

XXIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

USO DE DADOS NÃO SISTEMÁTICOS PARA CALIBRAÇÃO HIDRODINÂMICA DO MODELO MGB: ESTUDO DE CASO DA REGIÃO DO VALE DO RIO TAQUARI (RS) PARA A INUNDAÇÃO DE JULHO DE 2020

Bruna Baggio Giordani¹ ; Fernando Mainardi Fan² & Maria Eduarda Pereira Alves³

RESUMO – Este trabalho teve como objetivo principal utilizar dados não sistemáticos para calibrar o módulo hidrodinâmico do modelo MGB, tendo como estudo de caso a região do Vale do Taquari e a inundação ocorrida em julho de 2020. A primeira etapa do estudo consistiu em selecionar vídeos e imagens disponíveis em redes sociais e plataformas de compartilhamento de vídeos de inundações ocorridas na região. Em seguida, foi calibrado o coeficiente de Manning do modelo e comparadas as manchas de inundação simuladas com os pontos demarcados através da observação das imagens e vídeos selecionados (dados não sistemáticos), avaliando o erro horizontal associado. Posteriormente, foi realizada a validação do modelo com base nos hidrogramas das estações fluviométricas da região (dados sistemáticos), verificando se a calibração foi eficaz. A partir dos resultados obtidos constatou-se que, apesar de terem sido identificadas algumas limitações associadas a metodologia aplicada, a utilização dos dados não sistemáticos confere um valor adicional para a preparação do modelo, pois inclui uma nova dimensão à avaliação, a área inundada, esta que provavelmente não seria avaliada, na etapa de calibração, sem os dados provenientes da ciência cidadã.

Palavras-Chave – Inundações; MGB; dados não sistemáticos.

ABSTRACT – This work had as main objective to use non-systematic data to calibrate the hydrological MGB model, taking as a case study the region of Vale do Taquari and the flood that happened in July 2020. The first stage of the study consisted in select videos and images available on social networks and video sharing platforms. Then, the model's Manning coefficient was calibrated and comparing the flood mapping simulated with the demarcated points through the observation of selected images and videos (non-systematic data), evaluating the associated horizontal error. Subsequently, the validation of the model was based on the hydrographs of the river stations in the region (systematic data), verifying whether the calibration was effective. From the results obtained, it was found that, although some limitations associated with the applied methodology have been identified, the use of non-systematic data provides an additional value for the preparation of the model because it includes a new dimension to the assessment, the flooded area, that probably would not be evaluated, in the calibration stage, without data from citizen science.

Key words: Inundations; MGB; non-systematic data

INTRODUÇÃO

As inundações, de acordo com a Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE, [s. d.]), são desastres naturais hidrológicos causados pelo extravasamento da calha principal de um curso d'água. Dentre os diferentes tipos de desastres naturais ocorridos ao redor do

1) Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH-UFRGS), brunagiordani2@gmail.com.

2) Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH-UFRGS), fernando.fan@ufrgs.br.

3) Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH-UFRGS), duda.epa@gmail.com.

mundo, elas são um dos eventos que causam os maiores danos socioeconômicos (CRED, 2019). Desta forma, um gerenciamento adequado pode ser útil para minimizar os impactos causados pelas mesmas, sendo que as soluções disponíveis consistem na implementação de medidas estruturais ou não-estruturais. Normalmente, medidas não-estruturais são financeiramente mais viáveis, e possuem foco na prevenção para evitar que as enchentes afetem a população (TUCCI, 2001).

Destaca-se, entretanto, que para a adoção destas medidas preventivas, todas as informações hidrológicas envolvidas no processo de identificação e monitoramento dos locais atingidos por inundações são de suma importância. Segundo Vanelli *et al.* (2020), as informações hidrológicas no contexto de inundações podem ser provenientes de dados sistemáticos ou dados não sistemáticos. Os dados sistemáticos são dados quantitativos, mensurados continuamente ao longo do tempo e com intervalo temporal pré-definido em um determinado local, sendo o monitoramento fluviométrico um exemplo. Já os dados não sistemáticos, de acordo com os mesmos autores, são provenientes de uma grande variedade de outras fontes de dados que se caracterizam, principalmente, por registros cuja posição e intervalo temporal são variáveis, podendo ser citados como exemplo relatos de moradores sobre áreas afetadas por determinada inundação, marca de cheia em uma construção e leitura pontual do nível do rio.

Apesar de serem diversas as fontes de dados existentes, a coleta dos mesmos durante um evento de inundação é dificultada por inúmeros motivos, como: ausência de equipamentos e/ou equipe para levantamento de dados *in-situ*; possíveis falhas, falta de consistência, ou não existência, de rede de monitoramento fluviométrico; baixa resolução espacial e cobertura temporal de imagens de sensoriamento remoto; dentre outros. Por consequência, modelos de mapeamento e previsão de inundação carecem de dados para a calibração de condições extremas, o que dificulta que os resultados sejam validados adequadamente.

