CIÊNCIA CIDADÃ EM DESASTRES HIDROLÓGICOS - INICIATIVA APLICADA ÀS ENXURRADAS E INUNDAÇÕES DE SETEMBRO DE 2023 E MAIO DE 2024 NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TAQUARI-ANTAS/RS

Sofia Royer Moraes
Doutoranda em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental - IPH/UFRGS
Professora e pesquisadora na UNIVATES
E-mail: sofiaroyermoraes@gmail.com
Walter Collischonn
Doutor em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental
Professor do IPH/UFRGS
E-mail: collischonn@iph.ufrgs.br
Lucas George Wendt
Mestre em Ciência da Informação - UFRGS
E-mail: lucas.george.wendt@gmail.com
Leonardo Laipelt
Doutorando em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental - IPH/UFRGS
E-mail: leolaipelt@gmail.com
Rafael Rodrigo Eckhardt
Mestre em Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto
Professor e pesquisador da UNIVATES
E-mail: rafare@univates.br
Fernando Mainardi Fan
Doutor em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental
Professor do IPH / UFRGS
E-mail: fernando.fan@ufrgs.br
Rodrigo Paiva
Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental
Professor do IPH/UFRGS
E-mail: rodrigo.paiva@ufrgs.br
Masato Kobiyama
Doutor em Engenharia Florestal
Professor do IPH/UFRGS
E-mail: masato.kobiyama@ufrgs.br

RESUMO
A ciência cidadã envolve a participação da comunidade na coleta, compartilhamento e análise de dados científicos em colaboração com pesquisadores, contribuindo para a geração de informações, estudos e apoio na resolução de problemas complexos e multifatoriais, como aqueles relacionados com desastres naturais. A Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas (BHTA), uma das sub-bacias da Região Hidrográfica do Guaíba (RS), tem um longo histórico de ocorrência de enchentes, inundações e enxurradas, que fazem parte da morfodinâmica natural, mas que também resultam em impactos e danos materiais recorrentes sobre infraestruturas, cidades, usos agropecuários, com consequentes e recorrentes prejuízos materiais e econômicos. Nos dias 04 e 05 de setembro de 2023 e 01 e 02 de maio de 2024, ocorreram duas das maiores inundações no Rio Taquari-Antas desde 1939, quando iniciou o monitoramento sistemático dos níveis do referido rio em diversas cidades, afetando extensas áreas no Vale do Taquari. Este artigo descreve uma iniciativa de ciência cidadã em desastres naturais fomentada pela UNIVATES e pelo IPH-UFRGS, que contou com a participação ativa e voluntária da população local para marcar os locais atingidos pelo pico das inundações nas cidades localizadas entre Santa Teresa e Taquari. A comunidade foi orientada a marcar a sua localização atual no local onde ocorreu o pico da inundação com seu *smartphone*,

utilizando o clipe do aplicativo *WhatsApp* e enviando essa localização para um número de celular do IPH-UFRGS. Como principais resultados, destaca-se a participação de 190 pessoas, que enviaram a localização de 820 locais atingidos pelo nível máximo da inundação de setembro de 2023 e de maio de 2024 na BHTA. Utilizando o escopo da ciência cidadã e de *softwares* especializados de hidrologia e geoprocessamento, foi possível utilizar as marcações enviadas pela comunidade para gerar e validar um mapa regional da mancha de inundação, melhorando os detalhes, a qualidade e a fidelidade do mapeamento para servir de insumo para ações de prevenção, contingência e gestão de desastres, além de planejamento urbano e regional.

PALAVRAS-CHAVE: Desastres; Inundações; Mapeamento Participativo; Mancha de Inundação;

CITIZEN SCIENCE IN HYDROLOGICAL DISASTERS - INITIATIVE APPLIED TO FLASH FLOODS AND FLOODS OF SEPTEMBER 2023 AND MAY 2024 IN THE TAQUARI-ANTAS/RS RIVER BASIN

ABSTRACT

Citizen science involves the participation of the community in the collection, sharing, and analysis of scientific data in collaboration with researchers, contributing to generating information, studies, and support in solving complex and multifactorial problems, such as those related to natural disasters. The Taquari-Antas River Basin (BHTA), one of the sub-basins of the Guaíba Hydrographic Region (RS), has a long history of floods, inundations, and flash floods, which are part of the natural morphodynamics but also result in recurring impacts and material damage to infrastructure, cities, and agricultural uses, with consequent and recurring material and economic losses. On September 4th-5th, 2023, and May 1st-2nd, 2024, two of the largest floods occurred in the Taquari-Antas River since 1939, when systematic monitoring of river levels began in several cities, affecting extensive areas in the Taquari Valley. This article describes a citizen science initiative in natural disasters promoted by UNIVATES and IPH-UFRGS, which involved the active and voluntary participation of the local population to mark the locations affected by the flood peak in the cities located between Santa Teresa and Taquari. The community was instructed to mark their current location at the flood peak site with their smartphone using the WhatsApp location feature and send this location to an IPH-UFRGS mobile number. The main results highlight the participation of 190 people, who sent the location of 820 sites affected by the maximum flood level of September 2023 and May 2024 in the BHTA. Using the scope of citizen science and specialized hydrology and geoprocessing software, it was possible to use the community's markings to generate and validate a regional flood extent map, improving the details, quality, and fidelity of the mapping to serve as input for prevention, contingency and disaster management actions, as well as urban and regional planning.

KEYWORDS: Disasters; Floods; Participatory Mapping; Flood Extent

INTRODUÇÃO

Em um contexto em que, cada vez mais, a produção de dados científicos perpassa dispositivos tecnológicos e a maior parte das pessoas fazem uso de recursos conectados à internet, a ciência cidadã oferece amplas possibilidades de engajamento e colaboração. Neste trabalho, relata-se uma experiência de ciência cidadã que buscou realizar, a partir da participação e colaboração da

população em geral para a demarcação dos locais atingidos pelo pico de dois eventos de inundações e enxurradas que aconteceram no estado do Rio Grande do Sul, em setembro de 2023 e maio de 2024, direcionado à bacia hidrográfica do Rio Taquari-Antas (BHTA) e a geração acurada das manchas regionais de inundação. Nessas ocasiões, cidades de diferentes regiões do RS foram afetadas por chuvas intensas, enchentes, enxurradas, inundações e movimentos de massa (deslizamentos e fluxo de detritos), com consequências maiores sobre as infraestruturas públicas e privadas nas áreas urbanas e rurais do Vale do Taquari.

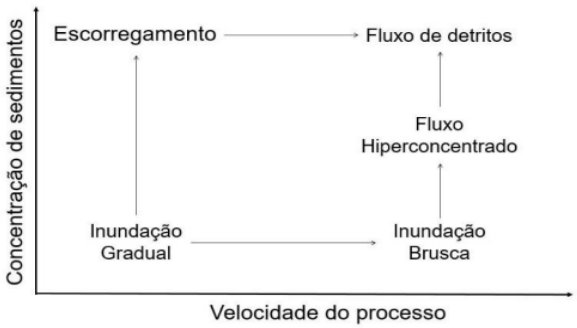
REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção apresenta o referencial teórico empregado na pesquisa, que abordou a Bacia Hidrográfica Taquari-Antas; Ciência cidadã; Ciência cidadã aplicada aos desastres naturais; e a modelagem hidrológica e geração das manchas de inundação da BHTA.

Desastres hidrológicos na Bacia Hidrográfica Taquari-Antas

Os rios, nos períodos chuvosos, dentro de um processo natural, saem do seu leito menor e ocupam o leito maior, em média, a cada dois anos (Tucci; Porto; Barros, 1995). Como isso ocorre de forma irregular ao longo do tempo, a população tende a ocupar o leito maior, ficando sujeita ao impacto das enchentes (Tucci, Bertoni, 2003). A inundação caracteriza-se pelo transbordamento das águas do leito menor para o leito maior ou planície de inundação (Frank, Sevegnani & Tomaselli, 2009; Oliveira, 2010; Tucci, 2014). As enxurradas (comumente chamadas como inundações bruscas) se diferenciam das inundações principalmente pelo tempo de duração do evento, mais reduzido em virtude da elevada velocidade do fenômeno, e pela variação brusca na vazão do rio, tendo um poder destrutivo muito superior às inundações nas áreas suscetíveis a tais fenômenos (Castro, 1998; Sirangelo, 2014) (Figura 1).

Figura 1 - Classificação conceitual dos tipos de desastres hidrológicos

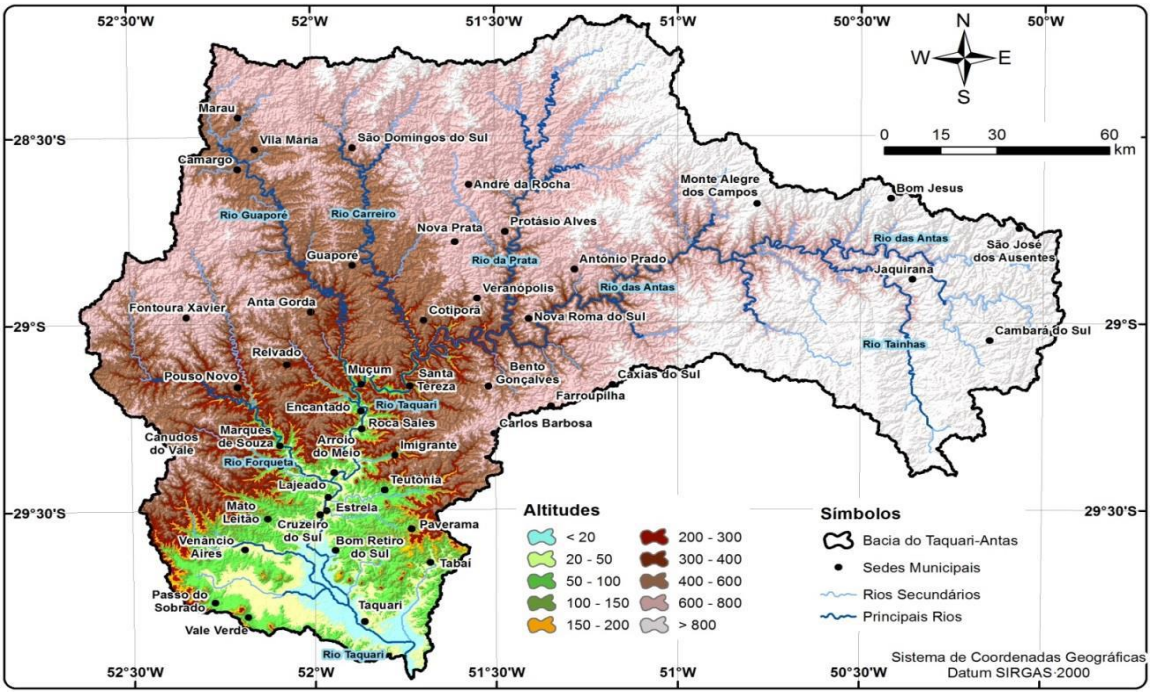


Fonte: KOBIYAMA *et al*., 2019.

