



MODELAGEM DA INFORMAÇÃO COMO UMA FERRAMENTA DE PLANEJAMENTO PARA O ENFRENTAMENTO DE EVENTOS CRÍTICOS

*Joana Pimentel Guedes*¹; *Newton Célio Becker de Moura*² & *Daniel Ribeiro Cardoso*³

RESUMO – Eventos críticos relacionados a água têm grande impacto em toda a cadeia hídrica. Uma vez que as alterações no meio ambiente são relacionadas de forma mais direta a escala municipal, as ações do planejamento urbano influenciam a vulnerabilidade das cidades. A visualização de dados através da modelagem da informação, resultado da evolução tecnológica, permitiu uma melhor compreensão da complexidade urbana. Por meio de ferramentas de modelagem, verificamos a influência planejamento urbano na ocorrência de alagamentos em uma área consolidada no município de Fortaleza, Ceará. Exploramos também a possibilidade da utilização de simulação computacional como uma ferramenta de prevenção ou mitigação de eventos críticos. Os resultados demonstraram que, frente aos eventos extremos ocorridos, os parâmetros adotados pelo planejamento urbano local são ineficientes nos 4 casos estudados, em quase 98% dos lotes examinados. A utilização da simulação, quando em conjunto com os dados de eventos extremos, além de destacar áreas de possível alagamento, pode também ser utilizada como um guia para o estabelecimento de novos parâmetros, selecionados de acordo com as especificidades locais. Dessa forma, a modelagem da informação se apresenta como uma ferramenta importante para o planejamento urbano adaptativo.

ABSTRACT– Extreme climate events have a great impact on all water cycles. Since environmental changes are more related to the municipal scale, urban planning actions influence the vulnerability of the cities. The visualization of data by information modeling, a result of technological evolution, allowed us a better comprehension of urban complexity. Using modeling tools, we were able to verify the influence of urban planning on the occurrence of flooding in a consolidated area of Fortaleza, Ceará. We also explored the possibility of using computer simulation as a tool for the prevention or mitigation of such critical events. Results show that, based on events that already happened, the parameters adopted by the local municipality are inefficient in all 4 cases investigated, in almost 98% of the land examined. Computer simulation, when used with the data of critical events, past emphasize the likely flooding areas, can also be used as a guide to the selection of new parameters, chosen according to local specificities. Thus, information modeling emerges as an important instrument for adaptative urban planning.

Palavras-Chave: Modelagem da informação; Planejamento urbano; Eventos críticos.

INTRODUÇÃO

Eventos críticos relacionados a água, característica das mudanças climáticas, são uma preocupação global. O crescente aumento da população urbana pode reduzir a capacidade das cidades de manter a infraestrutura existente, tornando-as mais vulneráveis a tais ocorrências (HORNE;

¹) Universidade Federal do Ceará, joanapguedes@gmail.com

²) Universidade Federal do Ceará, newtonbecker@ufc.br

³) Universidade Federal do Ceará, danielcardoso@ufc.br



TORTAJADA; HARRINGTON, 2018). Segundo relatório divulgado pela Confederação Nacional de Municípios (2022), entre os anos de 2017 e 2022 foram decretados 5.622 casos de Situação de Emergência devido aos desastres ocasionados pelo excesso de chuvas, resultando em um total de 637 óbitos, 171.789 desabrigados e 819.843 desalojados. Além disso, os alagamentos comprometem também o abastecimento através do aumento da probabilidade de contaminação da infraestrutura de água, de rios e de lençóis freáticos, gerando uma reação em cadeia que transborda os limites municipais e afeta a segurança hídrica em todo o mundo (JARAMILLO; NAZEMI, 2018). As mudanças climáticas já estão causando impacto e continuarão a exacerbar problemas relacionados a água (HORNE; TORTAJADA; HARRINGTON, 2018).

Os gestores possuem um importante papel no desenvolvimento de políticas e estratégias para responder às incertezas e reduzir os riscos (MOONEY et al., 2009). Uma vez que a maior parte das ameaças ambientais está relacionada a ações realizadas na cidade, a escala municipal é a chave para a adoção de novas perspectivas nas intervenções adotadas. É necessário um maior preparo, e o planejamento municipal urbano é crucial para esse tema. A forma física da cidade é consequência do planejamento, das ações tomadas e dos projetos adotados, elencando prioridades para um resultado futuro (STEINITZ, 2016). O planejamento urbano, ou a falta dele, influencia a vulnerabilidade das cidades às mudanças climáticas.

Frente a esses desafios, o pensamento resiliente tem ganhado força no planejamento e design urbanos (NOVOTNY; AHERN; BROWN, 2010). Resiliência é definida como “capacidade de um sistema de absorver perturbações e ainda reter suas funções e estruturas básicas” (WALKER; SALT, 2006). Portanto, o planejamento resiliente, por definição, está continuamente evoluindo, uma vez que todo processo é sujeito a abalos e mudanças imprevisíveis ao longo do tempo. Ele é baseado em uma abordagem estratégica que se utiliza da identificação de processos e episódios em um meio urbano específico, caracterizando seus motivadores e frequência, e integrando esses dados em múltiplas escalas de forma a desenvolver estratégias adaptativas (AHERN, 2011). Informação, portanto, passa a ser o grande orientador desse tipo de planejamento.