Neste sentido, o estudo de formas alternativas para a obtenção de informações hidrológicas durante a ocorrência de inundações vem se mostrando necessário. A ciência cidadã, também denominada de informação geográfica voluntária e mapeamento colaborativo (HAKLAY, 2013), é uma destas alternativas, que, aliada ao avanço tecnológico dos *smartphones* e ao crescente número de usuários hospedados em plataformas online de compartilhamento de vídeos e em redes sociais, permite a obtenção de dados não sistemáticos de forma praticamente simultânea à ocorrência de um evento de inundação. Visto que são registrados na escala em que o impacto ocorre, de acordo com See (2019), os dados fornecidos pelos cidadãos melhoram a disponibilidade espacial e temporal de informações para resposta e gerenciamento de desastres. Assim, apesar dos desafios ainda enfrentados (MAZZOLENI *et al.*, 2017; ASSUMPCÃO *et al.*, 2018) é possível utilizar-se destes dados para, por exemplo, calibrar um modelo para condições extremas (ROLLASON *et al.*, 2018).

Portanto, tendo em vista as dificuldades de falta de dados constantemente enfrentadas no processo de calibração de modelos hidrológicos-hidrodinâmicos em grandes bacias hidrográficas, esta pesquisa tem como principal objetivo avaliar a utilização de dados não sistemáticos de imagens e vídeos, coletados e publicados *online* por cidadãos via *smartphone*, para calibração hidrodinâmica do Modelo de Grandes Bacias (MGB).

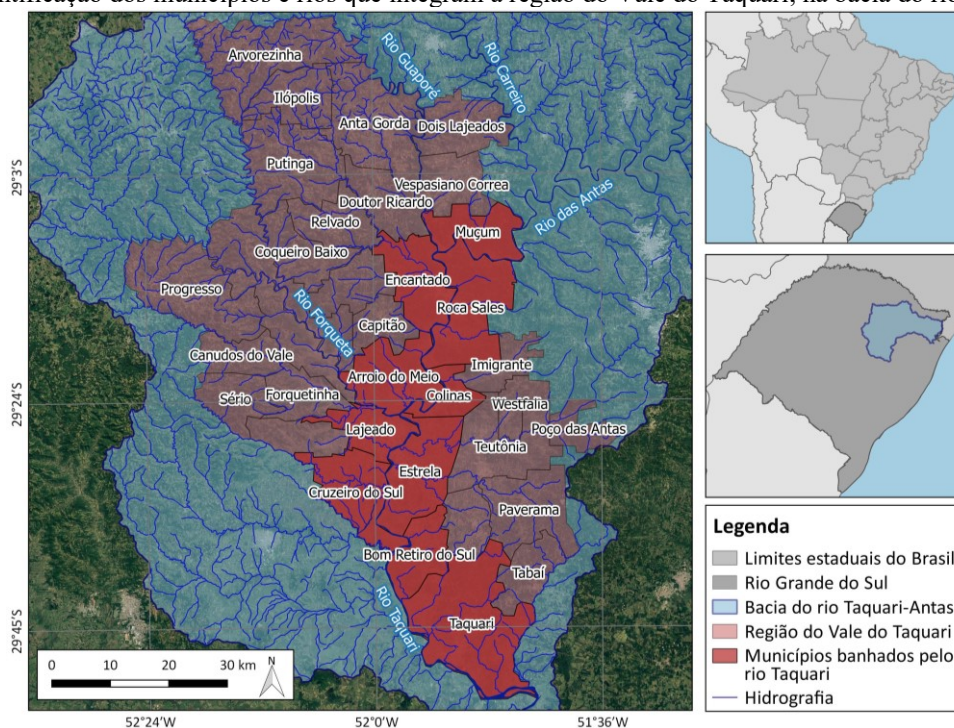
METODOLOGIA

Estudo de Caso

A bacia hidrográfica do Taquari-Antas, que fica localizada a nordeste do estado do Rio Grande do Sul, Brasil, é caracterizada por apresentar escoamentos superficiais rápidos e bruscas variações de vazão, cuja ocorrência é atribuída a fatores como rede de drenagem densa com tendência radial, declividade média elevada, pouca profundidade e baixa permeabilidade dos solos (Siqueira *et al.*, 2015). Estas características promovem a ocorrência de inundações em diversos locais da bacia, mas

as de grandes proporções ocorrem na região do Vale do Taquari, que tem sua localização apresentada na Figura 1, com destaque para os municípios que são banhados pelo rio Taquari.

Figura 1 - Identificação dos municípios e rios que integram a região do Vale do Taquari, na bacia do rio Taquari-Antas.



Um dos eventos mais críticos de inundação já registrados na região é o de julho de 2020, que foi ocasionado por episódios de chuvas intensas ocorridos no estado, resultando em cotas históricas no rio Taquari, sendo algumas delas as maiores já monitoradas na região (SEMA, 2020). De acordo com dados da Defesa Civil, esta inundação afetou cerca de 64 mil pessoas e causou prejuízos econômicos de mais de 194 milhões de reais para os municípios do Vale do Taquari. Assim, tendo em vista a problemática das inundações na região e a magnitude do evento de inundação de julho de 2020, a região e o evento foram escolhidos como estudo de caso para este trabalho.

