

PANORAMA DA ENGENHARIA PARA CONTENÇÃO OU MINIMIZAÇÃO DOS EFEITOS DE INUNDAÇÃO EM ÁREAS DE RISCO

MARCELO DA SILVEIRA TORTOLERO ARAUJO LOURENÇO¹; PAOLA BRUNO ARAB²; DIULIANA LEANDRO³

¹Universidade Federal de Pelotas – marcelotortolero16@gmail.com

²Universidade Federal de Goiás – paola.arab@ufg.br

³Universidade Federal de Pelotas – diuliana.leandro@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

Diversos fenômenos físicos tais quais os terremotos, movimentos de massa, furacões, inundações, secas, e queimadas, estão intimamente associados aos *riscos naturais*. Estes riscos podem ser subdivididos em diferentes tipos, segundo GILL; MALAMUD (2014): (1) *Geofísicos*, (2) *Hidrológicos*, (3) *Processos Endógenos Rasos*, (4) *Atmosféricos* e (5) *Biofísicos*. Por outro lado, EKMEKCIOGLU; KOC (2022) definem como *riscos geo-hidrológicos* aqueles que são produtos das interações entre as condições geológicas e hidrometeorológicas de uma determinada região. Desta forma, os riscos abrangidos por tal definição são as inundações, os movimentos de massa e os riscos hidrogeológicos (CANUTI et al., 2001).

Para além da ação dos fenômenos físicos, os riscos de inundação podem ser agravados por diversos fatores, e dentre eles é válido destacar a topografia plana, a impermeabilização do meio físico nos ambientes urbanos, e a alta interferência antrópica sobre as bacias hidrográficas. De acordo com STEVAUX et al. (2009), no Brasil, os riscos e desastres associados a inundações decorrem do ineficaz planejamento dos ambientes urbanos localizados em regiões próximas a corpos d'água de pequenos e médios portes.

Dado o contexto urbano do município de Pelotas, HANSMANN (2013) pontua que na cidade, os agentes agravantes dos riscos de inundação não divergem daqueles apresentados anteriormente, podendo-se destacar a topografia plana, o descarte incorreto de resíduos sólidos, a impermeabilização do solo e a ocupação irregular de áreas de risco de inundação. Em complemento, a proximidade de diversos corpos hídricos como o Arroio Pelotas, o Arroio Pepino, o Canal São Gonçalo e a Laguna dos Patos faz com que a cidade de Pelotas seja detentora de diversas planícies inundáveis. Desta forma, FERRETTO (2021) destaca que desde os primórdios da urbanização, a vulnerabilidade aos riscos naturais faz parte do cotidiano pelotense. Além disso, é importante salientar que dentre os 12 eventos de inundação de grande porte já registrados em Pelotas, 9 ocorreram em anos de El Niño (HANSMANN, 2013), o que demonstra a alta influência deste fenômeno físico de macroescala sobre as inundações da cidade.

Entre os anos de 1998 e 2017, mais de 2 bilhões de pessoas ao redor do mundo foram afetadas pelas inundações, gerando um impacto econômico aproximado de US\$656 bilhões (WALLEMACQ; BELOW; MCCLEAN, 2018). Portanto, é possível afirmar que os desastres naturais relacionados às inundações afetam tanto áreas planejadas para lidar com seus efeitos quanto áreas despreparadas. Em MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL (2022) encontramos para o Rio Grande do Sul de 2003 a 2016, 3220 reconhecimentos federais de Situação de Emergência, 5 reconhecimentos de Estado de Calamidade Pública (ECP) e 3215 reconhecimentos de Situações de

Emergência. Até o dia 12 de agosto de 2022, o Estado do Rio Grande do Sul registrou 440 reconhecimentos de Situação de Emergência, destes, 15 oriundos de inundações, enxurradas e chuvas intensas, sendo que os danos materiais em obras de infraestrutura pública causados por inundações atingiram R\$3,170 milhões.