A inundação de áreas urbanas nas margens dos grandes rios tem impactos na sociedade, com perdas de vidas, danos à infraestrutura e às propriedades, além de prejuízos materiais e traumas psicológicos (Merz *et al*., 2021; Willner *et al*., 2018). As inundações e as enxurradas, quando ocorrem em áreas com elevado grau de exposição da população e a mesma se encontra em condições mais vulneráveis, podem provocar a ocorrência de desastres (Oliveira *et al*., 2018).

A Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas - BHTA (Figura 2) compõe a Região Hidrográfica do Guaíba. A BHTA se limita entre as latitudes 28°10' e 29°57' S e as longitudes 49°55' e 52°38' W, em uma área de drenagem de 26.428 km². O Rio Taquari-Antas pode ser subdividido em dois grandes trechos: i) na porção a montante, sob a denominação de rio das Antas, está predominantemente encaixado em um vale montanhoso, alternando poços e corredeiras, eventualmente intercalados por saltos de pequeno porte, com seu percurso marcado por um forte controle estrutural e litológico; ii) na porção a jusante, sob a denominação de Rio Taquari, o vale é formado predominantemente por depósitos colúvio-aluvionares, possuindo extensas planícies e terraços fluviais em alguns trechos (Oliveira *et al*., 2018).

Figura 2 - Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas, RS



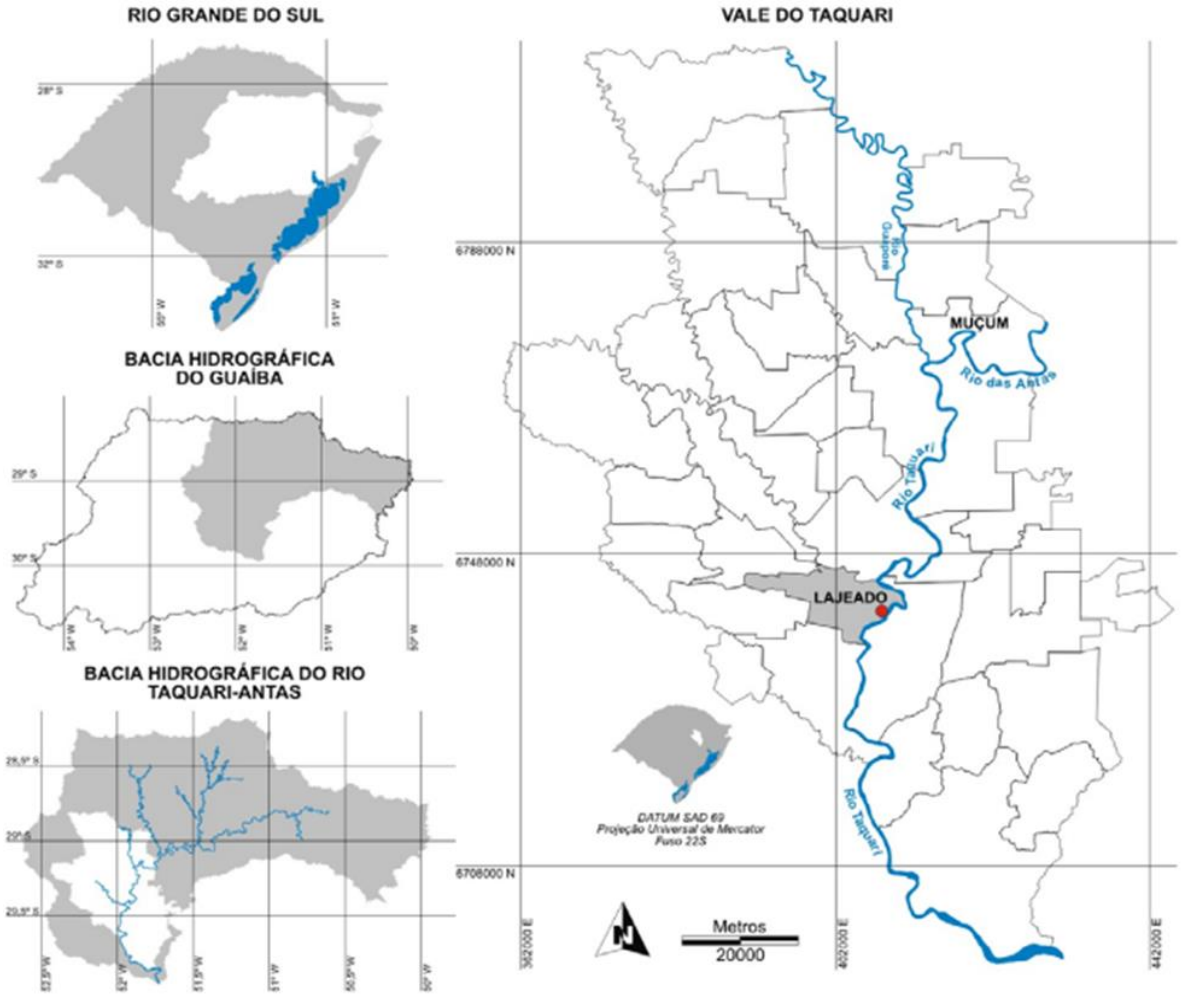
Fonte: OLIVEIRA *et al*., 2018.

Na Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas ocorrem processos hidrológicos extremos e distintos: no vale do Rio Taquari predominam as inundações graduais, com aumento de nível do rio na ordem de centímetros por hora, enquanto nos afluentes do Rio Taquari, como o Prata, Carreiro,

Guaporé e Forqueta, predominam as enxurradas, com aumento de nível na ordem de metros por hora, em virtude da menor dimensão destas sub-bacias e a consequente redução no tempo de concentração (Ferri; Togni, 2012).

De acordo com Ferreira e Both (2001), as inundações e enxurradas que ocorrem na Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas e, dessa forma no Vale do Taquari, decorrem de fatores naturais existentes na bacia hidrográfica. Porém, salientam que as ações antrópicas agravam os problemas causados pelos eventos, intensificando o alcance dos níveis das enxurradas e das inundações nas áreas urbanizadas. As cidades do Vale do Taquari mais atingidas pelas inundações, de montante para jusante, são Muçum, Encantado, Roca Sales, Colinas, Arroio do Meio, Lajeado, Estrela, Cruzeiro do Sul, Bom Retiro do Sul e Taquari (Figura 3).

Figura 3 - Localização do Vale do Taquari em relação à bacia hidrográfica do Rio Taquari-Antas.



Fonte: MORAES *et al*, 2023.

No evento de enxurradas e inundações de setembro de 2023, no Vale do Taquari, o saldo foi de 45 mortos (total de 54 no RS), 4 desaparecidos, mais de 1.000 feridos, 35 mil desabrigados ou desalojados, aproximadamente 790 mil pessoas atingidas e um prejuízo total superior a R$ 3,2 bilhões em todo RS. Durante os meses de abril e maio de 2024, nomeada pelo Governo do Estado como a **maior catástrofe climática do RS** (Rio Grande do Sul, 2024), com magnitude, abrangência e impactos ainda maiores que todos os desastres hidrológicos pretéritos (Figuras 4 e 5), o saldo foi de 46 mortos e 19 desaparecidos no Vale do Taquari (total de 183 mortes e 27 ainda não encontrados no RS), de acordo com a atualização de 20/08/2024 - Defesa Civil RS. Ainda, de acordo com a mesma referência, foram registrados 806 feridos no RS e aproximadamente 2.398.255 pessoas atingidas diretamente. Este evento hidrológico sem precedentes causou inundações, enxurradas e movimentos de massa em uma escala nunca vista no Brasil, devendo este desastre provavelmente ocupar a primeira posição do país em número de pessoas deslocadas, danos a propriedades e infraestruturas (Collischonn *et al.*, 2025). Nos desastres hidrológicos de setembro de 2023 e de maio de 2024, também merece destaque a destruição parcial (Figura 6) e total (Figura 7) de milhares de edificações residenciais, empresas, indústrias, ruas, estradas, rodovias e dezenas de pontes sobre o Rio Taquari e nos principais afluentes (Figura 8).

Figura 4 - Composição de fotografias aéreas antes e durante o pico da enxurrada do Rio Taquari, no alinhamento da ponte da BR 386, entre as cidades de Lajeado e Estrela, evidenciando a magnitude e o poder destrutivo do desastre hidrológico de 02 de maio de 2024 na BHTA

Fonte: GEOPIZZA, 2024

Figura 5 (a) e 5 (b)- Fotografias aéreas de antes e durante o pico da enxurrada do Rio Taquari na área urbana de Muçum, tiradas em meados de 2023 (5a), cidade já muito atingida e destruída pelo evento de setembro de 2023, com registro de 17 vítimas fatais naquele ano. Em maio de 2024 (5b), apesar do desastre hidrológico ter tido magnitude até maior, não houve registros de vítimas fatais

Fonte: GEOPIZZA, 2024.

Figura 6 - Cenário de destruição parcial (80%) do bairro Navegantes, da cidade de Arroio do Meio, localizado às margens do Rio Taquari, em função da enxurrada de 02 de maio de 2024

Fonte: Gustavo Mansur – Palácio Piratini

Figura 7 - Bairro Passo de Estrela, Cruzeiro do Sul, após a enxurrada de 02 de maio de 2024, onde ocorreu destruição total de mais de 800 residências e toda a infraestrutura urbana

Fonte: dos autores (registro feito em 26/05/2024)

Figura 8 - Fisionomia da destruição total da ponte da RS 130 sobre o Rio Forqueta entre as cidades de Lajeado e Arroio do Meio. Houve a danificação e o colapso completo de dezenas de pontes na BHTA em função das inundações de setembro de 2023 e maio de 2024.

