPVN. Portanto, de 1899 a 1967, a série de níveis máximos do estudo da Engevix parece ser consistente.

Na mesma ficha do histórico acima referido, há uma anotação de 24/09/67 que afirma que partir da cota 2,80 m em Praça da Harmonia a água sobe o cais, ou seja pode-se depreender disso que o zero da régua desta estação (então situada no extremo sul do cais, na Ponta da Cadeia) estava, nesta época, cerca de 20 cm acima do zero do linígrafo do DNPVN.

A estação Praça da Harmonia, localizada na Ponta da Cadeia, passou a ser, a partir de 1968, praticamente a única fonte contínua de informações de níveis do Guaíba, tendo sido operado até junho de 2008. Mas o desconhecimento preciso da altura do zero de sua régua e a perenidade ou não do mesmo introduz muita incerteza na sua série de níveis máximos anuais para o Guaíba. Assim, pela anotação na ficha da estação em 24/09/67 haveria a necessidade de somar 20 cm nos valores lidos na régua dessa estação para compatibilizar com a leitura do linígrafo do DNPVN. Entretanto a leitura do valor máximo diário em 22/08/67 em Praça da Harmonia foi de 2,83 m enquanto que o linígrafo do DNPVN mediu o nível máximo em 3,13 m, ou seja, 30 cm a mais. As leituras podem não ter sido na mesma hora, o que poderia ter contribuído para a diferença ser de 30 cm e não de 20 cm.

As informações disponíveis indicam que a estação Praça da Harmonia foi deslocada em 2008, sem mudar de nome, para próximo do prédio principal do porto nas coordenadas 30° 01'09 S e 51° 14'04 W. Na instalação o zero da régua foi nivelado para coincidir a cota 3,00 m com a altura do cais. Em 29/12/2012, o Portal do Estado do Rio Grande do Sul noticiou a instalação de um novo linígrafo neste local numa parceria da Superintendência de Portos e Hidrovias (SPH) e a empresa Metroclima (SPH, 2012).

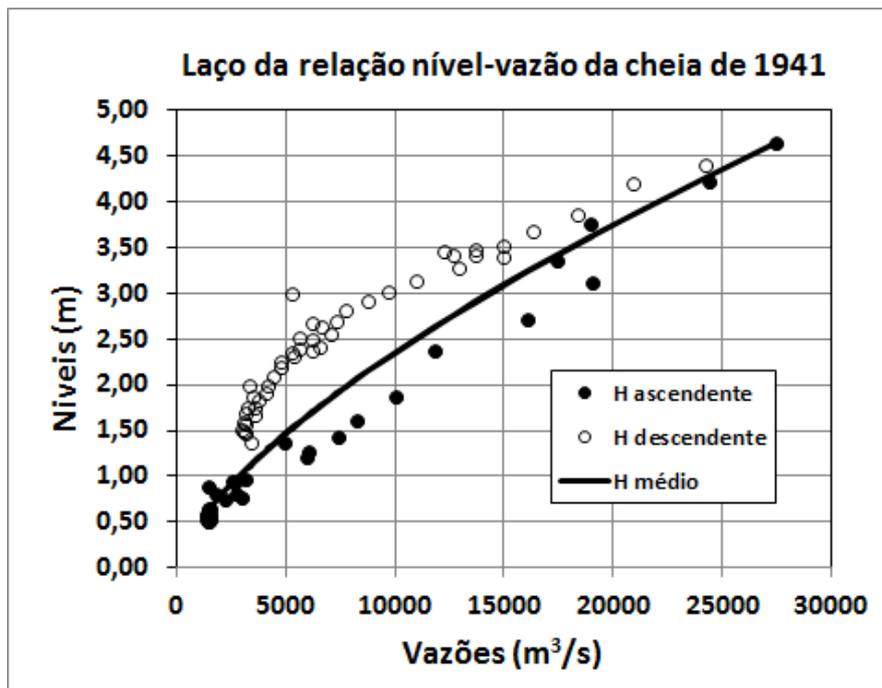
Reunindo-se todas as informações sobre cotas máximas anuais obtêm-se os valores da coluna “H(m)” da Tabela 2. Na coluna “Q(m³/s)” estão as estimativas de vazões máximas anuais. Estas foram obtidas por uma curva média do laço das vazões ascendentes e descendentes da cheia de 1941 (Equação 2).

$$Q_{\text{cais}} = 2,547(H_{\text{cais}} + 5,10)^{1,51} \quad (2)$$

Onde Q_{cais} é vazão em m³/s no cais do porto e H_{cais} a correspondente cota de nível d’água em cm.

A Figura 5 mostra esta curva média que foi obtida empiricamente por entre os pontos que configuram a laçada.

