

XXIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

RECONSTRUÇÃO DE INUNDAÇÕES URBANAS POR SENSORIAMENTO PARTICIPATIVO: UMA PROPOSTA DIDÁTICO-METODOLÓGICA

José Artur Teixeira Brasil¹; Marcos Roberto Benso¹; Ana Carolina Sarmiento Buarque¹; Gabriel Marinho e Silva¹; Cesar Ambrogi Ferreira do Lago¹; Jullian Souza Sone¹; Luis Eduardo Bertotto¹; Eduardo Mario Mendiondo¹

RESUMO

Gestão de desastres hídricos requer dados hidrológicos para elaboração de planos de redução de riscos. Entretanto, escassez de dados em locais com ausência de coleta sistemática pode comprometer estas estratégias contra cheias. A observação das condições hidráulicas e hidrológicas pelos cidadãos locais pode ser utilizadas como dados por especialistas nestes locais e auxiliar tomadas de decisão. Este estudo propõe uma metodologia para se estimar altura da lâmina e velocidade d'água através de observações feitas por indivíduos leigos, que consiste em três etapas. Primeiramente, imagens de canais em diferentes condições hidráulicas são obtidas. Estas imagens são, então, distribuídas para diferentes pares de observadores. Por fim, as informações visuais das imagens são convertidas em nível e velocidade d'água e pelos pares. Estes dados poderão ser auxiliar gestores na elaboração de medidas mitigadoras contra inundações e aprimorar sistemas de alerta.

Palavras-Chave – Ciência cidadã. Humanos como sensores. Aprendizado baseado em projetos.

ABSTRACT – Water management requires hydrological data to develop plans of disaster risk reduction. However, scarcity of data in places with a lack of systematic monitoring can compromise these flood strategies. Citizen observations of hydraulic and hydrological conditions can be used as data by specialists to assist decision making. This study proposes a methodology to estimate water depth and velocity through observations made by lay individuals, which consists of three steps. First, images of channels under different hydraulic conditions are collected. These images are then distributed to different peers of observers. Finally, the visual information is converted into water level and speed and by the peers. This data can help managers to develop flood mitigation strategies and improve warning systems.

Keywords – Citizen science. Humans as sensors. Problem based learning.

INTRODUÇÃO E OBJETIVO

As paisagens das cidades brasileiras têm sofrido alterações devido ao aumento acelerado e desordenado da densidade populacional. O uso e ocupação em áreas próximas aos rios urbanos causam a impermeabilização do solo, desencadeando eventos extremos de enchentes (Tavares et al., 2018). As mudanças climáticas aumentam a intensidade e frequência de eventos extremos de precipitação, que elevam o risco de enchente e magnitude de danos ambientais, sociais e econômicos (Song et al., 2019). Dessa maneira, o monitoramento de áreas propensas à enchente se torna fundamental para mitigação de danos e formulação de políticas públicas. A rede de monitoramento de desastres, como os causados por extremos de precipitação, é desigual e heterogênea ao longo das

1) Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. Departamento de Hidráulica e Saneamento. Av. Trabalhador São-carlense, 400 CP 359 São Carlos, SP CEP 13566-590.

proporções continentais do Brasil. Com isso, o sensoriamento participativo é uma alternativa com potencial para regiões sem ou com pouco monitoramento.

O sensoriamento participativo foi introduzido por Burke et al. (2006) e enfatiza a participação explícita dos usuários de dispositivos móveis, como os celulares. Esse conceito se utiliza dos dispositivos móveis do dia a dia para formar uma rede de sensores interativos e participativos que possibilite às pessoas coletarem, analisarem e compartilhem informações locais. Estudos recentes mostram que o sensoriamento participativo tem alto potencial em estudos de engenharia, principalmente em análises de risco hidrológico (Paul et al., 2018; Wang et al., 2018).