Fonte: dos autores (registro feito em 26/05/2024)

O conjunto de imagens apresentado acima exemplifica e demonstra a intensidade da destruição das margens do Rio Taquari-Antas e dos principais afluentes, da mata ciliar, dos usos agropecuários, das infraestruturas públicas e, principalmente, das áreas urbanas nas cidades do Vale

do Taquari, em decorrência de chuvas intensas e concentradas em cerca de 10 dias na BHTA em setembro de 2023 e em todo o estado do Rio Grande do Sul em maio de 2024.

Ciência Cidadã

A ciência cidadã preconiza a participação pública na produção científica, que consiste no engajamento de pessoas que não são iniciadas no processo de criação de conhecimento científico, o que pode corresponder ao envolvimento em diferentes etapas do fazer científico: desde a concepção da pesquisa, passando pela coleta dos dados, até a geração de informação a partir dos dados reunidos. A despeito de não ser ampla a aceitação nos círculos acadêmicos e ser melhor desenvolvida em áreas como a Astronomia e a Biologia, a ciência cidadã é conhecida desde o século XIX, quando foi empregada em estudos de observação de aves (Shirk *et al*, 2012; Rumenos *et al*, 2023; ABDO, *et al.*, 2014). Nahuz (2021) aponta que "*Ciência Cidadã é um termo empregado para descrever, projetos com finalidades científicas que usam não-cientistas como voluntários, sob a supervisão de um cientista, pesquisador ou instituição científica*".

A "Ciência Cidadã é utilizada, em geral, para responder questões de amplo escopo espacial e/ou temporal", o que implica na necessidade de serem desenvolvidas estratégias de fácil transmissão do que é necessário por parte dos cientistas, para a correta assimilação por parte dos cientistas cidadãos (Rumenos *et al*., 2023). Questões de amplo escopo demandam investimentos significativos em recursos materiais e financeiros - e tempo - o que, muitas vezes, não está disponível aos cientistas cumprindo uma agenda tradicional, muitos dos quais trabalhando em projetos de alto impacto local e benefício comunitário. Por isso o engajamento cidadão se mostra duplamente potente: viabiliza uma coleta de dados mais ágil e abrangente; pode adicionar elementos interpretativos relevantes a determinado contexto de pesquisa; e se constitui em ferramenta importante para cidadãos se envolverem em problemáticas comunitárias (Vohland *et al*., 2021).

Dentre os exemplos de aplicações da ciência cidadã, destacam-se usos com questões ambientais, como a observação da redução de biodiversidade, às alterações climáticas, a contaminação da água e do ar, a gestão de resíduos sólidos orgânicos e, em pequena escala, a prevenção de inundações (Cheung; Feldmann, 2019). Nesta direção, os autores defendem os potenciais da aplicação da ciência cidadã em projetos que envolvam desastres naturais, como o mapeamento das manchas de inundação e ações de prevenção às enchentes, inundações e enxurradas, como uma forma de ampliar a resiliência das comunidades - o que Wolff *et al* (2021),

entendem como uma perspectiva recente nas comunidades de prática, bem como na literatura científica. Entende-se que a ciência cidadã apresenta uma oportunidade para elevar a conscientização acerca das inundações e fortalecer a capacidade das pessoas em lidar com os riscos das inundações, visando proteger tanto vidas, quanto bens (Silvertown, 2009; See, 2019; Cheung; Feldmann, 2019; Wolff *et al*., 2021)

A ciência cidadã refere-se à participação voluntária de cidadãos na investigação científica e na coleta de dados, muitas vezes sob a orientação de cientistas profissionais e/ou em associação com instituições ou programas científicos formais, seguindo metodologias cientificamente válidas Segundo (UNESCO, 2022). Por outro lado, existe esse conceito com a versão brasileira. Por exemplo, a Rede Brasileira de Ciência Cidadã manifesta que:

> A ciência cidadã deve ser entendida de forma ampla, abrangendo uma gama de tipos de parcerias entre cientistas e interessado(a)s em ciência, para produção compartilhada de conhecimentos baseados na prática científica e na integração com outros saberes, com potencial para promover: i) o engajamento do público em diferentes etapas da prática científica; ii) a educação científica e tecnológica; e iii) a (co)elaboração e implementação de políticas públicas sobre temas de relevância social e ambiental, (RBCC, 2021).

Ciência Cidadã Aplicada aos Desastres Naturais

A multiplicação de atores na criação de conhecimentos e difusão de novos saberes, com destaque para movimentos sociais, associações de comunidades suscetíveis à ocorrência de desastres naturais, coletivos online, entre outros, destacados por Lafuente; Andoni e Rodrigues, (2013) constituem-se em elementos essenciais para resiliência de comunidades e integra o conceito de ciência cidadã. Muitas são as definições para a expressão ciência cidadã, desde concepções mais tradicionais, envolvendo o público como voluntário em investigações científicas para a coleta e análise de dados, até definições mais amplas, que compreendem o público em geral como participante ativo nas pesquisas (Parra, 2015).

Na perspectiva operacional desses conceitos, a ciência cidadã, também conhecida como "ciência participativa" ou "ciência comunitária", é uma abordagem colaborativa na qual membros do público em geral, muitas vezes sem formação científica formal, participam ativamente do processo científico, seja com seu esforço intelectual ou por meio de seus conhecimentos e experiências no local. Na abordagem ampliada, a comunidade contribui na formulação de problemas, hipóteses e objetivos. Participa de diversas etapas da produção de conhecimento, influenciando diretamente nos resultados e soluções alcançadas (Socientize Consortium, 2013).

Nesse contexto colaborativo, os participantes podem atuar fornecendo dados experimentais, elaborando questionamentos e problematizando, ajudando a criar uma nova cultura científica. Como resultado desse processo participativo, da transdisciplinaridade e do fortalecimento das pesquisas em redes colaborativas, as interações entre ciência, política e sociedade são aprimoradas, de modo a consolidar e democratizar o acesso à produção intelectual (Socientize Consortium, 2013; Parra, 2015). Aqui vale salientar o trabalho de Starkey *et al*. (2017) que estudaram uma bacia de 42 km² (Grã-Bretanha) por meio de monitoramento e modelagem. Esses autores demonstraram que esse estudo com ciência cidadã avança muito mais do que sem ciência cidadã. Além disso, foi evidenciado que conjuntos de dados derivados da ciência cidadã foram ainda mais valiosos durante eventos de enxurradas, principalmente no momento do pico de vazão.

Na última década, diversos pesquisadores têm desenvolvido métodos e aplicações envolvendo a ciência cidadã no gerenciamento de desastres naturais e redução de riscos, como mostram Kocaman *et al*. (2018) e Hicks *et al*. (2019) em suas revisões sistemáticas da bibliografia científica. Considerando a participação do público em sistemas de alerta de curto prazo, a pesquisa de Marchezini *et al*. (2017) demonstra como o diálogo com a comunidade e iniciativas baseadas na ciência cidadã possibilitam reduzir os riscos de desastres no Brasil.

Nesse sentido, a sócio-hidrologia é cada vez mais importante na redução de desastres que ocorrem pela combinação entre fatores ambientais e sociais (Kobiyama *et al*., 2019). A sócio-hidrologia, além de estudar as interações entre atividades sociais e os processos hidrológicos, possui a função de envolver a comunidade local em atividades científicas da hidrologia. Desta forma, destacam o papel da ciência cidadã, ou seja, o envolvimento da comunidade na geração de novos conhecimentos sobre o ambiente natural. Os autores destacam que a construção de bacias-escola, de estudos de socio-hidrologia e a difusão da ciência cidadã nas comunidades locais podem auxiliar na redução dos desastres naturais, em especial, os desastres hidrológicos (Figura 9).

Figura 9 - Interação entre sócio-hidrologia, bacia-escola e ciência cidadã para apoiar o gerenciamento integrado de recursos hídricos e desastres naturais

Fonte: adaptado de KOBIYAMA *et al*., 2019.

Modelagem Hidrológica e Hidrodinâmica na Geração das Manchas de Inundação

A dinâmica da paisagem interfere e condiciona o comportamento das variáveis hidrológicas e o próprio ciclo hidrológico, como a precipitação pluviométrica, o comportamento dos processos de infiltração e de escoamento da água, os processos de erosão, transporte e sedimentação, a propagação das vazões e o comportamento das enchentes e das inundações em termos de frequência e magnitude (Lambin; Meyfroidt, 2010; Ervin; Hartter, 2020). O acompanhamento das situações de cheias e a previsão antecipada das enxurradas e inundações, associadas com medidas complementares, como informação e educação cidadã, bem como planos para evacuação emergencial, podem fazer muita diferença para a população atingida.

A modelagem hidrológica e hidrodinâmica consiste no uso de modelos matemáticos e computacionais para simular o comportamento da água em determinada bacia hidrográfica, com o objetivo de prever a ocorrência de enchentes e a intensidade, comportamento e alcance de enxurradas e inundações. Esses modelos consideram fatores como precipitação, escoamento superficial, características da drenagem, uso e cobertura do solo, modelo digital do terreno, batimetria do canal principal, seções topobatimétricas, entre outros fatores que, em conjunto com as ferramentas e os recursos de geoprocessamento e sensoriamento remoto, permitem gerar uma mancha regional de inundação ou direcionada com maior qualidade e fidelidade para determinada cidade ou área urbana.

Em relação à modelagem hidrodinâmica, o HEC-RAS (*Hydrologic Engineering Center's River Analysis System*) (Usace-Hec, 2016), é um *software* robusto para modelar e simular o escoamento em rios e canais por meio das equações de *Saint-Venant*. Estas equações diferenciam e

descrevem a conservação de massa e conservação de momento, em sistemas de fluxo aberto, considerando variáveis como velocidade, profundidade e vazão ao longo do tempo e do espaço, permitindo analisar fluxos permanentes e não permanentes. O HEC-RAS utiliza dados de entrada detalhados do terreno, além de condições iniciais específicas e de condições de contorno, para prever o comportamento do escoamento. Em função da capacidade de simular diferentes cenários de fluxo, o HEC-RAS é um sistema muito utilizado para a análise de enxurradas e inundações.