Figura 5 – Curva média nível-vazão da cheia de 1941 em Porto Alegre



Org.: o autor

O gráfico das vazões máximas da Tabela 2, ajustadas à distribuição de Gumbel, com posição de plotagem de Gringorten (LANNA, 1993), é mostrado na Figura 6, onde a reta de Gumbel de melhor ajuste (incluindo a cheia de 1941) também foi graficada.

Tabela 2 – Cotas e vazões máximas anuais do Guaíba

Ano	H (m)	Q (m ³ /s)	Ano	H (m)	Q (m ³ /s)	Ano	H (m)	Q (m ³ /s)
1899	2,60	11.625	1938	1,43	4.826	1977	2,13	8.658
1900	1,48	5.074	1939	1,60	5.686	1978	1,19	3.695
1901	0,98	2.793	1940	2,24	9.325	1979	1,66	6.001
1902	1,99	7.832	1941(2)	4,75	27.433	1980	1,58	5.583
1903	1,45	4.925	1942	2,33	9.884	1981	1,54	5.377
1904	1,51	5.225	1943	1,60	5.686	1982	1,97	7.717
1905	2,50	10.969	1944	1,90	7.317	1983	2,32	9.821
1906	1,53	5.326	1945	1,26	4.014	1984	2,56	11.361
1907	2,00	7.890	1946	1,55	5.428	1985	1,96	7.659
1908	1,69	6.161	1947	1,67	6.054	1986	1,73	6.376
1909	1,52	5.275	1948	1,68	6.107	1987	2,36	10.073
1910	1,34	4.390	1949	1,71	6.268	1988	1,98	7.774
1911	2,05	8.183	1950	1,91	7.373	1989	2,00	7.890
1912	2,13	8.658	1951	2,10	8.478	1990	2,22	9.203
1913	1,19	3.695	1952	2,06	8.241	1991	1,45	4.925
1914	2,60	11.625	1953	2,52	11.099	1992	1,94	7.544
1915	1,91	7.373	1954	2,91	13.737	1993	2,07	8.301
1916	1,78	6.648	1955	1,80	6.758	1994	1,86	7.091
1917	0,98	2.793	1956	2,32	9.821	1995	1,96	7.659
1918	1,49	5.124	1957	2,08	8.360	1996	1,62	5.791
1919	2,21	9.142	1958	2,00	7.890	1997	1,96	7.659
1920	1,60	5.686	1959	1,99	7.832	1998	1,97	7.717
1921	1,58	5.583	1960	1,77	6.593	1999	1,46	4.974
1922	1,68	6.107	1961	2,16	8.838	2000	1,86	7.091
1923	1,75	6.484	1962	1,25	3.968	2001	2,40	10.326
1924	1,61	5.738	1963	2,67	12.091	2002	2,46	10.710
1925	1,31	4.248	1964	1,73	6.376	2003	1,74	6.430
1926	2,60	11.625	1965	2,72	12.428	2004	1,56	5.480
1927	1,56	5.480	1966	2,61	11.691	2005	2,10	8.478
1928	3,20	15.819	1967	3,13	15.307	2006	1,38	4.582
1929	2,05	8.183	1968	1,18	3.650	2007	2,44	10.582
1930	2,35	10.010	1969	1,36	4.486	2008	1,82	6.868
1931	1,70	6.214	1970	1,71	6.268	2009	2,23	9.264
1932	1,84	6.980	1971	1,72	6.322	2010	1,62	5.791
1933	1,34	4.390	1972	2,21	9.142	2011	2,04	8.124
1934(1)	1,70	6.214	1973	1,93	7.487	2012	1,66	6.001
1935	1,64	5.896	1974	1,48	5.074	2013	2,24	9.325
1936	3,24	16.114	1975	1,64	5.896	2014	2,11	8.538
1937	2,51	11.034	1976	1,84	6.980	2015	2,94	13.948