Seleção e processamento dos dados não sistemáticos

A seleção dos dados não sistemáticos, que neste trabalho consistem em vídeos e imagens publicados *online*, foi realizada através da busca na rede social Facebook e na plataforma online de compartilhamento de vídeos Youtube. Utilizando a ferramenta de busca destes sites foram pesquisadas palavras chaves ou frases que remetessem ao evento de inundação ocorrido, como por exemplo: enchente/cheia/inundação no Vale do Taquari; enchente/cheia/inundação, sucedida pelo nome de algum município de interesse; enchente/cheia/inundação no rio Taquari; enchente/cheia/inundação de julho de 2020 no vale do taquari. No Facebook também foram selecionados vídeos e imagens diretamente no perfil das prefeituras dos municípios de interesse buscando por “Prefeitura de + *nome do município*”. Em seguida as postagens das páginas foram avaliadas buscando por aquelas relacionadas ao evento de inundação de julho de 2020.

Foram priorizadas as filmagens e imagens obtidas de plataformas aéreas, como por exemplo helicópteros, drones, VANTs ou outros, que possibilitassem identificar o contorno da inundação, ou seja, o limite entre a área inundada e não inundada, e não apenas a mancha isoladamente. Além disso, no caso dos vídeos, foram priorizados para a seleção aqueles que acompanhassem a inundação de forma dinâmica sobre a área de interesse. Estes critérios também foram utilizados no estudo de Argoud (2019) e facilitam a identificação da extensão da área inundada. Ainda, foram descartados os vídeos e imagens em que não foi possível identificar a data na qual foram capturados. Após realizada

a seleção dos vídeos e imagens, os mesmos foram analisados visualmente a fim de demarcar pontos da extensão da mancha, utilizando o software *Google Earth Pro*.

Aplicação do modelo MGB

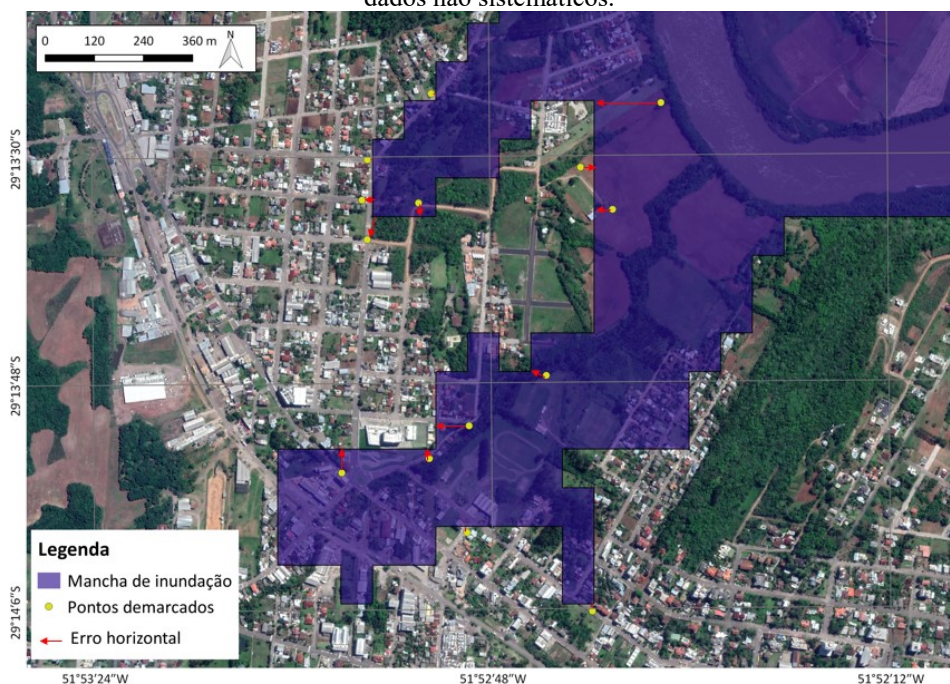
O Modelo de Grandes Bacias (MGB) é um modelo hidrológico e hidrodinâmico que representa o processo de transformação de chuva em vazão de forma distribuída na bacia hidrográfica (PONTES *et al.*, 2017). Neste trabalho, foi aplicado o MGB do Rio Grande do Sul Hidrológico (RSH) que foi desenvolvido por Alves *et al.* (2020).

Na presente aplicação foi ajustado o coeficiente de rugosidade de Manning do modelo, o qual influencia na propagação das vazões na rede de drenagem e pode ser determinado com base nas características do leito e das margens dos rios, individualmente para cada minibacia, ou como um valor fixo para toda a bacia. O modelo MGB do RSH adotou em suas aplicações prévias um valor fixo de coeficiente de Manning, sendo este igual a 0,030. Neste trabalho buscou-se verificar a influência da variação do coeficiente de Manning, testando valores entre 0,020 e 0,070, em resultados como a extensão das manchas de inundação (na etapa de calibração do modelo) e nos hidrogramas gerados nas minibacias (na etapa de validação do modelo).

Calibração

A calibração nada mais é do que uma comparação dos resultados simulados com dados observados, onde se busca semelhança entre ambos. Geralmente nos processos de calibração os resultados do modelo são comparados com dados de estações fluviométricas. Contudo, neste estudo, buscou-se calibrar os dados simulados pelo MGB para o evento de inundação de julho de 2020 através dos dados não sistemáticos que foram obtidos de vídeos e imagens do respectivo evento. Assim, simulou-se o período de 01 de janeiro de 2020 a 01 de setembro de 2020. Como métrica de calibração, buscou-se analisar o erro horizontal entre a mancha de inundação simulada pelo MGB e os pontos demarcados. Em cada ponto de controle foi analisado o erro horizontal entre a área de inundação mapeada e a observada nos eventos do dia 08, 09 e 12 de julho de 2020. A Figura 2 apresenta a exemplificação do procedimento realizado.