Os resultados advindos da modelagem hidrológica e hidrodinâmica são importantes para o planejamento das ações de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação no contexto de gestão de risco e de desastres (Fagundes *et al*., 2022). Justamente por isso, essa combinação serve efetivamente para a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC (Brasil, 2012). Quando direcionadas aos eventos naturais extremos, como enchentes, enxurradas e inundações, as modelagens buscam entender e prever como um volume extraordinário de precipitação irá alterar a vazão e o nível dos cursos de água, o quão rápido isso acontecerá e quais serão os impactados das áreas vizinhas. Ao prever a trajetória e a intensidade de uma inundação, os modelos podem alimentar sistemas de alerta que notificam autoridades e comunidades locais sobre o perigo iminente. Isso permite que as cidades implementem medidas de emergência e contingência, como evacuações, fechamento de estradas, identificar infraestruturas vulneráveis, como pontes, diques e instalações de tratamento de água, sistemas de distribuição de energia elétrica, que permite que essas estruturas sejam reforçadas antes que ocorram desastres.

METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido considerando duas etapas metodológicas correlacionadas: a primeira etapa descreve a mobilização e participação voluntária da população do Vale do Taquari, em uma iniciativa de ciência-cidadã, na marcação ativa dos locais atingidos pelo pico das enxurradas e inundações de setembro de 2023 e de maio de 2024 na BHTA; a segunda etapa da metodologia envolve os processos de calibração, modelagem e simulação hidrológica e hidrodinâmica dos dois eventos hidrológicos, direcionados à geração das manchas regionais de inundação, incorporando as informações coletadas pelos autores, somadas às informações coletadas pela participação cidadã, para validar e melhorar a qualidade da mancha regional das inundações.

Iniciativa de Ciência-Cidadã em Desastres Hidrológicos na BHTA

Logo após as enxurradas e inundações de setembro de 2023 e de maio de 2024 na BHTA, que resultaram em níveis de destruição jamais documentadas na história da bacia hidrográfica, somada às mais de 100 pessoas que perderam a vida, conforme descrição dos eventos hidrológicos no referencial teórico, a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e a Universidade do Vale do Taquari (UNIVATES), com apoio dos veículos de comunicação, realizam um chamamento público para a comunidade das áreas afetadas - mais de uma dezena de municípios - a participar de uma ação voluntária para a criação de um Mapa Cidadão da extensão e dos impactos das inundações na BHTA, considerando que o colapso das cidades e da infraestrutura de mobilidade, principalmente do Vale do Taquari, praticamente inviabilizou a realização de medições pelos pesquisadores e levantamentos *in loco* nas primeiras semanas.

Antes, durante e após o desenvolvimento das chuvas, da variação da vazão e dos níveis dos rios, as equipes de professores e pesquisadores da UNIVATES e UFRGS estiveram envolvidas no monitoramento, previsão, comunicação e alerta da população por intermédio dos veículos de comunicação. Com a consolidação do nível máximo das enxurradas e das inundações na BHTA, iniciou-se a coleta de dados preliminares das áreas urbanas afetadas da forma tradicional, englobando a avaliação dos registros das vazões e dos níveis do Rio Taquari-Antas nas réguas, linígrafos automáticos e estações fluviométricas, marcação *in loco* dos locais atingidos pelo pico das inundações com Sistema de Posicionamento Global (*Global Positioning System - GPS*), realização de fotografias com drone, busca e interpretação de imagens de satélite orbitais após haver a dissipação das camadas de nuvens, entre outras estratégias para reunir informações regionais detalhadas sobre a mancha de inundação. Em seguida, a comunidade local da BHTA foi convidada para contribuir com informações adicionais das inundações e enxurradas através de um canal de comunicação, via um número de *WhatsApp*, sediado na UFRGS, instituição que concentrou o recebimento e a catalogação das contribuições cidadãs.

A comunidade regional do Vale do Taquari foi convidada e orientada a participar da iniciativa de ciência cidadã em desastres hidrológicos com as informações constantes abaixo, que foram divulgadas nos canais de comunicação institucional das universidades, como site e redes sociais (UNIVATES, 2023; Moraes *et al*, 2024b, UNIVATES, 2024a) e impulsionadas pelos veículos de comunicação da região. Importante destacar que em função da magnitude e abrangência ainda maior dos desastres hidrológicos de maio de 2024, as ações de ciência cidadã foram

ampliadas para todo estado do Rio Grande do Sul, com a participação de outras universidades e instituições, incluindo além das inundações, temas de saneamento e de deslizamentos.

As pessoas foram convidadas a participar através de vídeos e comunicações por redes sociais, e receberam um conjunto de instruções, reproduzidas a seguir:

1 - Caminhe com o celular pela rua ou terreno aberto até o local em que você sabe que foi o limite máximo da inundação - Desde que seja seguro!
2 - Clique no link wa.me/55XXXXXXXXXX ou adicione o contato do IPH/UFRGS no seu WhatsApp (+55 XX XXXX XXXX).
3 - Na conversa, clique no ícone de clipe e escolha "Localização", e em seguida "Localização Atual".
4 - Compartilhe a foto do local clicando no clipe e escolhendo a opção "Câmera", e em seguida tirando uma foto do local atingido.
5 - Fique à vontade para mandar mais informações como data e hora da ocorrência ou qualquer outro detalhe adicional.
6 - Pronto! Você contribuiu para o Mapa Cidadão!

Foi produzido um vídeo de curta duração pelos autores, disponível em https://bit.ly/3EHyrWb, com as principais orientações operacionais para que a comunidade local pudesse participar da iniciativa de ciência cidadã para contribuir com o mapeamento da mancha das inundações de setembro de 2023 e de maio de 2024 e auxiliar no mapeamento das áreas afetadas pelas enxurradas e inundações. A coleta de informações da iniciativa de ciência cidadã de 2023 iniciou em 05 de setembro de 2023 e finalizou em 10 de novembro de 2023, já a campanha de 2024 iniciou em 05 de maio e finalizou em 03 de junho de 2024.

Conforme orientado, os moradores das áreas atingidas pelas enxurradas e inundações de setembro de 2023 e maio de 2024, e outras pessoas participantes, enviaram 626 localizações relacionadas com a inundação de setembro de 2023 e 196 localizações de inundações e deslizamentos de maio de 2024 na BHTA, pelo aplicativo *WhatsApp*, conectado à internet, a partir dos *smartphones* individuais. Além da localização, alguns participantes enviaram fotografias e descrições complementares dos locais alcançados pelas inundações/enxurradas e em 2024 foram enviados dados também de registros de deslizamentos.

As localizações georreferenciadas foram recebidas pela equipe do IPH-UFRGS, convertidas em coordenadas Lat-Long e sistema geodésico de referência Sirgas2000, sendo realizada uma análise de consistência e validação preliminar se o dado representava o limite do pico da inundação. Essa análise foi aplicada a partir da integração das localizações recebidas com um mapeamento preliminar das manchas de inundações desenvolvidas através de sensoriamento remoto e

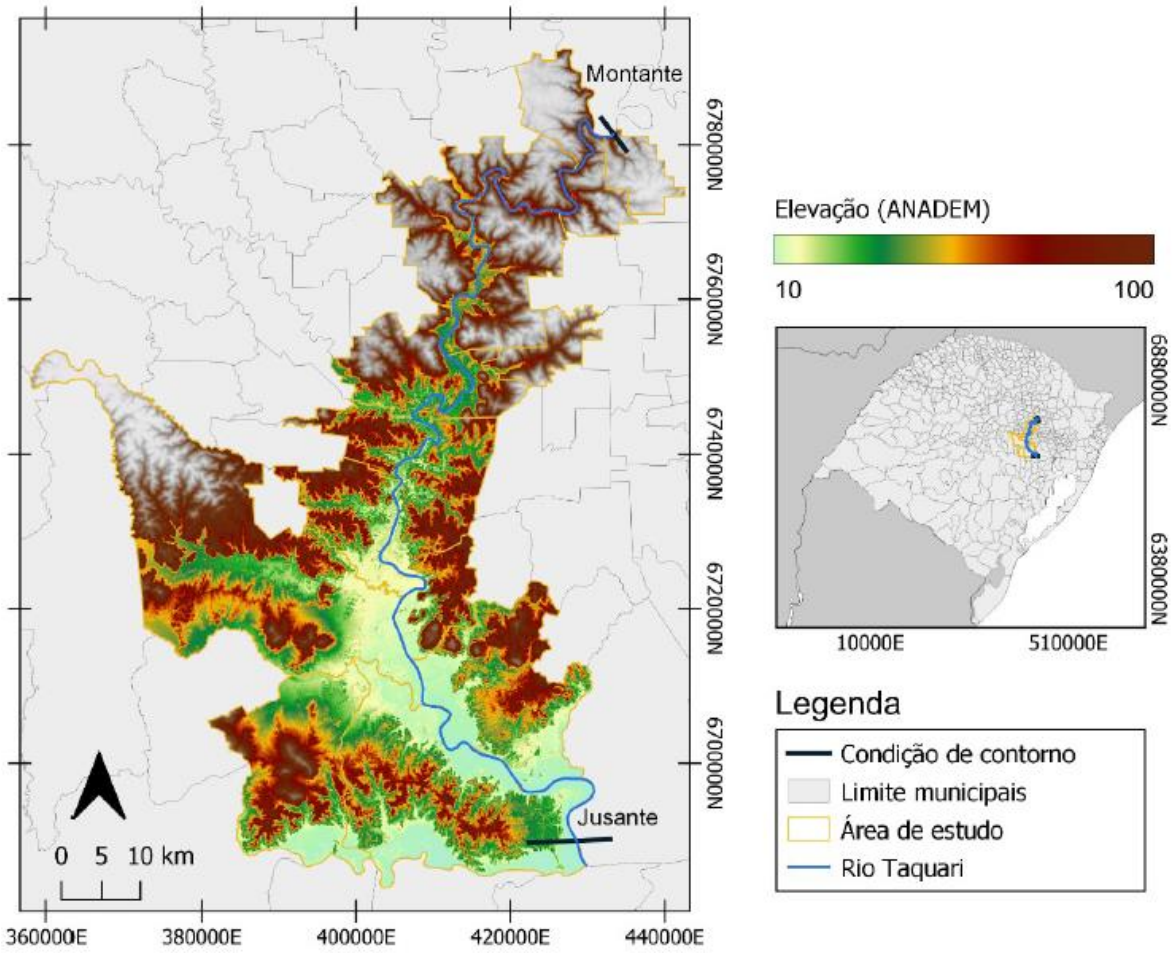
geoprocessamento. Na sequência, as localizações mantidas como válidas foram unificadas em um único arquivo da inundação de setembro de 2023 e outro arquivo digital da inundação de maio de 2024, ambos em formato *shape* e *kml*.