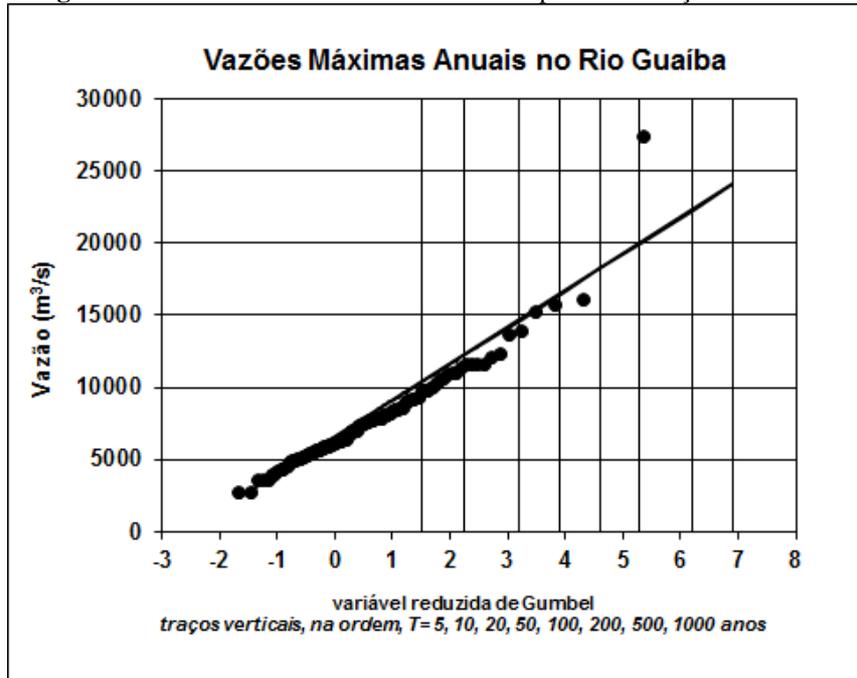
Org.: o autor

(1) Em 1934 não houve medição de cota mas por semelhança hidrológica com o ano de 1931 adotou-se a cota deste.

(2) Em 1941 manteve-se a cota 4,75 m de BRASIL (1968) para vazão máxima estimada de 27.433 m³/s.

A Figura 6 mostra o que já foi evidenciado em análises estatísticas com cotas: a magnitude da cheia de 1941 é um *outlier* na comparação com os demais elementos da série histórica.

Figura 6 – Vazões máximas anuais do Guaíba pela distribuição de Gumbel



Org.: o autor

CHUVAS DA ENCHENTE DE 1941

No livro de Guimaraens (2009) há uma tabela com as chuvas de várias cidades do Rio Grande do Sul entre 10 de abril e 14 de maio de 1941. Entretanto, para efeito do presente estudo, foram utilizados os dados de chuva originais disponíveis no banco de dados Hidroweb da Agência Nacional de Águas (http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes_historicas_abas.jsf). No cotejo com as datas do hidrograma da cheia de 1941, conseguiu-se estabelecer que as chuvas causadoras da cheia se concentraram em 24 dias, de 13 de abril a 6 de maio.

Desta forma, para abranger todo o estado do Rio Grande do Sul, levantou-se para o período acima de 24 dias os valores precipitados de 40 localidades sendo algumas em Santa Catarina/SC para melhor mapeamento.

Os totais precipitados assim obtidos estão compilados na Tabela 3.

Tabela 3 – Chuvas da cheia de 1941 (13/04 a 06/05/1941)

Estação Pluviométrica	P (mm)	Estação Pluviométrica	P (mm)
Alegrete/RS	513	Salto/RS	421
Bagé/RS	388	Santa Cruz do Sul/RS	683
Bento Gonçalves/RS	423	Santa Maria/RS	829
Caçapava do Sul/RS	464	Santa Vitória do Palmar/RS	325
Cachoeira do Sul/RS	564	Santiago/RS	571
Caxias do Sul/RS	534	Santo Ângelo/RS	624
Cruz Alta/RS	857	São Francisco de Paula/RS	522
Curitibanos/SC	154	São Gabriel/RS	452
Dom Pedrito/RS	413	São Luiz Gonzaga/RS	592
Encruzilhada do Sul/RS	658	Sapiranga/RS	435
Guaporé/RS	682	Soledade/RS	870
Jaguarão/RS	393	Tapes/RS	373
Júlio de Castilhos/RS	664	Taquara/RS	324
Lajeado/RS	557	Taquari/RS	609
Lagoa Vermelha/RS	309	Torres/RS	229
Palmeira das Missões/RS	488	Uruguaiana/RS	276
Passo Fundo/RS	416	Vacaria/RS	232
Piratini/RS	318	Viamão/RS	346
Porto Alegre/RS	602	Videira/SC	139
Rio Grande/RS	372	Xanxerê/SC	383