Figura 2 - Exemplo da demarcação do erro horizontal, entre as manchas simuladas e os pontos demarcados através dos dados não sistemáticos.



O erro horizontal de cada ponto foi obtido através de ferramentas de geoprocessamento que calculam a menor distância entre o ponto de controle e a mancha de inundação. Calculou-se a média do erro horizontal absoluto em cada um dos dias do evento, sendo que, em cada ponto, quando o erro fosse menor ou igual a 90 metros, que é o tamanho do pixel do MDE utilizado no MGB, o erro foi considerado igual a zero. Ainda, foi calculada a média dos erros horizontais dos 3 dias analisados.

Validação

O período utilizado para validação do modelo foi de 01 de setembro de 1999 à 01 de setembro de 2020, sendo o primeiro ano considerado para aquecimento do modelo e os demais para o cálculo das métricas de validação, totalizando assim um período de 20 anos analisados. Para validar o desempenho da simulação, além de comparar visualmente os hidrogramas simulados e observados nas estações fluviométricas, as quais estão apresentadas na Tabela 1, também foi analisado o coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe das vazões calculadas e observadas (E_{NS}). Este coeficiente é fortemente influenciado por erros nas vazões máximas, razão pela qual, quando E_{NS} é próximo de 1, o modelo está obtendo bom ajuste para as cheias.

Tabela 1 - Descrição das estações fluviométricas selecionadas para validação.

Código	Nome da Estação	Lat.	Long.	Município	Rio	Área de Drenagem (Km ²)	Disponibilidade de dados (%) ¹
86580000	Santa Lúcia	-29,12	-51,91	Doutor Ricardo	Rio Guaporé	2.470	99,5
86510000	Muçum	-29,18	-51,87	Muçum	Rio Taquari	16.000	97,2
86720000	Encantado	-29,23	-51,86	Encantado	Rio Taquari	19.100	82,0
86895000	Porto Mariante	-29,69	-51,97	Venâncio Aires	Rio Taquari	24.600	60,7

¹ Disponibilidade considerando o período de validação do modelo (2000 a 2020).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

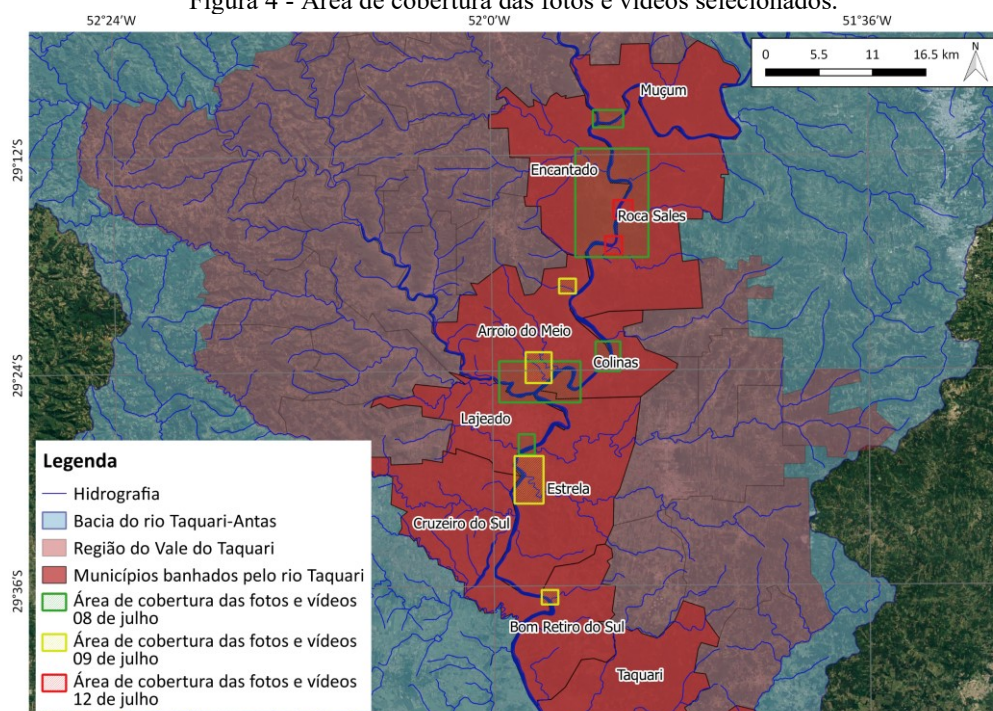
Dados não sistemáticos selecionados

Seguindo os critérios estabelecidos na metodologia, foram selecionados no total 12 vídeos, distribuídos entre os municípios de Muçum, Encantado, Roca Sales, Arroio do Meio, Colinas, Lajeado e Bom Retiro do Sul, além de imagens, divididas entre os municípios de Encantado e Estrela. As datas dos vídeos e imagens selecionados variam, sendo a maioria do dia 08 de julho de 2020, mas também existem registros do dia 09 de julho de 2020 e 12 de julho de 2020. A Figura 3 apresenta exemplos das imagens aéreas selecionadas e a Figura 4 apresenta a área de cobertura das fotos e vídeos. Quanto à demarcação de pontos representando a extensão da mancha de inundação a partir das imagens e vídeos selecionados, se obteve um total de 406 pontos demarcados, sendo 298 deles para o dia 08 de julho, 75 para o dia 09 julho e 33 pontos para o dia 12 julho.