Modelagem das Manchas das Inundações

A segunda etapa metodológica envolveu realizar a organização, calibração, modelagem e simulação hidrológica e hidrodinâmica dos desastres hidrológicos de setembro de 2023 e de maio de 2024, com foco na geração das manchas regionais dessas enxurradas e inundações, incorporando as informações coletadas pela participação cidadã, para validar e melhorar a qualidade dessas manchas de inundações. As simulações foram realizadas através do *software* de modelagem hidrodinâmica HEC-RAS (versão 6.4.1), considerando o trecho compreendido entre Muçum (montante) até Taquari (jusante), municípios do Vale do Taquari. Para a representação do relevo, foram utilizados dados de elevação do Modelo Digital do Terreno (MDT) ANADEM (versão 0.18), com resolução espacial de 30 metros (Figura 10).

A modelagem no HEC-RAS foi realizada através de simulação bidimensional (2D), em regime de escoamento não permanente, considerando como condições de contorno de montante os dados de vazão resultante da regionalização das medições no intervalo de 15 minutos obtidas pela estação fluviométrica Linha José Júlio (86472000), entre os dias 1º e 10 de setembro de 2023. A regionalização da vazão foi realizada para melhor representação do evento de cheia na bacia, considerando a relação linear entre a área de drenagem da estação 86472000 e a da estação fluviométrica localizada no município de Muçum (86510000). Como condição de contorno de jusante foi considerada a declividade da linha da água de 50 cm por metro (Leipelt *et al*., 2023). Para o coeficiente de Manning, foi adotado valor único de 0.045 ao longo de todo o trecho do rio simulado, indicado para essa região (Giordani *et al*. 2021). Foi adotada resolução espacial de 20 metros para o canal principal do Rio Taquari e 200 metros para as áreas de planície da área simulada.

Figura 10 - Modelagem hidrodinâmica das enxurradas e inundações de setembro de 2023 e maio de 2024 na BHTA no HEC-RAS.



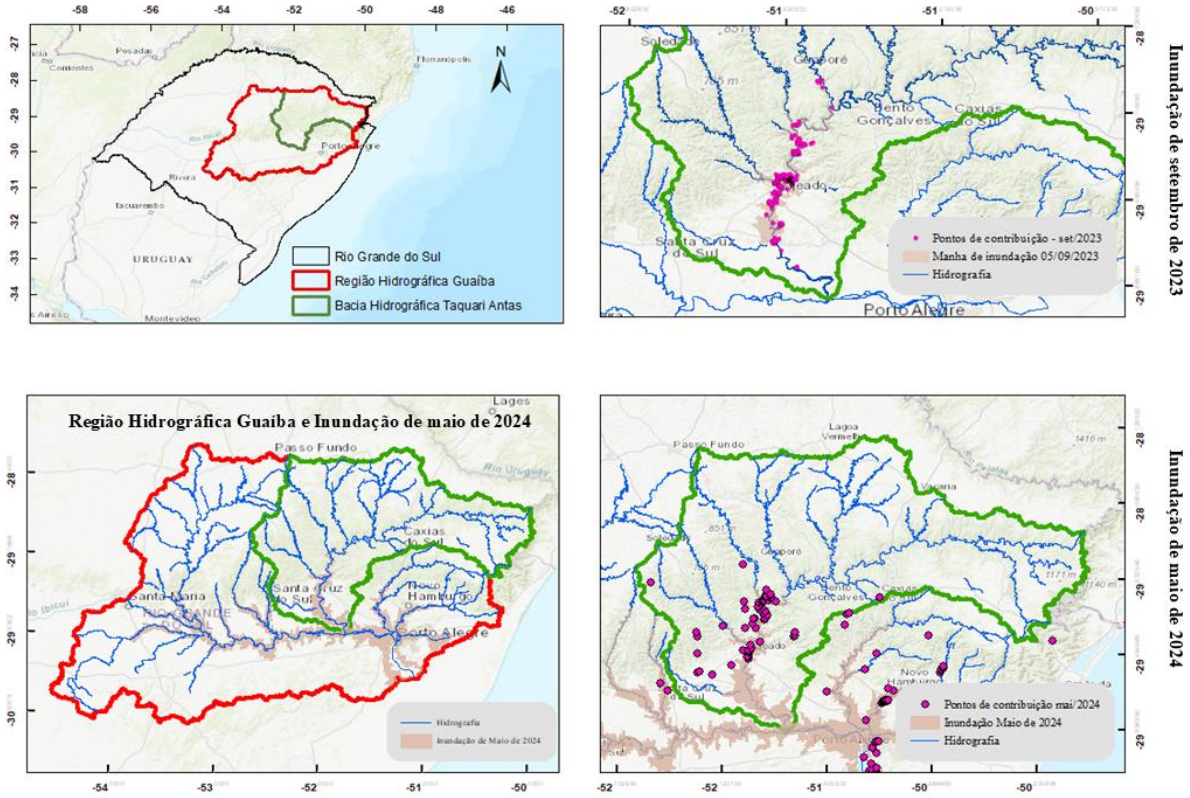
Fonte: dos autores

A calibração das manchas simuladas das inundações de setembro de 2023 e de maio de 2024 foi realizada a partir da comparação visual dos resultados da simulação hidrodinâmica com os dados do alcance máximo da água do Rio Taquari nas duas cheias nos principais municípios atingidos do Vale do Taquari, sendo esses: Santa Teresa, Muçum, Encantado, Roca Sales, Arroio do Meio, Colinas, Lajeado, Estrela, Cruzeiro do Sul, Bom Retiro do Sul, Venâncio Aires e Taquari. Para isso, além das informações coletadas *in loco* pelos autores pesquisadores, foram utilizadas as 626 coordenadas de marcação do pico da inundação de 2023 e 196 de 2024 enviadas pela iniciativa da ciência cidadã no canal de comunicação disponibilizado, abrangendo informações de 14 municípios do Vale do Taquari. Essa estratégia metodológica melhorou a qualidade da delimitação das manchas das inundações, bem como a avaliação dos impactos sociais, ambientais e econômicos sobre as cidades, infraestruturas públicas e os usos agropecuários.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 11 a seguir apresenta as manchas de inundação de 05 de setembro de 2023 e da inundação de 02 a 05 de maio de 2024 com os respectivos pontos de contribuição de cada uma das campanhas.

Figura 11 – Manchas de inundação de setembro de 2023 e maio de 2024 e pontos de contribuição de dados provenientes das campanhas de ciência cidadã para cada evento hidrológico registrado.



Fonte: dos autores

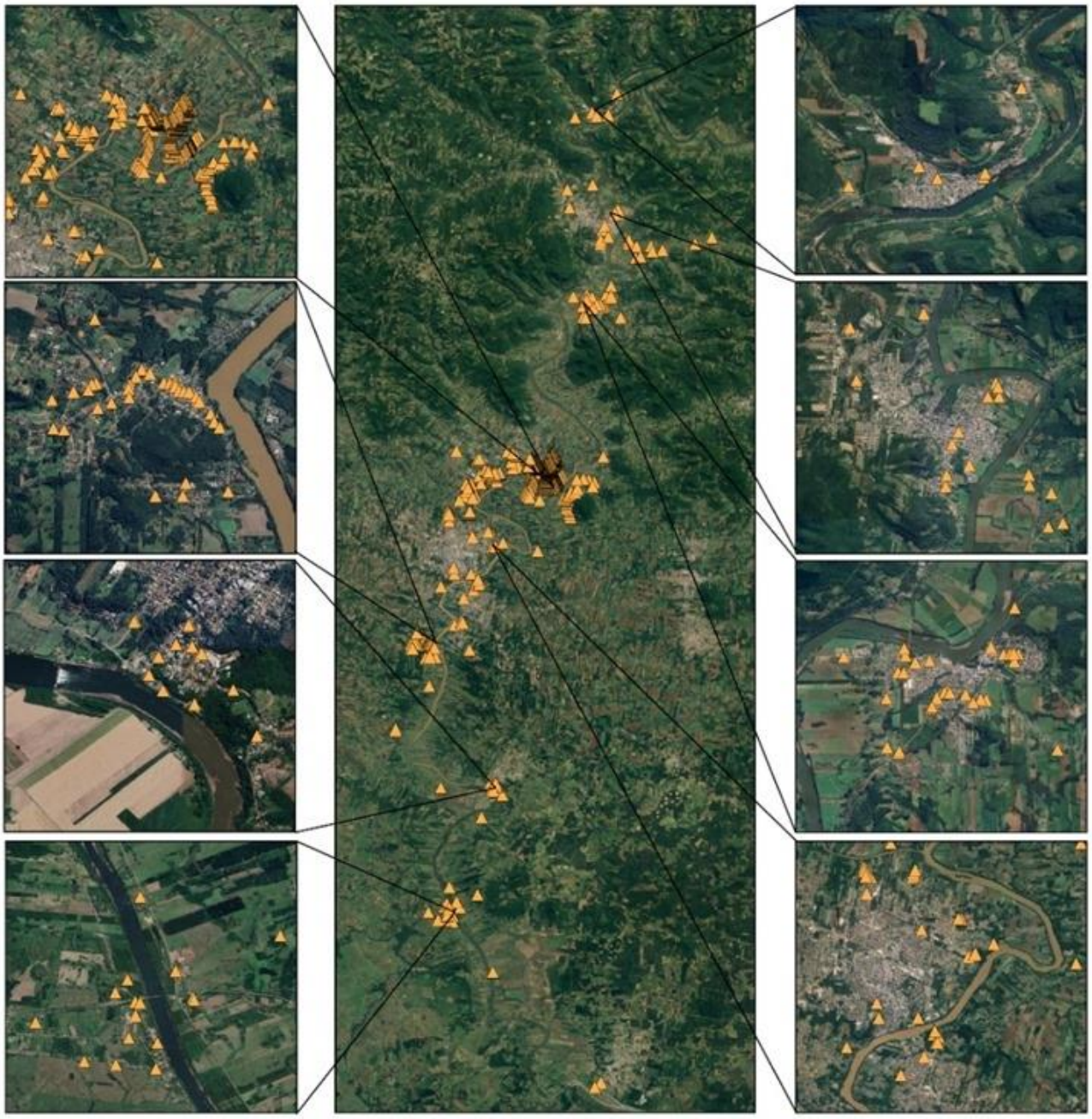
Como primeiro resultado que valoriza a iniciativa da ciência cidadã em desastres hidrológicos, a partir da participação comunitária voluntária do Vale do Taquari, cabe exemplificar como foram recebidas informações da demarcação georreferenciada dos locais atingidos pelas enxurradas e inundações de setembro de 2023 e de maio de 2024 na BHTA (Figura 12), com fotografia do local e informações de nível e descrições complementares. Cabe destacar, que o exemplo a seguir decorre dos pontos observados e enviados em maio de 2024.