Org.: o autor

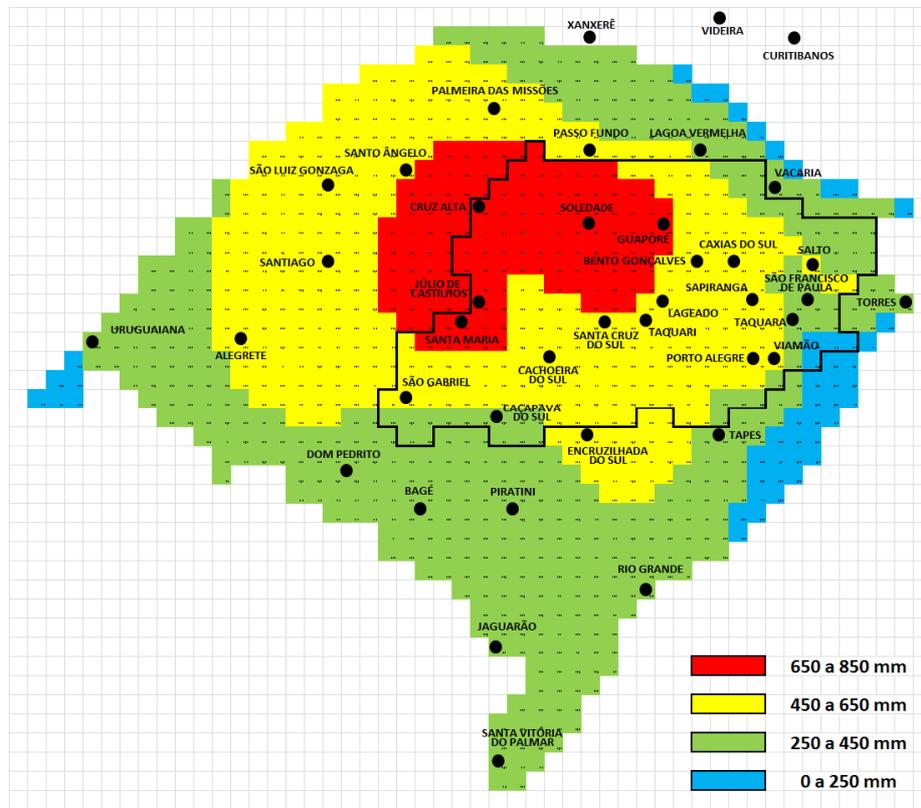
Para realizar o mapeamento espacial, foi aplicada a metodologia “*spline*” para interpolar os totais precipitados em todo o Rio Grande do Sul, tendo sido utilizado um programa na linguagem Basic elaborado pelo autor (SILVEIRA, 1993). Considerou-se uma aproximação da superfície do estado com quadrículas arbitrariamente fixadas com lado aproximado de 17 km, visando uma razoável representação de seu contorno.

O resultado qualitativo por faixas de precipitação pode ser visualizado na Figura 7.

No recorte da bacia do Guaíba a precipitação total média decorrente da espacialização foi de 588 mm. Na bacia do Alto Jacuí, em noroeste da bacia do Guaíba, a média alcançou cerca de 778 mm, havendo um gradiente de diminuição para leste e sul da bacia.

O aspecto do campo das precipitações mostrado na Figura 7 evoca a possibilidade de que complexos convectivos de mesoescala (CCMs) estiveram na origem da enchente de 1941. Em estudo voltado para a América do Sul, Durkee e Mote (2010), afirmam que a posição média do jato subtropical, relativa a áreas de calor e umidade em baixa altitude, ligadas aos jatos de nível baixo (JNB), explica a dominância de CCMs entre as latitudes 20°S e 30°S. Correa, Clarke e Silveira (2007) estabeleceram uma relação causal entre JNB e precipitações, em estudo realizado para Porto Alegre. Moraes e Aquino (2018) analisam o CCM de 2011, que atingiu fortemente o Rio Grande do Sul, no contexto do histórico desses fenômenos na região sul do Brasil.