Neste contexto, a resiliência urbana trata da capacidade de um determinado sistema urbano se manter funcional ou retomar à funcionalidade frente aos eventos extremos, se adaptar às mudanças e reformular os sistemas que limitam as adaptações atuais ou futuras (MEEROW; NEWELL; STULTS, 2016). Desta forma, o presente trabalho reúne exemplos efetivos de soluções de engenharia para a contenção de inundações, com o intuito de apresentar diferentes possibilidades a serem consideradas para implementação na cidade de Pelotas, visando construir uma cidade mais resiliente.

2. METODOLOGIA

Para apresentar algumas das possíveis soluções de engenharia capazes de minimizar os efeitos das inundações na cidade de Pelotas, buscou-se exemplos advindos de duas abordagens: (1) as empregadas nas *Sponge Cities*, que priorizam a redução de riscos geo-hidrometeorológicos através da absorção, armazenamento, infiltração e/ou drenagem das águas pluviais; (2) e aquelas voltadas para a contenção física das inundações fluviais. Estes dois grandes grupos foram selecionados com o intuito de demonstrar que os impactos causados pelas inundações podem ser minorados pela própria população, através da implementação de soluções em suas residências, e também pelo poder público através de obras de engenharia nos espaços urbanos.

Sendo assim, foram compiladas informações contidas em artigos científicos majoritariamente (2018-2022) recentes acerca do tema e dispostas na Tabela 1. Vale ressaltar que a escolha das soluções presentes na Tabela 1 foi baseada nas funções desempenhadas por elas, bem como em suas efetividades. Por fim, é realizada uma breve discussão a respeito do custo e empregabilidade dos tipos de soluções apresentados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta uma compilação de exemplos de soluções passíveis de serem empregadas na cidade de Pelotas, com o objetivo de minimizar os efeitos das inundações.

Vale pontuar que as soluções propostas pelas *sponge cities* são menos agressivas em relação ao meio ambiente, e focam na sustentabilidade e no paisagismo das áreas urbanas. Tais soluções possuem custos de implementação e manutenção variados, podendo assim, serem empregadas tanto por obras de baixo quanto de alto orçamento.

Em contrapartida, as barreiras físicas em geral são soluções mais práticas e menos harmônicas em relação aos espaços urbanos e ao meio ambiente. Porém, é importante destacar que, embora empregadas com menor frequência devido ao elevado custo de instalação e manutenção, existem barreiras de contenção física de menor impacto e de estética harmoniosa.

Tabela 1: Exemplos de Soluções de Engenharia para a Contenção de Inundações

Solução	Tipo de Solução	Função	Referências
Pavimentação permeável	<i>Sponge city</i>	Recarga subterrânea e redução total do escoamento	WANG et al. (2022); WANG et al. (2018)
Telhados verdes	<i>Sponge city</i>	Redução total do escoamento	ZHANG & JIE (2022); WANG et al. (2018)
<i>Sunken green spaces</i>	<i>Sponge city</i>	Recarga subterrânea e redução total do escoamento	ZHOU et al. (2021); WANG et al. (2018)
Bacias de retenção	<i>Sponge city</i>	Utilização da água da chuva, redução do pico de escoamento e redução total do escoamento	NOFAL & VAN DE LINDT (2021); WANG et al. (2018)
Jardins de chuva	<i>Sponge city</i>	Utilização da água da chuva, redução do pico de escoamento e redução total do escoamento	LAUKLI et al. (2022); WANG et al. (2018)
<i>Floodwalls</i>	Barreira física	Contenção de inundações fluviais	LI et al. (2020)
Diques de contenção	Barreira física	Contenção de inundações fluviais	ADAMS (2011)