Figura 12 - Exemplo da marcação da inundação de maio de 2024 na cidade de Cruzeiro do Sul / RS pela iniciativa da ciência cidadã, com envio da localização georreferenciada por *WhatsApp*, a marcação fidedigna do nível máximo da inundação com esmalte na linha máxima dos sedimentos e aferição do nível da inundação com trena até o nível do solo

Fonte: dos autores

Um segundo resultado diretamente correlacionado com a iniciativa da ciência cidadã em desastres hidrológicos é a espacialização das localizações enviadas pela população sobre imagens de satélite de observação da Terra (Figura 13), principalmente sobre aquelas registradas após as inundações de setembro de 2023, considerando que elas mantêm evidentes as marcas e cicatrizes das passagens das enxurradas e das inundações pelas áreas afetadas.

Figura 13 - Espacialização georreferenciada das 626 marcações do nível máximo da inundação de setembro de 2023, registradas pela participação cidadã, no trecho do Rio Taquari localizado entre as cidades de Muçum (montante) e Taquari (Jusante).

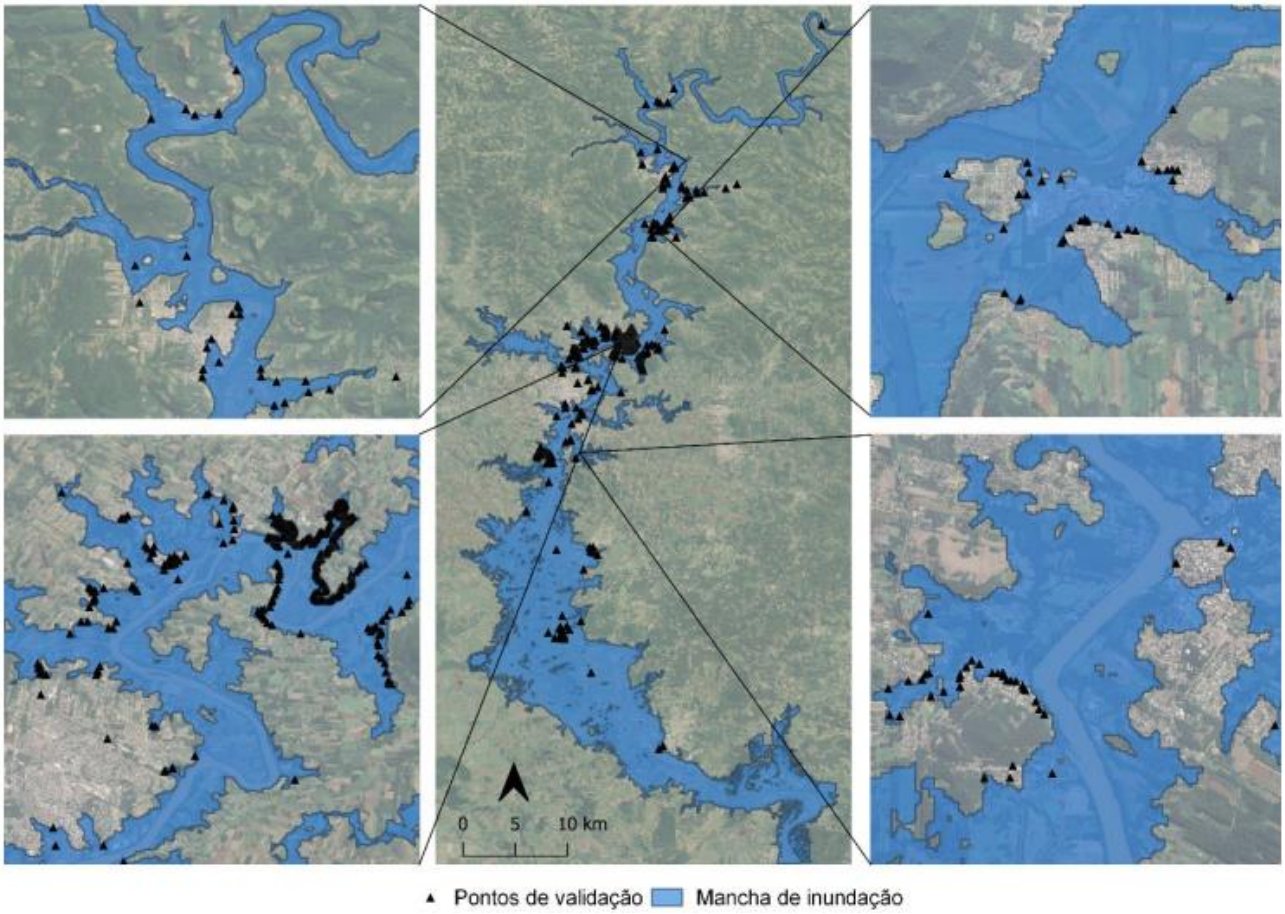


Fonte: LAIPELT *et al*, 2023

Os pontos georreferenciados do nível máximo das enxurradas e inundações de setembro de 2023 e de maio de 2024, coletados em campo e enviados pela iniciativa da ciência cidadã, foram utilizados na etapa de validação das manchas regionais das inundações, geradas a partir da simulação hidrodinâmica no HEC-RAS (Figura 14). Observa-se que há heterogeneidade na

densidade de pontos na distribuição espacial dos pontos de validação, com regiões apresentando maior número de pontos coletados.

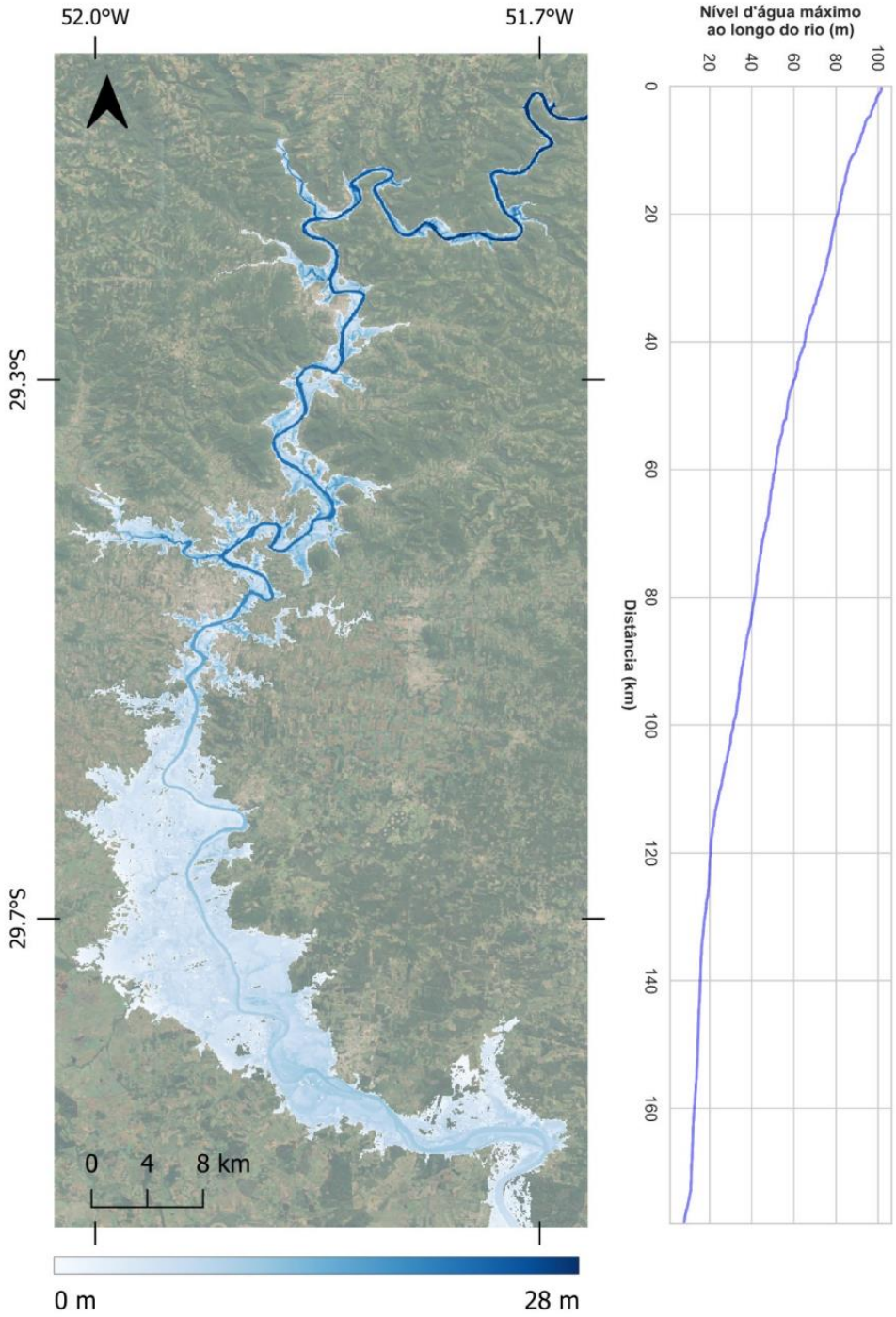
Figura 14 - Comparação entre os pontos coletados em campo pelos colaboradores voluntários da iniciativa da ciência cidadã com a mancha regional de inundação, gerada com o HEC-RAS para o desastre hidrológico de setembro de 2023, no trecho localizado entre as cidades de Muçum (montante) e Taquari (jusante), no Vale do Taquari.