A participação da população geral (não-cientistas) na geração de conhecimento, referida como ciência cidadã (Buytaert et al., 2014), cresce gradualmente em pesquisas científicas e serviços públicos no mundo. Aplicações da ciência cidadã em hidrologia já tem se popularizado e se destacam a utilização de redes sociais (Liu et al., 2011; Uson et al., 2016) e celulares (Le Coz et al., 2016; Rosser et al., 2017) para gerenciamento de risco de enchente e estimativa de vazão. Frente a técnicas tradicionais de monitoramento que exigem o uso de tecnologias mais complexas, como medições de vazão, a ciência cidadã surge, por meio do sensoriamento participativo, como uma alternativa para redução do risco e construção de resiliência no contexto da gestão de desastres (Paul et al., 2018).

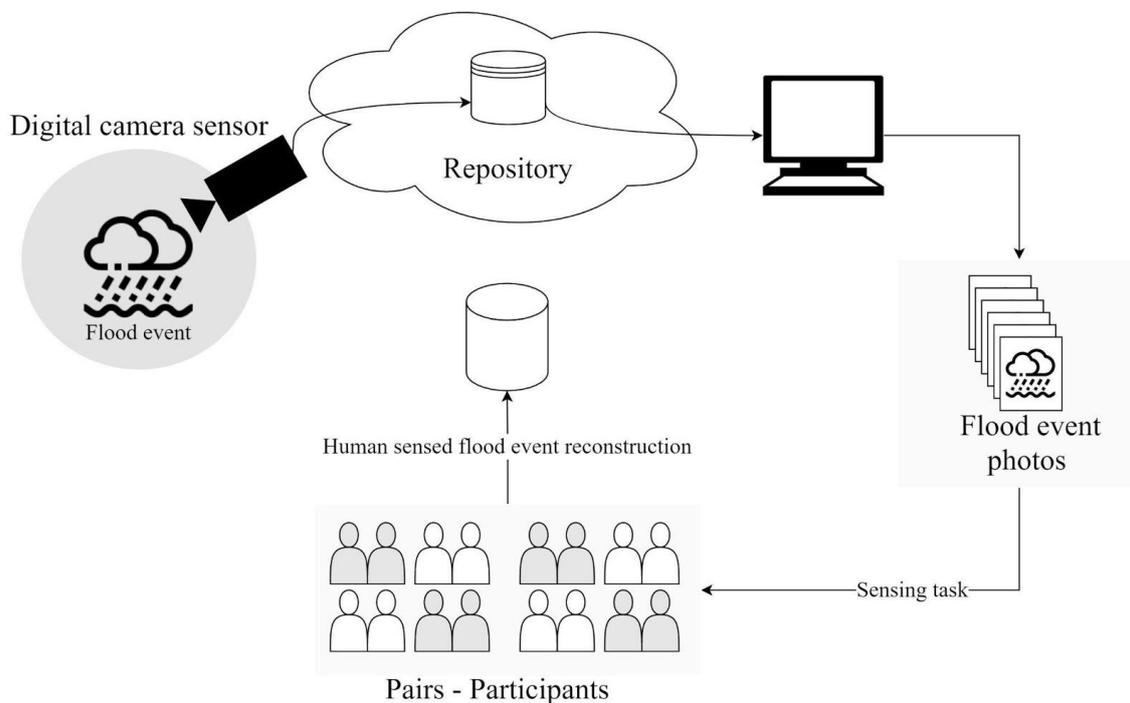
Assim, este trabalho propõe o desenvolvimento de uma metodologia com a finalidade de reconstruir eventos de cheias urbanas através de imagens utilizando de sensoriamento participativo. A metodologia serve como base para uma elaboração conceitual de aplicação, formulação das principais hipóteses relacionadas ao funcionamento do sensoriamento participativo, além de discutir os potenciais usos dessa metodologia.