Figura 3 - Imagens aéreas extraídas do vídeo de sobrevoo da extensão da inundação no município de Muçum, no dia 08 de julho de 2020 (Fonte: JC2 Vídeo Produtora, 2020).



Figura 4 - Área de cobertura das fotos e vídeos selecionados.



Calibração do modelo

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos para cada um dos eventos que possuíam dados não sistemáticos disponíveis para comparação com os resultados gerados pelo modelo. É possível observar que o menor erro horizontal médio (53 m) foi obtido no teste F, com um coeficiente de Manning $0,045 \text{ s/m}^{1/3}$. O teste C, com o coeficiente de Manning que era utilizado previamente pelo MGB regional ($0,030 \text{ s/m}^{1/3}$) apresentou erro horizontal médio de 68 m, indicando que este valor do parâmetro pode não ser o mais adequado para mapeamento de inundação bacia do rio Taquari-Antas usando a versão do modelo calibrada adotada neste trabalho, para este evento de inundação.

Tabela 2 - Resultados dos testes para diferentes coeficientes de Manning na calibração do modelo – Erro horizontal.

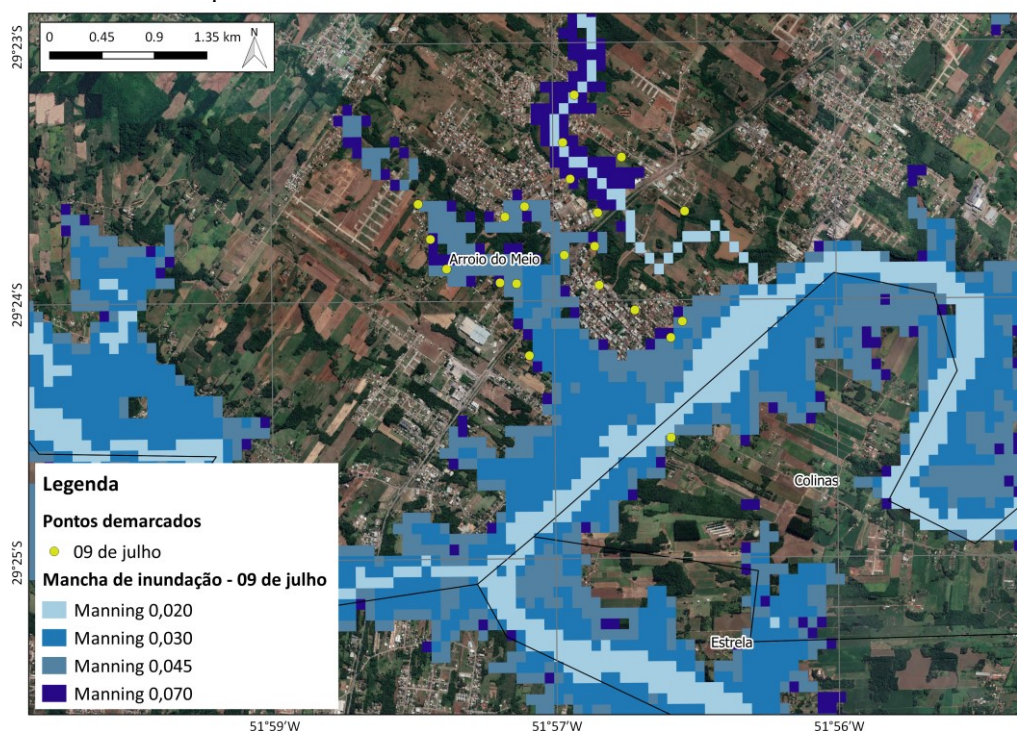
Teste	Manning ($\text{s/m}^{1/3}$)	Erro horizontal absoluto (m)			
		08 de julho	09 de julho	12 de julho	Média
A	0,020	114	221	34	123
B	0,025	67	114	45	75
C	0,030	57	77	70	68
D	0,035	55	55	72	61
E	0,040	62	30	70	54
F	0,045	64	24	71	53
G	0,050	70	28	74	57
H	0,060	76	23	83	60
I	0,070	72	26	100	66

O menor erro horizontal médio ocorreu com o Manning de $0,045 \text{ s/m}^{1/3}$ devido ao dia 09 de julho ter apresentado um erro horizontal substancialmente menor para este teste (erro horizontal de 24 metros) que nos demais testes deste dia. De acordo com a literatura, os valores típicos de coeficiente de Manning em planícies de inundação podem variar de 0,025 a 0,160, dependendo do uso do solo que constitui o local. Logo, como no dia 09 de julho os níveis do rio Taquari extravasaram a calha principal, atingindo a planície de inundação que é composta por áreas urbanas, árvores, arbustos, dentre outros elementos que aumentam a rugosidade da área inundada, o coeficiente de Manning deve ser mais alto para conseguir representar adequadamente o evento. Assim, este fato

justifica os melhores resultados obtidos com o coeficiente de Manning $0,045 \text{ s/m}^{1/3}$. Contudo, deve ser destacado que este é um evento de grande magnitude e que este valor nem sempre irá representar adequadamente os eventos hidrológicos na bacia.