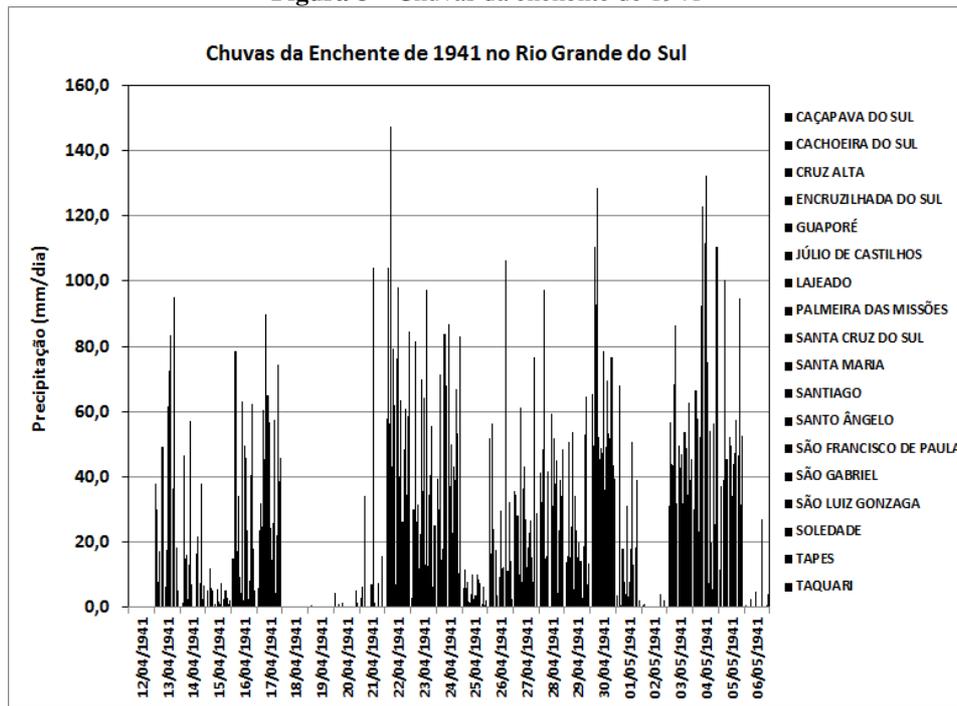
Figura 7 – Cartograma esquemático das chuvas da enchente de 1941 no Rio Grande do Sul em quadrículas de aproximadamente 17 km de lado, onde os pontos pretos são as estações pluviométricas e o contorno interno é o da bacia do Guaíba



Org.: o autor

A evolução temporal diária das precipitações é mostrada na Figura 8 (valores da Tabela 4).

Figura 8 – Chuvas da enchente de 1941



Org.: o autor

Na Figura 8 pode-se identificar cerca de quatro *bursts* pluviosos causadores da cheia de 1941, o primeiro do dia 13 ao 17/04 (5 dias) com total aproximado de 114 mm, o segundo de 21 a 24/04 (4 dias) com 156 mm, o terceiro de 26/04 a 1º/05 (6 dias) com 191 mm e o quarto e último de 03 a 05/05 (3 dias) com 145 mm. A soma dá 606 mm, mas totaliza 614 mm com as chuvas fracas dos interstícios (note-se que são valores das 18 estações da Tabela 4, e não o valor da chuva espacializada “spline” com as 40 estações da Tabela 3 que totaliza 588 mm, conforme mencionado anteriormente). Cotejando-se esses 588 mm com os 614 mm citados mais acima, pode-se dizer que, a grosso modo, a chuva da cheia de 1941 foi da ordem de 600 mm (em 24 dias).

Tabela 4 – Precipitações diárias da cheia de 1941 no RGS (mm)

Dia	CP	CH	CA	ES	GU	JC	LJ	PM	SC	SM	ST	SA	SF	SG	SL	SO	TP	TQ
12/04	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13/04	38,0	30,0	8,0	17,2	0,0	49,1	0,0	6,4	17,5	61,8	72,6	83,5	0,0	36,5	95,2	0,0	18,5	5,3
14/04	0,0	1,4	46,6	15,1	16,2	2,5	13,1	57,0	6,9	0,0	0,0	16,3	21,8	0,0	7,5	38,0	2,5	6,8
15/04	5,0	0,0	12,0	6,1	5,2	0,0	1,0	0,0	5,5	1,7	1,0	7,3	0,0	2,5	5,0	3,0	1,2	2,0
16/04	15,1	15,1	78,6	17,4	34,0	9,3	4,5	63,0	2,3	49,7	46,0	23,8	2,6	8,2	40,5	62,4	18,0	5,0
17/04	6,0	23,5	32,0	24,7	60,6	45,3	90,0	65,0	56,9	24,3	14,5	25,8	57,6	4,3	22,0	74,6	38,5	46,0
18/04	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19/04	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20/04	4,5	0,0	0,0	1,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,3	1,5
21/05	3,0	6,2	0,0	34,3	0,0	0,0	0,0	0,0	7,2	104	1,5	0,0	0,0	7,4	0,0	0,0	15,7	0,0
22/04	58,0	104	56,4	147	43,0	79,4	62,0	7,0	76,4	98,0	40,0	63,5	26,3	48,4	61,0	34,5	58,5	84,5
23/04	3,0	30,0	81,6	26,3	31,7	12,0	22,4	70,0	35,7	64,4	13,0	97,3	12,9	34,4	40,5	55,5	6,5	25,0
24/04	39,3	30,2	71,4	14,6	18,0	84,0	68,0	0,0	86,8	37,2	50,0	22,8	43,1	39,0	66,9	53,4	10,5	83,0
25/04	6,0	11,6	6,0	7,7	1,8	1,5	4,1	10,0	2,6	3,5	10,0	8,7	7,5	0,0	1,2	6,5	0,5	2,0
26/04	52,0	16,4	56,4	24,1	0,0	17,6	3,7	0,0	9,3	29,8	12,0	12,2	0,0	106	11,2	32,4	14,2	2,5
27/04	35,5	34,5	28,2	10,0	61,2	7,8	36,6	43,0	26,9	12,4	18,5	23,0	26,5	15,2	7,7	76,5	0,4	29,0
28/04	41,4	32,4	48,6	97,5	15,1	15,6	41,8	0,0	59,4	31,1	52,0	38,0	45,1	4,5	23,5	39,2	34,0	48,5
29/04	13,8	15,9	50,6	15,3	24,8	53,8	5,4	34,0	23,6	15,4	20,0	14,3	3,0	18,7	52,8	64,6	7,0	13,5
30/04	65,5	49,7	111	92,7	128	52,2	45,4	49,0	47,3	78,5	36,0	49,3	69,7	53,4	52,0	76,8	43,6	39,5
01/05	3,8	0,4	68,0	0,6	18,0	8,0	3,9	31,0	3,4	7,9	18,0	50,7	13,1	0,0	18,5	39,0	0,0	2,0
02/05	0,8	1,2	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	0,0	0,0	2,0	0,0
03/05	31,0	56,8	43,8	43,4	68,5	86,4	32,0	0,0	49,4	42,9	47,0	32,0	53,8	49,0	34,5	62,8	39,0	45,5
04/05	30,0	66,5	58,0	23,2	52,4	92,3	123	0,0	112	132	75,0	7,5	54,0	19,7	5,5	56,2	25,5	111
05/05	11,5	37,0	0,0	39,1	100	45,3	0,0	52,4	49,5	34,0	44,0	47,5	57,5	0,0	46,5	94,6	31,5	52,5
06/05	0,7	0,1	0,0	0,0	2,7	0,0	0,0	0,0	4,8	0,0	0,0	0,0	27,0	0,0	0,0	0,0	0,5	4,0
Total	464	564	857	658	682	664	557	488	683	823	571	623	522	452	592	870	373	609