ABORDAGEM CONCEITUAL

A metodologia adotada nesta proposta de estudo incorpora respostas de usuários na reconstrução de eventos de cheias urbanas por meio de registros fotográficos. A reconstrução dos eventos será analisada conforme a percepção visual da comunidade local: velocidade do canal e altura da lâmina d'água. Nesta abordagem, foi utilizado de umas câmeras fixas apontadas diretamente para canais aplicados no centro urbano da cidade de São Carlos – SP. O uso de câmera fixa é importante para se obter uma padronização de angulação e distância, entretanto, em locais com ausência de tais dispositivos, imagens produzidas pela própria sociedade civil através de dispositivos móveis também podem ser utilizadas para este fim. Um fluxograma conceitual da abordagem pode ser visualizado na Figura 1.

A abordagem consiste em três etapas: (i) a obtenção das imagens, (ii) a distribuição das imagens e (iii) a conversão das informações visuais em nível e consequentemente em vazão. A primeira etapa pode ocorrer tanto por câmera fornecida pelo poder público em localização estratégica com distância e angulação pré-definidas, quanto por imagens fornecidas pela própria comunidade local. Para a segunda etapa, é necessário que o acesso das imagens seja fácil e imediato, por isso uma conexão direta entre as câmeras e um repositório de acesso público é necessário. Esse repositório deve ser centralizado, ou seja, as imagens de diferentes localidades devem ser publicadas no mesmo repositório, além de fazer parte de uma rede colaborativa. Já a terceira etapa deve ser executada pelos participantes da comunidade local, onde através das estimativas empíricas da altura hidrométrica e velocidade média do escoamento de um anal de valores fixos de base b , coeficiente de Manning n será calculado respectivamente a vazão do canal e a velocidade média pela Equação de Manning (Eq. 1-3)