Na Figura 5 é apresentado um exemplo de resultado das manchas de inundação diária, neste caso para o dia 09 de julho de 2020, juntamente com os pontos demarcados através dos dados não sistemáticos. É possível fazer uma análise visual detalhada dos resultados obtidos no município de Arroio do Meio para alguns dos testes com os diferentes coeficientes de Manning que foram realizados. São apresentadas as manchas geradas com os coeficientes de Manning mínimo e máximo testados, ou seja, $0,02 \text{ s/m}^{1/3}$ e $0,07 \text{ s/m}^{1/3}$, bem como as manchas geradas com dois coeficientes de Manning intermediários, de $0,03 \text{ s/m}^{1/3}$ e $0,045 \text{ s/m}^{1/3}$ (menor erro horizontal médio).

Figura 5 - Manchas de inundação para diferentes valores de Manning, no dia 09 de julho de 2020, e comparação com os pontos demarcados na cidade de Arroio do Meio e Colinas.



Validação do modelo

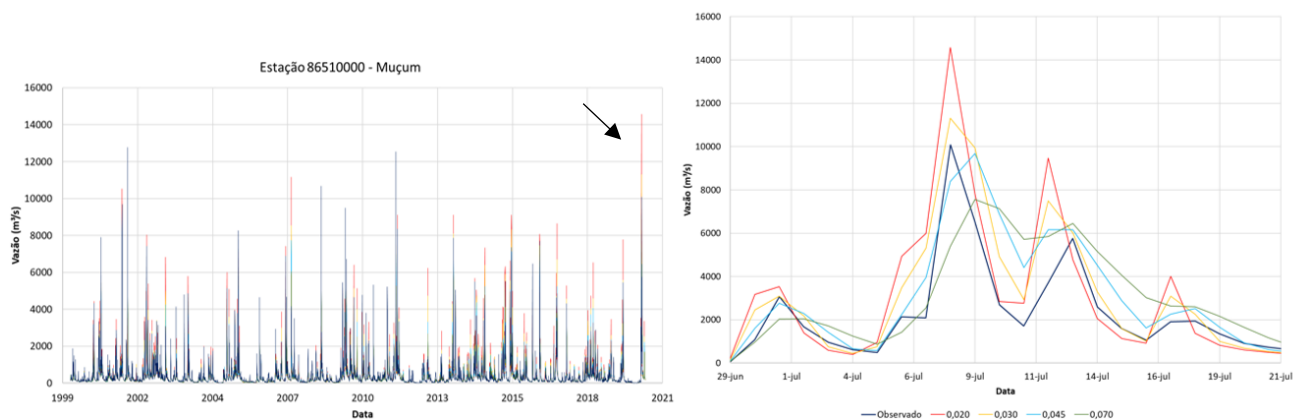
A média dos E_{NS} obtidos nas minibacias das quatro estações fluviométricas analisadas em cada um dos testes (Tabela 3) apresentou valores que variam de 0,665, com um coeficiente de Manning de $0,05 \text{ s/m}^{1/3}$, à 0,779, com um coeficiente de Manning de $0,030 \text{ s/m}^{1/3}$, neste caso, sendo classificado como um modelo bom. Para o coeficiente de Manning de $0,045 \text{ s/m}^{1/3}$, o E_{NS} médio foi de 0,702, sendo o modelo, portanto, classificado como aceitável para a simulação de condições de cheias.

Apesar dos resultados do coeficiente de Nash não terem apresentado grandes variações alterando o coeficiente de rugosidade do modelo, através dos hidrogramas de vazões simulados foi possível observar que a alteração do Manning impacta diretamente o tempo de chegada da onda de cheia, e possivelmente impacta também a amplitude dos níveis simulados. A Figura 6 apresenta uma das comparações realizadas entre os hidrogramas simulados e o hidrograma observado, neste caso para a minibacia da estação 86510000 – Muçum. Destaca-se que, na prática, o coeficiente de Manning pode variar bastante ao longo da rede de drenagem e que com informações detalhadas seria possível fazer o ajuste destes parâmetros de forma local, fazendo a delimitação de uma zona que é impactada pela sua alteração.

Tabela 3 - Resultados dos testes para diferentes valores de Manning – Parâmetro ENS.