Org.: o autor

CP = Caçapava do Sul, CH = Cachoeira do Sul, CA = Cruz Alta
 ES = Encruzilhada do Sul, GU = Guaporé, JC = Júlio de Castilhos
 LJ = Lajeado, PM = Palmeira das Missões, SC = Santa Cruz do Sul
 SM = Santa Maria, ST = Santiago, SA = Santo Ângelo
 SF = São Francisco de Paula, SG = São Gabriel
 SL = São Luiz Gonzaga, SO = Soledade, TP = Tapes, TQ = Taquari

As perturbações no ramo ascendente do hidrograma da cheia de 1941 (Figura 4) refletem o efeito desses *bursts* pluviosos. O primeiro *burst* encontra a bacia do Guaíba com um estado de umidade baixa e a vazão eleva-se de 1.389 para 2.968 m³/s, ou seja, apenas cerca 14 m³/s por milímetro de chuva. O segundo *burst* aumenta a vazão de 2.525 para 6.080 m³/s, com índice de incremento da vazão de cerca de 23 m³/s por milímetro de chuva. No terceiro e quarto *bursts* as elevações de vazão foram, respectivamente, de 13.023 m³/s (19.002-5.979) e de 10.040 m³/s (27.433-17.393), gerando fatores de elevação similares de, respectivamente 68 e 69 m³/s por milímetro de chuva.

Isto indica que a bacia atingiu um estado de saturação crítico após os dois primeiros episódios que somaram cerca de 270 mm em 13 dias. Pois sobre este estado crítico choveu mais

forte ainda com aproximadamente 336 mm em 10 dias, gerando o pico da cheia de 1941. Estes episódios de chuvas intensivas sucessivas são compatíveis com CCMs.

A CHEIA DE 1941 E AS ENVOLTÓRIAS DE VAZÕES EXTREMAS MUNDIAIS

Considerando a área da bacia hidrográfica como variável explicativa, há diversas equações na bibliografia científica que retornam com a vazão extrema que poderia ocorrer com base em dados de bacias reais. Na Tabela 5 apresentam-se equações envelope muito citadas e, na última coluna, o valor da vazão extrema para o Guaíba com base na área da bacia contribuinte de 82.500 km².