Figura 1 – Fluxograma conceitual e descrição das etapas metodológicas



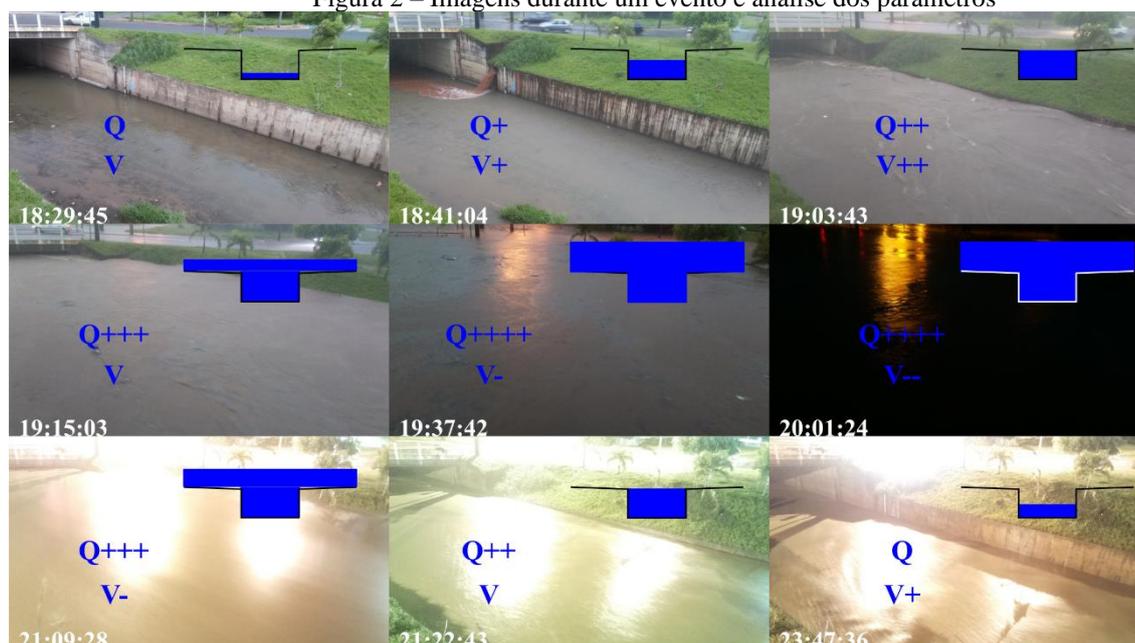
$$Q = vyB \quad (1)$$

$$\frac{V}{Rh} = \frac{S_t^{\frac{1}{2}}}{n} \quad (2)$$

$$Rh = \frac{By}{B + 2y} \quad (3)$$

O produto final desta abordagem metodologia é a obtenção das cotas de inundação de um dado evento por meio da percepção visual dos participantes do experimento. Para casos em que não exista a medição *in loco* para efeitos de comparação com os níveis obtidos, cabe apenas um processo de verificação de plausibilidade. Esta verificação de plausibilidade segue três critérios: (a) definição de marcos referenciais, e.g., altura do canal, altura de pontes caso existam, topografia do local; e (b) considerar inválidos valores fisicamente irreais ou incongruentes entre as estimativas de altura de lâmina d'água e velocidade média do canal. A Figura 2 exemplifica a sequência de imagens de um evento, bem como as variáveis analisadas.

Figura 2 – Imagens durante um evento e análise dos parâmetros



O processo de sensoriamento participativo para reconstrução de eventos de cheias por meio da percepção visual dos usuários requer que sejam estabelecidas hipóteses fundamentadoras do seu funcionamento. Estão resumidas na Tabela 1 três hipóteses fundamentadoras. A primeira hipótese diz respeito aos erros de medição, que é a diferença entre a variável medida e seu real valor. Existem dois tipos de erros de medição, o erro aleatório que é um erro esperado em qualquer tipo de experimento e o erro sistemático que ocorre por má calibração de um instrumento. A primeira hipótese caracteriza o sensoriamento participativo como sujeito aos dois tipos de erros, porém, quando corretamente calibrado, poderá resultar em erros aleatórios que são intrínsecos à medição da grandeza.

A segunda hipótese é dada por uma analogia à teoria ergódica dos sistemas dinâmicos.

A terceira e última hipótese, está relacionada com os erros das estimativas. Assume-se, para fins de validar a exclusão e inclusão de estimativas dos participantes, que os erros de estimativas feitos pela percepção visual tem uma distribuição praticamente uniforme, isto significa que, sua inclusão ou exclusão, não afetam a distribuição dos erros observados.

Tabela 1 – Hipóteses iniciais do trabalho

Hipótese	Descrição
Variância dos erros de medição	As variáveis são assumidas com a possibilidade de um erro de percepção humana que pode estar relacionado ao erro de precisão da própria medição desta grandeza que é da mesma ordem de grandeza de outros métodos de medição: molinete, ADCP.
Ergodicidade	Cada percepção individual pode ser uma realização equiprovável sob hipótese ergódica
Uniformidade dos erros das estimativas	Não pressupomos que os erros estejam distribuídos em um modelo de distribuição, havendo a possibilidade de os erros estarem uniformemente distribuídos. Todos têm o mesmo peso independente do valor da estimativa. Somos uma sub-amostra, pois temos treinamento

POTENCIAIS USOS E BENEFÍCIOS

O sensoriamento participativo desenvolvido com a conceituação apresentada, pode indicar uma relação de ganho mútuo entre a melhoria de infraestrutura e a comunidade local que sofre com desastres hidrológicos. Enquanto a infraestrutura necessita dos dados fornecidos para que a gestão dos recursos seja mais eficiente nas soluções dos problemas, a comunidade local, sendo esta o principal ator do sensoriamento participativo, se beneficia de forma direta com a redução do risco, e de forma indireta através da educação ambiental através da proximidade com os eventos hidrológicos, a percepção da infraestrutura e o entendimento do sistema. Conseqüentemente, a educação ambiental pode provocar a mudança de paradigma da comunidade local, buscando a redução dos impactos ambientais que agravam os problemas relacionados à chuva (e.g. redução de resíduos sólidos dispostos em locais inapropriados).