Teste	Manning (s/m ^{1/3})	ENS - Minibacias das estações fluviométricas				ENS médio
		86580000	86510000	86720000	86895000	
A	0,020	0,706	0,690	0,711	0,771	0,720
B	0,025	0,683	0,779	0,785	0,829	0,769
C	0,030	0,658	0,817	0,813	0,827	0,779
D	0,035	0,632	0,820	0,812	0,793	0,764
E	0,040	0,605	0,803	0,795	0,742	0,736
F	0,045	0,578	0,777	0,769	0,683	0,702
G	0,050	0,552	0,745	0,739	0,625	0,665
H	0,060	0,504	0,676	0,671	0,517	0,592
I	0,070	0,461	0,607	0,604	0,427	0,525

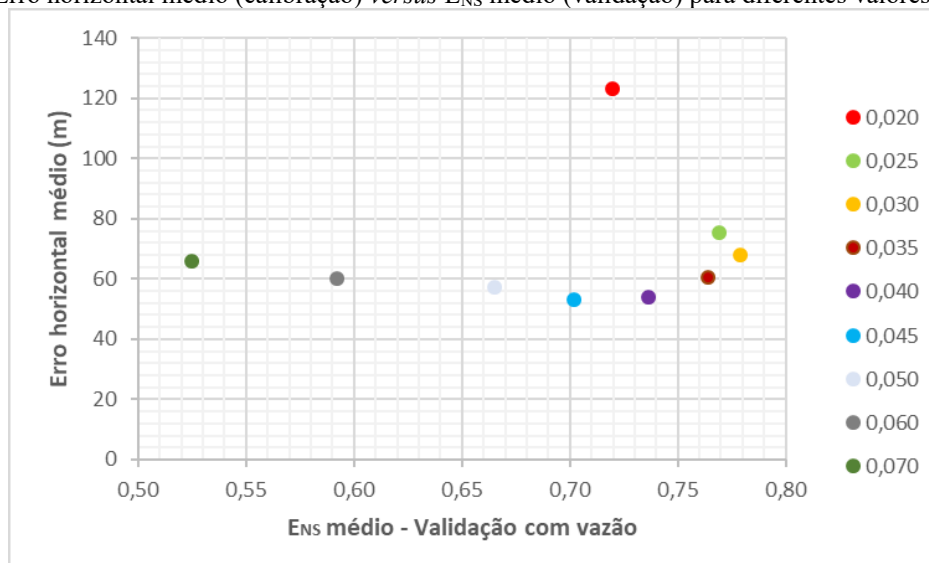
Figura 6 - Hidrograma observado e simulado para diferentes valores de Manning na minibacia da estação 86510000 – Muçum. Período simulado (à esquerda) e zoom no evento de inundação de 2020 (à direita).



Calibração versus Validação

A Figura 7 apresenta o gráfico do erro horizontal médio versus ENS médio para diferentes valores de Manning testados. Observa-se que o coeficiente de Manning que apresentou menor erro horizontal médio na calibração (0,045 s/m^{1/3}) não é o que apresentou maior ENS médio na validação (0,030 s/m^{1/3}).

Figura 7 - Erro horizontal médio (calibração) versus ENS médio (validação) para diferentes valores de Manning.



Isto ocorre pelo fato de que o modelo utilizado, ou seja, o MGB-RSH, teve seus parâmetros hidrológicos calibrados originalmente para o coeficiente de Manning de $0,030 \text{ s/m}^{1/3}$, logo, é esperado que este coeficiente apresente o melhor Nash. Contudo, deve ser ressaltado que utilizando o Manning de $0,045 \text{ s/m}^{1/3}$ são obtidos melhores resultados para as manchas de inundação sem degradar muito o valor de Nash, o que indica, portanto, que se os parâmetros hidrológicos fossem reajustados, provavelmente seriam obtidos bons resultados de manchas de inundação e também de Nash utilizando o coeficiente de $0,045$.

Banco de dados para estudos futuros

Como contribuição adicional foi disponibilizado um banco de dados, no repositório Zenodo, com os produtos gerados deste trabalho. Este banco de dados pode ser consultado através do link <https://doi.org/10.5281/zenodo.4730371> e nele constam arquivos em formato *shapefile* (.shp) dos pontos mapeados através de dados não sistemáticos para os dias 08, 09 e 12 de julho de 2020, e arquivos em formato raster (.tif) das manchas simuladas pelo MGB.

Este banco de dados, de livre acesso à população e pesquisadores, poderá ser útil para diversos estudos hidrológicos a serem realizados na região do Vale do rio Taquari, principalmente estudos relacionados ao evento extremo de julho de 2020. Ainda, poderá auxiliar o poder público da região pois, com as manchas geradas podem ser determinadas áreas de risco à população para eventos extremos de inundação, como o evento estudado neste trabalho.

CONCLUSÕES

Em alguns casos de modelagens de eventos extremos máximos os dados não sistemáticos são utilizados no processo de validação do modelo, após o mesmo já ter sido calibrado com dados sistemáticos, servindo somente como complementar ao trabalho. Neste estudo foi aplicada uma metodologia inversa: calibrar o modelo utilizando dados não sistemáticos, tendo o objetivo de mostrar que estes podem contribuir como uma informação adicional aos dados sistemáticos quando se trata do contexto da ciência hidrológica. Foi constatado que a calibração hidrodinâmica do modelo somente com dados não sistemáticos se mostrou eficiente, portanto, pode-se esperar que uma calibração combinando os dados sistemáticos e os não sistemáticos pode ser valiosa em modelagens de eventos extremos, como é o caso da inundação estudada.