Tabela 5 – Vazões extremas para o Guaíba por curvas envelope mundiais (vazões em m³/s e áreas em km²)

Fonte	Equação	Abrangência	Q Guaíba (m ³ /s)
(HERSCHY, 2002)	$Q = 500A^{0,43}$	Mundial	65.018
(HERSCHY, 2002)	$Q = 850A^{0,36}$	China e EUA	50.043
(FRANCOU; RODIER; 1967)	$Q = 10^6(A/10^8)^{1-0,1K}$	Argentina, Uruguai e EUA (K=5)	28.723
(CREAGER; JUSTIN; HINDS, 1945)	$Q = 1,303C(A/2,59)^{0,936A^{0,048}}$	C = 60 a C = 100	21.930 a 36.551

Org.: o autor

As equações apresentadas dão seus indicativos de abrangência. Pelos resultados obtidos para a vazão envelope extrema no Guaíba, curiosamente aquela que menciona países com fronteira com o Rio Grande do Sul (Argentina e Uruguai), a equação de Francou-Rodier (FRANCOU; RODIER; 1967), forneceu valor similar ao obtido neste estudo. Em contraponto as duas equações de Herchy (HERSHY, 2002) apresentam valores bem superiores, mas isto pode ter uma explicação pela consideração de eventos chuvosos decorrentes de furacões. A equação de Creager (CREAGER; JUSTIN; HINDS; 1945) é parametrizada pelo seu coeficiente C mas não há um guia seguro para sua definição. A vazão do Guaíba estaria na faixa de 21.930 a 36.551 m³/s na correspondência com C variando de 60 a 100. O valor de 27.433 m³/s definido no presente estudo tem C = 75 pela equação de Creager *et al.* (1945).

Lima *et al.* (2017) fizeram um estudo preliminar de vazões de cheias extremas de 131 bacias

no Brasil com áreas entre 300 e 989.000 km². Os autores testaram curvas envoltórias de Creager com valores de C iguais a 5, 30, 60 e 100. Embora os valores numéricos das vazões e áreas de bacia não estejam disponíveis no artigo, uma figura mostra que a grande maioria dos casos está com coeficiente C abaixo de 60, com nenhuma bacia apresentando coeficiente acima deste valor na faixa de 60.000 a 100.000 km². Por outro lado, os dados usados por Lima *et al.* (2017) têm uma estrita envoltória C = 100 que deixa de fora apenas uma das 131 bacias analisadas. Algo similar Lima *et al.* (2017) afirmam que acontece nos Estados Unidos onde a envoltória C = 100 praticamente abrange também todas as vazões máximas observadas de todas as bacias.

CONCLUSÃO

Este artigo apresentou uma estimativa inédita das vazões da grande cheia de 1941 no lago Guaíba em Porto Alegre. As precipitações que deram origem a esta grande cheia foram caracterizadas espacial e temporalmente. A altura média da chuva sobre a bacia do Guaíba foi de 588 mm, distribuídas em quatro *bursts* pluviosos dentro de um período de 24 dias. O pico da cheia em 08 de maio de 1941 atingiu, na estimativa feita, o valor de 27.433 m³/s. A onda de cheia teve um tempo de base de dois meses, havendo relatos de áreas inundadas em diversos pontos de Porto Alegre por 40 dias.

O valor de 27.433 m³/s corresponde aproximadamente ao valor predito como vazão extrema pela curva envelope de Francou e Rodier (1967) para países fronteiriços ao Rio Grande do Sul. Pelas outras conhecidas curvas envelope, observou-se que as de Herschy (2002), provavelmente por incluírem países com furacões, apresentam limites bem superiores para a vazão extrema do Guaíba. Pela clássica expressão de Creager *et al.* (1945) a envoltória que explica a vazão obtida neste estudo é com C = 75.

Estes resultados indicam realmente que a cheia de 1941, considerando seu pico, é extrema e bastante rara. Entretanto, se for considerada uma precaução indicada pelo estudo de Lima *et al.* (2017) que aponta para o coeficiente limite C = 100 na equação de Creager para o Brasil, não seria completamente improvável acontecer uma cheia atingindo cerca de 37.000 m³/s. Talvez não seja uma coincidência o estudo da ponte do Guaíba (Ponte Getúlio Vargas) ter considerado a vazão de 38.000 m³/s, já que o método de Creager é de 1945.

REFERÊNCIAS

ALVES, A. A construção do porto de Porto Alegre 1895-1930, modernidade urbanística como

suporte de um projeto de estado. 2005. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional). Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

BECKER, E. L. S. **Solo do Rio Grande do Sul e sua relação com o clima**. 2008. Tese (Doutorado em Agronomia). Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

BRASIL. Departamento Nacional de Obras de Saneamento. 15. DNOS. **Estudo de viabilidade técnico-econômica das obras de defesa de Porto Alegre, Canoas e São Leopoldo contra inundações**. Porto Alegre: DNOS, 1968. 10 v.em 9. : il.; 29cm.