O monitoramento das variáveis hidrológicas usualmente ocorre através de sensores espacialmente distribuídos coletando dados de diversas variáveis ambientais. Esses sensores necessitam ter características de confiabilidade, previsibilidade e performance adequada além de atingir uma cobertura espaço-temporal adequada (Ragetti *et al.*, 2015). Outro fator importante é referente à manutenção da rede de monitoramento, já que, por se tratar de dispositivos essencialmente eletrônicos e mecânicos, a falta de manutenção pode afetar a qualidade dos dados obtidos, sendo necessárias eventuais correções e adaptações do sistema. Deste modo, a participação da sociedade civil pode auxiliar no aferimento das variáveis hidrológicas, já que a população que habita nas proximidades das estações de monitoramento convive com as conseqüências hidrológicas e podem acompanhar os eventos em tempo real. Assim, o uso de informações obtidas através do sensoriamento participativo pode melhorar o monitoramento já existente.

O acesso a comunicação permite que a comunidade local envie, além dos dados de velocidade e profundidade do canal, informações importantes, tais quais imagens, dia e hora e a localização precisa dos eventos hidrológicos. Esses dados coletados podem ser utilizados como fonte de uma rede colaborativa de monitoramento com a finalidade de indicar possíveis locais chave que necessitam de intervenções, sejam elas estruturais ou não. Sendo assim uma importante ferramenta de gestão para que o poder público seja eficiente com a infraestrutura necessárias para a redução de risco em locais suscetíveis à desastres hidrológicos em alta escala espacial e temporal.

A abordagem conceitual apresentada com a finalidade de transformar imagens de um canal em nível de água também pode ser complementada com o uso de dados obtidos em redes sociais. O uso de mídias sociais para a gestão dos desastres tem se mostrado uma importante fonte de dados, tanto para mapeamento quanto para previsões de eventos (Wang *et al.*, 2015). Estrada (2018), por exemplo utilizou de mensagens na rede social Twitter como informação complementar à rede de monitoramento, onde os dados de monitoramento assimilado com os de rede social utilizados em modelos hidrológicos obtiveram resultados mais próximos da realidade. Munawar *et al.* (2019) usaram técnicas de processamento de imagens para desenvolver um sistema de alerta de inundações com uma câmera fixa acoplada à margem de um rio que captura imagens de uma régua. No caso da ausência de um sistema de câmera fixa como o utilizado no estudo mencionado anteriormente, imagens fornecidas pela sociedade podem ser utilizadas, analisando as incertezas relacionadas a distribuição das imagens, ângulo de observação e demais fatores trazidos pela interferência humana.

Deste modo, acrescentando a participação ativa das comunidades locais como uma fonte extra de dados pode auxiliar tanto na gestão quanto no entendimento dos sistemas, além do desenvolvimento de novas abordagens tecnológicas. Na gestão de inundações, técnicas de aprendizado de máquina vêm sendo aplicadas para estimar suscetibilidade (Shahabi *et al.*, 2021), analisar ocorrência (Carozza *et al.*, 2021), calcular impactos e danos gerados (Okada *et al.*, 2021), classificar imagens (Podhoranyi, 2021), prever eventos (Nguyen & Chen, 2020), entre outras. Muitas dessas técnicas se apoiam em informações fornecidas pela sociedade, principalmente aquelas obtidas por meio de mídias sociais e noticiários, devido à ausência de redes de monitoramento oficiais para dados relacionados a extensão de inundações. Fotos de testemunhas oculares, especialmente de telefones com câmera, tornaram o jornalismo cidadão ainda mais significativo para os esforços de

resposta a desastres, já que não são mais vistos como meros relatos pessoais, mas também como documentos comprobatórios úteis para uma resposta formal (Liu et al., 2008).

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este estudo propõe uma nova metodologia para auxiliar na estimativa de eventos de cheias através do sensoriamento participativo. Registros fotográficos de eventos de cheias são utilizados no processo que, através das quais, observadores estimam nível e velocidade d'água em corpos hídricos. Foram apresentados exemplos de imagens na cidade de São Carlos, que podem ser utilizados no processo de sensoriamento participativo proposto. Também se discutiu as três hipóteses fundamentais para o uso de dados coletados por voluntários: (1) variância nos erros de medição, (2) ergodicidade e (3) uniformidade dos erros das estimativas.