Ressalta-se que o estudo avança no sentido de difundir o uso de dados provenientes da ciência cidadã na área de hidrologia, podendo, inclusive, implementar a utilização destes dados não sistemáticos em aplicações mais rotineiras de modelagem de inundações, complementando os dados sistemáticos para atividades de calibração e validação. Deve ser enfatizado, entretanto, que a metodologia que foi utilizada nem sempre será aplicável a todos os problemas enfrentados por pesquisadores, visto que é preciso que existam dados não sistemáticos disponíveis na área de interesse e, sobretudo, que a metodologia seja viável para a escala aplicada, já que a mesma requer um elevado processamento manual dos dados.

REFERÊNCIAS

- ALVES, M. E. P.; FAN, F. M.; SIQUEIRA, V. A.; LAIPELT, L. (2020). “Flood mapping employing local, regional and global scale modeling methods for the Uruguay river”. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v. 24, n. 0, ed. 22, pp. 1 - 18.
- ARGOUD, F. J. (2019). *Potencial uso de plataformas online de compartilhamento de vídeos para a obtenção de dados hidrológicos*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Hídrica), Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS, Porto Alegre.
- ASSUMPÇÃO, T. H.; POPESCU, I.; JONOSKI, A.; SOLOMATIN, D. P. (2018). “Citizen observations contributing to flood modelling: opportunities and challenges”. Hydrology and Earth System Sciences, v. 22, n. 2, pp. 1473–1489.

- BUYTAERT, W. *et al.* (2014). “*Citizen science in hydrology and water resources: Opportunities for knowledge generation, ecosystem service management, and sustainable development*”. *Frontiers in Earth Science*, v. 2, n. 26, pp. 1–21.
- COBRADE. *Classificação e Codificação Brasileira de Desastres*. Disponível em: http://www.defesacivil.pr.gov.br/sites/defesa-civil/arquivos_restritos/files/documento/2018-12/Cobrade_comsimbologia.pdf. Acesso em: 03 mai. 2021.
- CRED. “*Natural Disasters 2019*”. Brussels: CRED, 2019. Disponível em: https://emdat.be/sites/default/files/adsr_2019.pdf. Acesso em: 03 mai. 2021.
- DEFESA CIVIL. *S2ID - Sistema Integrado de Informações sobre Desastres*. Disponível em: <https://s2id.mi.gov.br/>. Acesso em: 03 mai. 2021.
- GIORDANI, B. B.; FAN, F. M.ainardi; ALVES, M. E. P. (2021). “*July 2020’s flood database in the Taquari-Antas river basin / Banco de dados da inundação de julho de 2020 na bacia do rio Taquari-Antas*”. Disponível em: <https://doi.org/10.5281/ZENODO.4730371>. Acesso em: 1 maio. 2021.
- HAKLAY, M. (2013). “*Citizen science and volunteered geographic information: Overview and typology of participation*.” In: *Crowdsourcing Geographic Knowledge*. Springer, Dordrecht. pp. 105–122.
- JC2 VÍDEO PRODUTORA. (2020). *A enchente mas devastadora da história do município de Muçum e do Vale do Taquari - RS*. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=1j1wX-BPk4I>. Acesso em: 22 set. 2020.
- MAZZOLENI, M.; VERLAAN, M.; ALFONSO, L.; MONEGO, M.; NORBIATO, D.; FERRI, M.; SOLOMATINE, D. P. (2017). “*Can assimilation of crowdsourced data in hydrological modelling improve flood prediction?*”. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 21, pp. 839–861.
- PONTES, P. R. M.; FAN, F. M.; FLEISCHMANN, A. S.; PAIVA, R. C. D.; BUARQUE, D. C.; SIQUEIRA, V. A.; JARDIM, P. F.; SORRIBAS, M. V.; COLLISCHONN, W. (2017). “*MGB-IPH model for hydrological and hydraulic simulation of large floodplain river systems coupled with open source GIS*.” *Environmental Modelling and Software*, v. 94, pp. 1–20.
- ROLLASON, E.; BRACKENA, L. J.; HARDYA, R. J.; LARGE, A. R. G. (2018). “*The importance of volunteered geographic information for the validation of flood inundation models*”. *Journal of Hydrology*, v. 562, pp. 267–280.
- SEE, L. (2019). “*A Review of Citizen Science and Crowdsourcing in Applications of Pluvial Flooding*”. *Frontiers in Earth Science*, v. 7, pp. 44.
- SEMA. (2020). *Boletim Especial: Cheias e Inundações - Julho de 2020*. Porto Alegre, 41 p.
- SIQUEIRA, V. A.; FLEISCHMANN, A.; COLLISCHONN, W.; FAN, F. M. (2015). “*Desenvolvimento de um sistema operacional de previsão de cheias na bacia do Taquari-Antas/RS*”. In *Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Brasília, DF: ABRH, 2015*. pp. 1–8.
- TUCCI, C. E. M. (2001). “*Controle de Enchentes*”, In: *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. Org. por Tucci, C. E. M. 2. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS; ABRH, 943 p.
- VANELLI, F. M.; FAN, F. M.; KOBAYAMA, M. (2020). *Panorama geral sobre dados hidrológicos com ênfase em eventos hidrológicos extremos*. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, v. 17, n. 1, p. 1–24.