4. CONCLUSÕES

Existem diversos tipos de soluções potenciais para a redução dos efeitos das inundações. Além disso, é importante frisar que muitas dessas podem ser empregadas em residências e prédios privados, tornando relevante a conscientização da população a respeito dos riscos de inundação e suas possíveis soluções. Por fim, conclui-se que a cidade de Pelotas é capaz de minimizar, de maneira sustentável, os efeitos dos grandes volumes de chuvas e também das cheias dos corpos hídricos que a cercam, tornando o espaço urbano pelotense mais resiliente.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, T. E. **Stability of levees and floodwalls supported by deep-mixed shear walls: Five case studies in the New Orleans area**. 2011. Tese de Doutorado. Virginia Tech.
- CANUTI, P.; CASAGLI, N.; PELLEGRINI, M.; TOSATTI, G. Geo-hydrological hazards. **Anatomy of an orogen: the apennines and adjacent mediterranean basins**. [S.l.]: Springer, 2001. p.513–532.
- CASE, J. L. From drought to flooding in less than a week over South Carolina. **Results in physics**, v. 6, p. 1183-1184, 2016.
- EKMEKCIOGLU, Ö.; KOC, K. Explainable step-wise binary classification for the susceptibility assessment of geo-hydrological hazards. **CATENA**, [S.l.], v.216, p.106379, 2022.
- FEASTER, T. D.; SHELTON, J. M.; ROBBINS, J. C. **Preliminary peak stage and streamflow data at selected USGS streamgaging stations for the South Carolina flood of October 2015**. US Geological Survey, 2015.
- FERRETTO, D. Pelotas: produção do espaço intraurbano e segregação socioespacial. **Projectare: Revista de Arquitetura e Urbanismo**, [S.l.], v.2, n.12, 2021.
- GILL, J. C.; MALAMUD, B. D. Reviewing and visualizing the interactions of natural hazards. **Reviews of Geophysics**, [S.l.], v.52, n.4, p.680–722, 2014.
- HANSMANN, H. Z. **Descrição e caracterização das principais enchentes e alagamentos de Pelotas-RS**. Monografia (Engenharia Ambiental e Sanitária). Pelotas, UFPEL, [S.l.], 2013.
- LAUKLI, Kirstine et al. Soil and plant selection for rain gardens along streets and roads in cold climates: Simulated cyclic flooding and real-scale studies of five herbaceous perennial species. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 68, p. 127477, 2022.
- LI, H. et al. Improving tolerance control on modular construction project with 3D laser scanning and BIM: A case study of removable floodwall project. **Applied Sciences**, v. 10, n. 23, p. 8680, 2020.
- LI, Z. et al. A novel approach to leveraging social media for rapid flood mapping: a case study of the 2015 South Carolina floods. **Cartography and Geographic Information Science**, v. 45, n. 2, p. 97-110, 2018.
- MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Sistema Integrado de Informações sobre Desastres**. Relatórios. Acessado em 12 de agosto de 2022. Disponível em: <https://s2id.mi.gov.br/paginas/relatorios/>
- MEEROW, S.; NEWELL, J. P.; STULTS, M. Defining urban resilience: A review. **Landscape and urban planning**, [S.l.], v.147, p.38–49, 2016.
- NOFAL, O. M.; VAN DE LINDT, J. W. High-resolution flood risk approach to quantify the impact of policy change on flood losses at community-level. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 62, p. 102429, 2021.
- STEVAUX, J. C.; LATRUBESSE, E. M.; HERMANN, M. L. d. P.; AQUINO, S. Floods in urban areas of Brazil. **Developments in Earth Surface Processes**, [S.l.], v.13, p.245–266, 2009.
- WANG, J. et al. Performance synergism of pervious pavement on stormwater management and urban heat island mitigation: A review of its benefits, key parameters, and co-benefits approach. **Water Research**, p. 118755, 2022.
- WANG, H. et al. A new strategy for integrated urban water management in China: Sponge city. **Science China Technological Sciences**, v. 61, n. 3, p. 317-329, 2018.
- WALLEMACQ, P.; BELOW, R.; MCCLEAN, D. Economic losses, poverty & disasters: 1998-2017. [S.l.]: **United Nations Office for Disaster Risk Reduction**, 2018.
- ZHANG, Gaochuan; HE, Bao-Jie. Towards green roof implementation: Drivers, motivations, barriers and recommendations. **Urban forestry & urban greening**, v. 58, p. 126992, 2021.
- ZHOU, Y. et al. Urban rain flood ecosystem design planning and feasibility study for the enrichment of smart cities. **Sustainability**, v. 13, n. 9, p. 5205, 2021.