As imagens dos eventos de inundação podem ser adquiridas através de câmeras de monitoramento no próprio rio ou de estabelecimentos próximos e através de dispositivos móveis do cidadão. A distribuição destas imagens para os observadores pode se dar de forma simples e democrática através de aplicativos, que pode potencializar a difusão destas imagens para um maior número de pessoas e gerando estimativas mais robustas. Esta prática permitirá que os indivíduos tenham uma melhor percepção da magnitude dos valores de vazão e velocidade da água. Além disso, também poderá promover a conscientização da comunidade em relação aos potenciais danos econômicos e os riscos à vida de pedestres.

Dados de velocidade e nível d'água são vitais em diversos estudos hidrológicos. A coleta destas variáveis normalmente se dá através de sensores, que requerem investimento e manutenção periódica. Isto dificulta o monitoramento em larga escala de rios em países em desenvolvimento e com falta de mão de obra qualificada. Como consequência, projetos de gestão de recursos hídricos podem ser comprometidos, o que pode afetar a saúde e o bem-estar da população. O uso de dados coletados pelos cidadãos podem ser utilizados para suprir esta falta e auxiliar os profissionais da área na elaboração de políticas públicas, estratégias de gestão e elaboração de modelos hidráulicos ou hidrológicos. No entanto, os resultados obtidos através desta metodologia precisam ser comparados com dados observados, de modo a validar o uso desta técnica e esclarecer os potenciais erros envolvidos. Recomenda-se avaliar esta metodologia em diferentes locais, com diversos tipos de seções transversais, e magnitudes de vazão.

O Brasil ainda é um país que carece na aquisição de dados em corpos d'água. Entretanto, o uso da ciência cidadã ainda é incipiente e precisa ser aprimorada. A metodologia apresentada neste trabalho pode contribuir para o desenvolvimento de estratégias na esfera da sócio-hidrologia. Estas estratégias geram benefícios mútuos tanto para os cientistas brasileiros quanto para a própria população. Por um lado, os trabalhos científicos são enriquecidos por uma maior quantidade de dados. Já a população se beneficia com um conhecimento mais aprofundado na área correlata e, no caso da sócio-hidrologia, contribui para estratégias mais assertivas para redução de riscos relacionados a cheias.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Sanitária - PPGSHS (USP-EESC) - pelo apoio científico. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de doutorado. Também, à CAPES PROEX 1650/2017/23038.013525/2017-3; CAPES 24/2014, Pró-Alertas 88887.091743/2014-01, CEPED-USP/NAP; CNPq 465501/2014-1, FAPESP 2014/50848-9 INCT-II Mudanças Climáticas; CNPq 312056/2016-8, EESCUSP/CEMADEN/MCTIC; FAPESP CEPID-CeMEAI 2013/07375-0, Fase 2.