Fonte: LAIPELT *et al*, 2023

A integração dos pontos de campo com a mancha regional da inundação, gerada através da simulação hidrodinâmica para o evento de setembro de 2023, evidencia uma correlação satisfatória para a maioria dos pontos enviados por diferentes colaboradores da iniciativa da ciência cidadã, indicando a viabilidade de utilizar os dados coletados pela participação cidadã no mapeamento e validação das manchas de inundação. A Figura 15 apresenta a mancha regional da enxurrada e inundação de setembro de 2023 no Vale do Taquari, simulada através do *software* de modelagem hidrodinâmica HEC-RAS e o do perfil altimétrico do nível máximo da água do Rio Taquari.

Figura 15 - Mancha regional da enxurrada e inundação de setembro de 2023 no Vale do Taquari, simulada com o HEC-RAS, acompanhada do perfil altimétrico do nível máximo da água do Rio Taquari.



Fonte: LAIPELT *et al*, 2023

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Além de melhorar a qualidade da calibração do HEC-RAS e, de forma consecutiva, a qualidade da mancha regional das inundações, os dados recebidos a partir da iniciativa da ciência cidadã permitem retornar aos locais demarcados para incluir marcações físicas e sinalizações de

risco, favorecendo a manutenção de uma memória dos locais atingidos e favorecer a realização da aferição precisa das cotas altimétricas do terreno, e entender o comportamento e a variação vertical do Rio Taquari nas inundações de setembro de 2023 e de maio de 2024, documentadas como os maiores desastres hidrológicos da história do Rio Grande do Sul.

A partir da comparação dos registros dos níveis das enchentes e das inundações observadas nas estações linimétricas e fluviométricas instaladas na BHTA desde 1939, principalmente no Rio Taquari, documentados e disponíveis no portal do Hidroweb, com as marcações recebidas pela iniciativa da ciência cidadã, com os levantamentos realizados no presente trabalho a partir de dados secundários e levantamentos *in loco* de marcações dos níveis máximos de inundações em pilares e paredes, tendo como referência a seção transversal do Rio Taquari no Porto Fluvial de Estrela e o centro da cidade de Lajeado, é possível concluir que a inundação de 05 de setembro de 2023 superou a cheia histórica de 05 de maio de 1941[1], com uma diferença de 51 cm (Moraes *et al*, 2024a).

Já o evento hidrológico extremo de maio de 2024 na BHTA, ampliado para um cenário de desastre ambiental e de calamidade pública em quase todo o estado do RS, resultou em deslizamentos, enxurradas e inundações com magnitudes nunca antes observadas e registradas no Rio Grande do Sul. Na cidade de Lajeado, a inundação de 02 de maio de 2024 foi 4,13 metros maior que o evento ocorrido em setembro de 2023. A partir do nível normal de referência do Rio Taquari em Lajeado (13,00 m), ou seja, houve uma variação vertical de 20,66 metros do nível da água até o pico da inundação (33,667 m), o que explica o cenário de destruição da infraestrutura pública, habitacional, comercial, industrial, agropecuária e ambiental observada.

A idealização, desenvolvimento, articulação e impulsionamento da iniciativa de ciência cidadã em desastres hidrológicos estimularam a participação de dezenas de voluntários da sociedade, muitos inclusive afetados ou atingidos pelas inundações e enxurradas, que marcaram e enviaram centenas de marcadores, que representam locais atingidos pela extensão máxima do nível de pico das enxurradas e inundações de setembro de 2023 e de maio de 2024. A iniciativa também aproximou a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), por intermédio do Instituto de

[1] A enchente de 1941 é tida, popularmente, com a maior cheia da região do Vale do Taquari, sendo ainda mais relevante no imaginário social da região metropolitana de Porto Alegre. Um outro evento de inundação, ocorrido em 1873, é indicado como potencialmente superior à cheia de 1941 no Vale do Taquari. Esse evento de inundação de 1873 ainda deverá ser estudado por uma equipe do IPH/UFRGS e da UNIVATES. O evento de setembro de 2023 acabou sendo aferido como uma cheia superior à de 1941. Por sua vez, a inundação de maio de 2024, ocasionado por chuvas recordes nas áreas de cabeceiras dos principais rios da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas, acabou superando em vários metros as cheias de 2023, 1941 e, provavelmente, de 1873.

Pesquisas Hidráulicas (IPH) com a Universidade do Vale do Taquari (UNIVATES) em 2023, veículos de comunicação e a imprensa, ampliada para outras muitas outras entidades e universidades em 2024.

A modelagem hidrológica e hidrodinâmica colaborativa realizada pelos pesquisadores da UFRGS e UNIVATES, direcionada à geração das manchas de inundação das cheias de setembro de 2023 e de maio de 2024, com a participação ativa da comunidade, proporcionou uma compreensão mais fidedigna da abrangência espacial dessas inundações nos municípios do Vale do Taquari. A utilização do *software* HEC-RAS, com a calibração da modelagem e da simulação com os dados oriundos das atividades da ciência cidadã, demonstrou a eficácia dessa abordagem para o mapeamento de desastres naturais, uma realidade que deverá ser mais frequente no Rio Grande do Sul a partir da atual realidade climática que se coloca para o Estado. As manchas de cheia geradas em 2023 foram utilizadas por órgãos do poder público, defesa civil, corpo de bombeiros, comunidade e academia, servindo como referência de localização de suscetibilidade para os extremos de maio de 2024 na região da Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas e ampliando sua aplicação outras bacias do Estado em maio de 2024, junto a outras universidades e com resultados significativos também para o registro de áreas com movimentos de massa.

Os resultados do presente estudo são importantes para o planejamento regional, o planejamento urbano, a gestão de desastres naturais e a promoção de uma cultura de prevenção. Outros estudos são necessários para gerar informações sobre as causas das enxurradas, das inundações e dos deslizamentos, o comportamento desses fenômenos, as consequências dos eventos, explorar novas metodologias de mapeamento, aprimorar os modelos hidrológicos e hidrodinâmicos, definir novas estratégias de ocupação urbana, incluindo medidas de desocupação das áreas atingidas, medidas de reacomodação da população atingida, medidas de restabelecimento, sempre havendo potencial para a participação social e cidadã.

Por fim, a perspectiva de estudos futuros das aplicações de ciência cidadã em desastres hidrológicos envolve a avaliação dos dados obtidos, bem como avaliações do retorno desses mapeamentos a sociedade e, alternativas de ampliação de ferramentas para a participação cada vez mais efetiva da população como cientistas cidadãos, de forma a aproximar cada vez mais a sociedade e a ciência.

REFERÊNCIAS

ABDO, A. H. *et al*. **Ciência Aberta**, da ciência para todos à ciência com todos │ Open Science, from science for everybody to science with everybody. Liinc em Revista, v. 10, n. 2, 2014.

BRASIL. Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. **Política Nacional de Proteção e Defesa Civil** (PNPDEC). 2012. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12608.htm. Acesso em: 13 maio. 2025

CASTRO, A.L.C. **Glossário de defesa civil estudos de riscos e medicina de desastres**. Ministério do Planejamento e Orçamento, Secretaria Especial de Políticas Regionais, Departamento de Defesa Civil, 1998.

CHEUNG, W.; FELDMAN, D. **Can citizen science promote flood risk communication**?. Water, v. 11, n. 10, p. 1961, 2019

COLLISCHON, W.; FAN, F. M.; POSSANTTI, I.; DORNELLES, F.; PAIVA, R.; MEDEIROS, M. S.; MICHEL, G. P.; MAGALHÃES FILHO, F. J. C.; MORAES, S. R.; MARCUZZO, F. F. N.; MICHEL, R. D. L.; BESKOW, T. L. C.; BESKOW, S.; FERNANDES, E. H. L.; SANTOS, L. L. dos; RUHOFF, A.; KOBIYAMA, M.; COLLARES, G. L.; BUFFON, F.; DUARTE, E.; LIMA, S.; MEIRELLES, F. S. C.; PICCILLI, D. G. A**. The exceptional hydrological disaster of April-May 2024 in southern Brazil.** *RBRH,* Porto Alegre, v. 30, n.1, 2025.

CUNGE, J.A. **On the subject of flood propagation computation method (Muskingum method**). Journal of Hydraulic Research, v. 7, n. 2, p. 205-230, 1969.

DEFESA CIVIL RS. **Defesa Civil atualiza balanço das enchentes no RS** – 20/8/24. Porto Alegre: Defesa Civil RS, 2024 Disponível em: https://www.defesacivil.rs.gov.br/defesa-civil-atualiza-balanco-das-enchentes-no-rs-10-7-66b67813ba21f-66c4eed627af9

ERVIN, G.N.; HARTTER, J. **Landscape and Livelihoods**: Co-Evolving with Social and Ecological Systems in East Africa. Landscape and Urban Planning, 2020, 197, 103766. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.103766

FAGUNDES, M.R.; KOBIYAMA, M.; FAN, F.M.; CREECH, C.; VANELLI, F.M. Hydrological forecasting with HEC-RTS: Case study of Boi River trail, southern Brazil. In: MAGNORI JÚNIOR, L.; MAGNORI, M.G.M.; CABRAL, M.; TORRES, M.M.; CASTRO, C.E.; LONDE, L.R.; SERRANO-NOTIVOLI, R.; FIGUEIREDO, W.S.; BARBOSA, H.A.; PRIETO, J.I. (orgs.) **Ensino de geografia e a redução do risco de desastres em espaços urbanos e rurais.** 1. ed. São Paulo: Centro Paula Souza, 2022. p.602-624.