CORREA, C. S., CLARKE, R. T., SILVEIRA, A. L. L., Estudo da ocorrência de fluxos no perfil vertical do vento na baixa atmosfera com análise das componentes principais (ACP) e a sua relação com a precipitação no Rio Grande do Sul, **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.22, n.1, 121-127, 2007.

CREAGER, W. P.; JUSTIN, J. D.; HINDS, J. **Engineering for dams**. New York: Chapman and Hall, 1945. v. 1.

DURKEE, J. D., MOTE, T. L., A climatology of warm-season mesoscale convective complexes in subtropical South America, **International Journal of Climatology**. 30: 418–431, 2010, DOI: 10.1002/joc.1893

FEPAM, FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER, Qualidade Ambiental, Região Geográfica do Guaíba. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/guaiba.asp>. Acesso em 29 jan. 2020.

FRANCO, S. C., 1988, **Porto Alegre, Guia Histórico**. Porto Alegre: Ed. da Universidade, 2ª ed., 441 p.

FRANCOU, J; RODIER, J.A.: Essai de classification des crues maximales. **Proceedings of the Leningrad Symposium on floods and their computation**, UNESCO, 1967.

GUIMARAENS, R. **A Enchente de 41**, Porto Alegre: Libretos, 2009. 100 p.

HERSCHY, R. W. The world's maximum observed floods. **Flow Measurement and Instrumentation**, 13 (2002) 231–235, Elsevier.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa de vegetação do Brasil**. Rio de Janeiro, s.d. Escala 1:5.000.000., color. 2004. IBGE. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/vegetacao>. Acesso em 29 jan. 2020.

LANNA, A. E. L., Elementos de Hidrologia Estatística, cap. 4, , In : TUCCI, C. E. M. (Org.), **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: Ed. da Universidade, 1993, pp 79-176.

LIMA, G., MARCELLINI, S. S., NEILL, C. R., SALLA, M. R., Preliminary estimate of floods discharges in Brazil using Creager envelope curves, **RBRH**, Porto Alegre, v. 22, e46, 2017

MORAES, F. D. S., AQUINO, F. E., Desastres no Rio Grande do Sul associados a Complexos Convectivos de Mesoescala: estudo de caso do evento que ocorreu entre 22 e 23 de abril de 2011, **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 7, n. esp., p. 111-134, jun. 2018, DOI: 10.19177/rgsa.v7e02018111-134

NEYRPIC. Laboratoire Dauphinois D'Hydraulique, **Rio Jacui**: étude sur modèle réduit du franchissement du delta, affouillements aux pieds des piles, creusements des lits consecutifs a un abaissement du niveau des crues. Grenoble: Neyrpic, 1955. 19 f. ; 30cm.

OLIVEIRA, C. A. A. A designação do Guaíba – conceituação em Geografia Física. **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**, n. 19, 1976, pp 65-89.

SEPLAG/RS. SECRETARIA DE PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO/RS. **Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul**. Disponível em: <https://atlassocioeconomico.rs.gov.br>. Acesso em 29 jan. 2020.

SILVEIRA, A. L. L. **Étude des relations intensité-durée-fréquence, distribution spatiale et coefficients d'abattement des précipitations du bassin du Diluvio à Porto Alegre - Brésil**. 1993. 142 p. : il.; gráfs.; tabs. DEA Hydrologie, Université de Montpellier II.

SILVEIRA, A. L. L. , TUCCI, C. E M., Simulação do escoamento bidimensional no Guaíba. **Rbe : Revista Brasileira de Engenharia, Caderno de Recursos Hídricos**. Rio de Janeiro. Vol. 6, n. 1, 1988, p. 79-104: il.

SPH instala equipamento que mede nível das águas em tempo real junto ao Cais Mauá. **Portal do Estado do Rio Grande do Sul**. Publicado em 29/12/2012 às 15h29min. Disponível em : <https://estado.rs.gov.br/sph-instala-equipamento-que-mede-nivel-das-aguas-em-tempo-real-junto-ao-cais-maua>. Acesso em: 08 jul. 2020.

VALENTI, E. S., **Modelo cartográfico digital temático para simulação e previsão de inundações no município de Porto Alegre - RS**. 2010. 140 f.: il. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

VALENTI, E. S., ROLIM, S. B. A., ROCHA, R.S., Modelo cartográfico digital temático para simulação e previsão das inundações no município de Porto Alegre-RS, **Revista Brasileira de Cartografia**, No. 64/3: 331-345, 2012.

WREGE, M. S., STEINMETZ, S., REISSER JUNIOR, C., ALMEIDA, I. R., **Atlas climático da região Sul do Brasil**: estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Brasília: Embrapa Clima temperado, 2012.