REFERÊNCIAS

- BURKE, J. A, ESTRIN, D., HANSEN, M., PARKER, A., RAMANATHAN, N., REDDY, S., & SRIVASTAVA, M. B. (2006). Participatory sensing. *UCLA: Center for Embedded Network Sensing*. Retrieved from <https://escholarship.org/uc/item/19h777qd>
- 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, p. 1-21. Frontiers Media SA. <http://dx.doi.org/10.3389/feart.2014.00026>.
- CAROZZA, D. A., BOUDREAULT, M. (2021). A global flood risk modeling framework built with climate models and machine learning. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 13(4), e2020MS002221.
- ESTRADA, C. E. R. (2018). Use of social media data in flood monitoring. 93 f. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo.
- LE COZ, J., PATALANO, A., COLLINS, D., GUILLEN, N. F., GARCIA, C. M., SMART, G. M., BIND, J., CHIAVERINI, A., LE BOURSICAUD, R. (2016). Crowdsourced data for flood hydrology: feedback from recent citizen science projects in Argentina, France and New Zealand. *J Hydrol*, 541(B):766–777.
- LIU, S. B., PALEN, L., SUTTON, J., HUGHES, A. L., VIEWEG, S. (2008). In search of the bigger picture: The emergent role of on-line photo sharing in times of disaster. In Proceedings of the information systems for crisis response and management conference (ISCRAM) (pp. 4-7).
- LIU, Y., PIYAWONGWASAL P., HANDA, S., YU, L., XU, Y., SAMUEL, A. (2011). Going beyond citizen data collection with Mapster: a mobile+cloud real-time citizen science experiment. *.E. Seventh International Conference on e-Science Workshops (eScienceW)*.
- MUNAWAR, H. S., HAMMAD, A., ULLAH, F., ALI, T. H. (2019). After the flood: A novel application of image processing and machine learning for post-flood disaster management. In Proceedings of the 2nd International Conference on Sustainable Development in Civil Engineering (ICSDC 2019), Jamshoro Pakistan (pp. 52-61).
- NGUYEN, D. T., CHEN, S. T. (2020). Real-time probabilistic flood forecasting using multiple machine learning methods. *Water*, 12(3), 787.
- OKADA, G., MOYA, L., MAS, E., KOSHIMURA, S. (2021). The Potential Role of News Media to Construct a Machine Learning Based Damage Mapping Framework. *Remote Sensing*, 13(7), 1401.
- PAUL, J. D., et al. 2018. “Citizen science for hydrological risk reduction and resilience building.” *Wiley Interdiscip. Rev.: Water* **5** (1): e1262. <https://doi.org/10.1002/wat2.1262>.
- PODHORANYI, M. (2021). A comprehensive social media data processing and analytics architecture by using big data platforms: a case study of twitter flood-risk messages. *Earth Science Informatics*, 14(2), 913-929.

- RAGETTLI, S. et al. (2015). Unraveling the hydrology of a Himalayan catchment through integration of high resolution in situ data and remote sensing with an advanced simulation model. *Advances in Water Resources*, v. 78, p. 94–111. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.advwatres.2015.01.013>>.
- ROSSER, J. F., LEIBOVICI, D. G., JACKSON, M. J. (2017). Rapid flood inundation mapping using social media, remote sensing, and topographic data. *Nat Hazards*, 87:103–120; <https://doi.org/10.1007/s11069-017-2755-0>.
- SHAHABI, H., SHIRZADI, A., RONOUD, S., ASADI, S., PHAM, B. T., MANSOURIPOUR, F., BUI, D. T. (2021). Flash flood susceptibility mapping using a novel deep learning model based on deep belief network, back propagation and genetic algorithm. *Geoscience Frontiers*, 12(3), 101100.
- SONG, Y; PARK, Y; LEE, J; PARK, M; SONG, Y. (2019). Flood Forecasting and Warning System Structures: procedure and application to a small urban stream in south korea. *Water*, v. 11, n. 8, p. 1571. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/w11081571>.
- TAVARES, L., LUGON JUNIOR, J., SILVA, J., WASSERMAN, J., RODRIGUES, P., (2018). Water Management and urban flood mitigation: studies and proposals for the macaé river basin in brazil. *Journal Of Urban And Environmental Engineering*, v. 12, n. 2, p. 188-200, 31 dez. *Journal of Urban and Environmental Engineering*. <http://dx.doi.org/10.4090/juee.2018.v12n2.188200>.
- USON, T. J., KLONNER, C., HOFLE, B. (2016). Using participatory geographic approaches for urban flood risk in Santiago de Chile: insights from a governance analysis. *Environ Sci Policy*, 66:62–72.
- WANG, D., ABDELZAHER, T., KAPLAN, L. (2015) A new information age. *Social Sensing*, p. 1–11. Vol 1.
- WANG, R. Q., MAO, H., WANG, Y., RAE, C., SHAW. R. (2018). “Hyper-resolution monitoring of urban flooding with social media and crowdsourcing data.” *Comput. Geosci.* 139–147. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2017.11.008>.