FERREIRA, E. R.; BOTH, G. C. **Estudo das enchentes no Vale do Taquari**: causas e propostas de controle. In: MEEP, 4. Lajeado. Anais... Lajeado: UNIVATES, 2001. 171 p.

FERRI, G.; TOGNI, A. C. **A história da bacia hidrográfica Taquari-Antas**. Lajeado: Ed. da Univates, 2012.

FRANK, B.; SEVEGNANI, L.; TOMASELLI, C.C. **Desastre de 2008 no Vale do Itajaí**: água, gente e política. Blumenau: Agência de Água do Vale do Itajaí, 2009.

GEOPIZZA. Imagens antes e depois das enxurradas e inundações de maio de 2024. Disponível em https://www.instagram.com/p/C6hbOedvT07/?igsh=MW41bDVxeXBnZ2twdg%3D%3D&img_index=1 . Acesso em: 13 maio. 2025

GIORDANI, B. **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.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Hídrica), Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS, Porto Alegre, 2021.

GUASSELLI, L. A., DE OLIVEIRA, G. G., QUEVEDO, R. P., BRUBACHER, J. P. **Modelagem hidrológica e espacialização de áreas suscetíveis às inundações no município de Igrejinha, RS**. Geo Uerj, (28), 2016, 353-380.

HICKS, A., BARCLAY, J., CHILVERS, J., ARMIJOS, M. T., OVEN, K., SIMMONS, P., HAKLAY, M. **Global mapping of citizen science projects for disaster risk reduction**. Frontiers in Earth Science, 7, 2019, 226.

KOBIYAMA, M.; VANELLI, F. M.; MOREIRA, L. L.; MENEZES, D.; GODOY, J. V. Z. **Aplicação de Hidrologia na Gestão de Riscos e de Desastres Hidrológicos**. In: CASTRO, D. (org.). Ciclo das Águas na bacia hidrográfica do rio Tramandaí. Porto Alegre, RS: Sapiens, 2019. 135 - 140. Disponível em: https://www.ufrgs.br/gpden/wordpress/wp-content/uploads/2020/07/Kobiyama-et-al-2019-cap%C3%ADtulo-livro-Hidrologia-para-redu%C3%A7%C3%A3o-de-desastres.pdf. Acesso em: 13 maio. 2025

KOCAMAN, S., ANBAROGLU, B., GOKCEOGLU, C., ALTAN, O. **A review on citizen science (CitSci) applications for disaster management**. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2018, 42, 301-306.

LAFUENTE, A.; ANDONI, A.; RODRIGUES, J. **Todos sábios**! Madrid: Ediciones Cátedra, 2013.

LAIPELT, *et al*. **Mancha de inundação ocasionada pela cheia do Rio Taquari-Antas** (Set 2023) via simulação hidrodinâmica. Porto Alegre, 2023. Nota técnica. Disponível em: https://www.ufrgs.br/hge/wp-content/uploads/2023/12/Nota-Tecnica-Simulacao-da-mancha-de-inundacao-Rio-Taquari-Antas2.pdf. Acesso em: 13 maio. 2025

LAMBIN, E. F.; MEYFROIDT, P. **Land use transitions**: Socio-ecological feedback versus socio-economic change. Land Use Policy, 27(2), 2010, 108-118. doi: 10.1016/j.landusepol.2009.09.003

MARCHEZINI, V., TRAJBER, R., OLIVATO, D., MUNOZ, V. A., DE OLIVEIRA PEREIRA, F., OLIVEIRA LUZ, A. E. **Participatory early warning systems**: Youth, citizen science, and intergenerational dialogues on disaster risk reduction in Brazil. International Journal of Disaster Risk Science, 8(4), 2017, 390-401.

MCCARTHY, G.T. **The unit hydrograph and flood routing**. Proc. Conf. of North Atlantic Division, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC. 57p., 1938.

MERZ B. *et al*. **Causes, impacts and patterns of disastrous river floods**. Nature Reviews Earth & Environment, v. 2, n. 9, p. 592-609, 2021.

MORAES, S. R.; COLLISCHONN, W; BUFFON, F. T.; ECKHARDT, R. R. **Revisão e consolidação da série histórica dos níveis das cheias do Rio Taquari em Lajeado de 1939 a 2023**. Porto Alegre, 2024. Nota técnica. Disponível em: www.bibliotecadigital.ufrgs.br/da.php?nrb=001199403&loc=2024&l=7818d897802ef3c6. Acesso em: 13 maio. 2025.

MORAES, S. R. WENDT, L. G.; COLLISCHONN, W; FAN, F. M.; MICHEL, G. P. **Ciência cidadã em contexto de desastres naturais**. Porto Alegre, Jornal da UFRGS, 2024. Disponível em: https://www.ufrgs.br/jornal/ciencia-cidada-em-contexto-de-desastres-naturais/. Acesso em: 13 maio. 2025.

NAHUZ, L. S. **Ciência Cidadã como Coprodução do Conhecimento Científico**. Páginas a&b: arquivos e bibliotecas, p. 218-220, 2021.

OLIVEIRA, G.G. **Modelos para Previsão, Espacialização e Análise das Áreas Inundáveis na Bacia Hidrográfica do Rio Caí, RS**. Porto Alegre, 2010. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

OLIVEIRA, G. G.; ECKHARDT, R. R.; HAETINGER, C.; ALVES, A. **Mapeamento e caracterização das áreas suscetíveis a inundações e enxurradas na bacia hidrográfica do Rio Taquari-Antas**. São Paulo, UNESP, Geociências, v. 37, n. 2, p. 437 - 453, 2018.

PARRA, H. Z. M. **Ciência cidadã**: modos de participação e ativismo informacional. Ciência aberta, questões abertas, 2015.

RBCC. **Marcos e princípios norteadores da atuação da RBCC.** 2021. Disponível em: https://sites.usp.br/rbcienciacidada/wp-content/uploads/sites/852/2021/10/Documento-norteador-do-sistema-de-Governanca-da-RBCC.pdf. Acesso em: 23 fev. 2024.

RIO GRANDE DO SUL. **Maior Catástrofe Climática do RS (Plano Rio Grande)**: abril-maio de 2024. Porto Alegre: Governo do Estado, 2024.

RUMENOS, N. N. *et al*. **Ciência cidadã no Brasil**: caracterização da produção acadêmica. Observatório de la Economía Latinoamericana, v. 21, n. 10, p. 14592-14608, 2023.

SCS. **Urban Hydrology for Small Watersheds**. Washington. U.S. Dept. Agr. (Technical Release. n. 5 5), 1975.

SEE, L. **A review of citizen science and crowdsourcing in applications of pluvial flooding**. Frontiers in Earth Science, v. 7, p. 44, 2019.

SILVERTOWN, J. **A new dawn for citizen science. Trends in ecology & evolution**, v. 24, n. 9, p. 467-471, 2009.

SIRANGELO, F. R. **Relação entre a ocorrência de inundações e enxurradas e os índices morfométricos das sub-bacias hidrográficas da Região Hidrográfica do Guaíba, Rio Grande do Sul, Brasil**. Porto Alegre, 2014. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto), Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

SHIRK, J. L. *et al*. **Public participation in scientific research**: a framework for deliberate design. Ecology and society, v. 17, n. 2, 2012.

SOCIENTIZE CONSORTIUM. **Green Paper on Citizen Science**. [S.l.] European Commission, 2013. Disponível em: https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/green-paper-citizen-science - europe-towards-society-empowered-citizens-and-enhanced-research. Acesso em: 13 maio. 2025.

STARKEY, E.; PARKIN, G.;BIRKINSHAW, S.; LARGE, A.; QUINN, P.; GIBSON, C. Demonstrating the value of community-based (‘citizen science’) observations for catchment modelling and characterization. **Journal of Hydrology**, v.548, p.801–817, 2017.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. Ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2014. 943 p.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. (ORG.) **Inundações Urbanas da América do Sul**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003. 471p.

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. de. **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1995. 428 p. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos).

UNESCO – United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. **IHP-IX: Strategic Plan of the Intergovernmental Hydrological Programme: Science for a Water Secure World in a Changing Environment, ninth phase 2022-2029.** Paris: UNESCO, 2022. 51p. Disponível em: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000381318 Acesso em: 20 dez. 2023.

UNIVATES. **Universidades mobilizam a comunidade para mapear os impactos da enchente no Rio Taquari**. 2023. Disponível em: https://www.univates.br/noticia/34237-universidades-mobilizam-a-comunidade-para-mapear-os-impactos-da-enchente-no-rio-taquari. Acesso em: 13 maio. 2025.

UNIVATES. **Universidades convocam comunidade para mapear os impactos dos eventos climáticos recentes no Rio Grande do Sul**. 07/05;2024. Disponível em: https://www.univates.br/noticia-new/35095-universidades-convocam-comunidade-para-mapear-os-impactos-dos-eventos-climaticos-recentes-no-rio-grande-do-sul. Acesso em: 13 maio. 2025.

UNIVATES. **Mapeamento cidadão é ampliado e passa a contar com identificação de pontos com problemas de saneamento.** 17/06/2024. Disponível em: https://www.univates.br/noticia-new/35207-mapeamento-cidadao-e-ampliado-e-passa-a-contar-com-identificacao-de-pontos-com-problemas-de-saneamento. Acesso em: 13 maio. 2025.

USACE-HEC. **River Analysis System, HEC-RAS v5.0 – User’s Manual.** US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center. 2016. 960 p.

WILLNER, S. N.; OTTO, C.; LEVERMANN, A. **Global economic response to river floods**. Nature Climate Change, v. 8, n. 7, p. 594-598, 2018.

WOLFF, E. *et al*. **Collaborating with communities**: Citizen science flood monitoring in urban informal settlements. arXiv preprint arXiv:2112.07128, 2021.

VOHLAND, K. *et al*. **The science of citizen science**. Springer Nature, 2021.

DOI: 10.5281/zenodo.16379908
Recebido em: 14/05/2025
Aceito em: 16/06/2025