A evolução tecnológica tem modificado as formas de interpretação da paisagem através da utilização de modelos computacionais, permitindo uma abordagem mais quantificável, entrelaçando imagens e dados e viabilizando uma perspectiva mais inclusiva capaz de melhorar a comunicação e compreensão dos múltiplos envolvidos (CANTRELL; HOLZMAN, 2015; SACKS et al., 2018). Essa nova forma de visualização de dados torna possível o desenvolvimento de projetos adaptativos – o

processamento e a representação das informações através de modelos ou simulações tornam-nas tangíveis, permitindo especulações, investigações e ajustes de acordo com as observações do mundo físico e dos objetivos específicos (CANTRELL; HOLZMAN, 2015).

Nesse estudo, investigamos a influência do planejamento urbano na ocorrência de alagamentos através da modelagem de informações em microescala utilizando os parâmetros de zoneamento locais e informações georreferenciadas. Buscamos saber também se a simulação computacional pode servir como uma ferramenta de auxílio para a prevenção ou mitigação dos impactos causados ao tornar a visualização da dinâmica hídrica possível.

METODOLOGIA

Área de estudo

O estudo foi desenvolvido na região delimitada pela sub-bacia B1, do Rio Cocó, localizada no município de Fortaleza, Ceará (Figura 1). Ela possui área aproximada de 20,92 Km² e abrange 28 bairros. É uma região consolidada, com áreas inundáveis ocupadas e de uso predominante residencial. Tem grande importância no setor educacional, resultado da presença de dois campi da Universidade Federal do Ceará (UFC); do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) e do Centro de Humanidades da Universidade Estadual do Ceará (UECE). Atualmente, é alvo de vários projetos específicos que buscam o a densificação, a diversidade de usos e o aumento da mobilidade urbana (Fortaleza 2040). Dos 17 corpos hídricos identificados na área, todos eles apresentam alteração em seu entorno, sendo a maioria dos trechos de rio já canalizada.

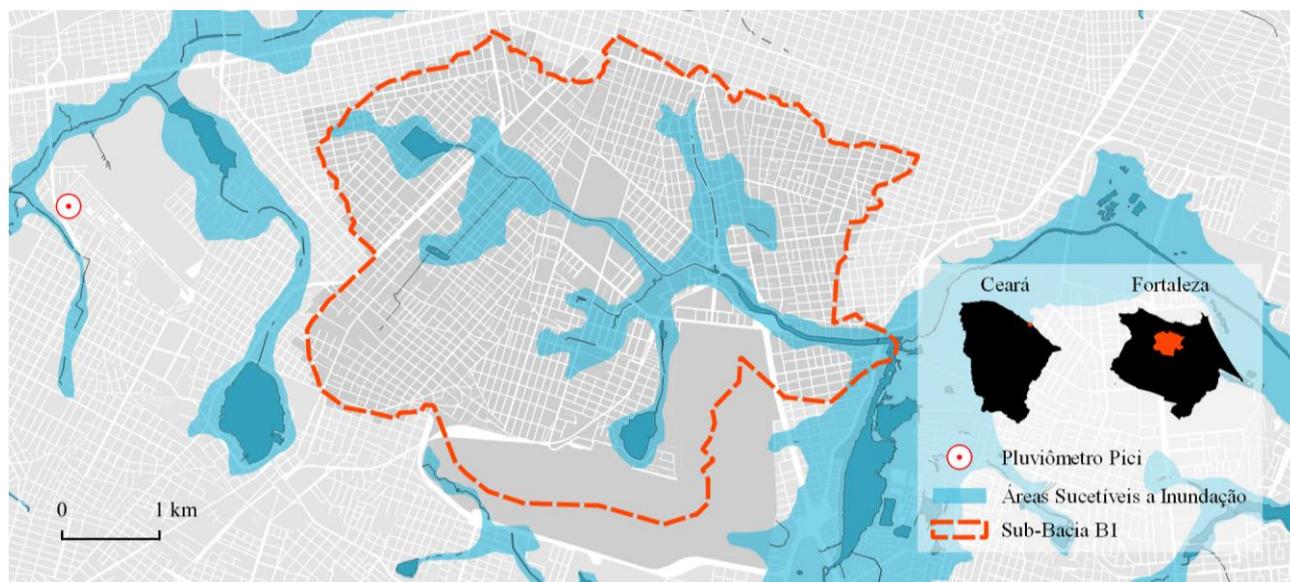


Figura 1 – Delimitação da área de estudo - Sub-bacia B1 do Rio Cocó em Fortaleza/CE. Fonte: Autores.



Coleta de dados

A partir da delimitação da área, dados espaciais georreferenciados relativos à morfologia urbana foram coletados a partir dos canais eletrônicos oficiais do Município de Fortaleza. Os materiais reunidos eram referentes às curvas de nível, lotes e quadras fiscais, recursos hídricos e ao macrozoneamento urbano e ambiental. Inicialmente, os dados foram processados por um software de Sistemas de Informações Georreferenciadas (SIG), e filtrados para corresponderem somente a área de estudo. Além disso, as geometrias foram verificadas para que fossem descartadas áreas duplicadas e formas inválidas.

Para as informações relativas ao regime de chuvas do município, foram consultados os dados da série histórica disponibilizada pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (Funceme). O material era proveniente do posto pluviométrico do Pici (Figura 1), o mais próximo da área de estudo, e compreendia o período de 1988 até 2022. No entanto, por discrepâncias nas informações fornecidas, foram descartados os dois primeiros anos da série, sendo adotado como ano inicial 1990. O ano de 2021 foi o último ano considerado para análise, constituindo um acervo de dados pluviométricos diários dos últimos 31 anos.

Análises

O primeiro passo foi o de incorporar os índices e taxas estabelecidas no macrozoneamento aos lotes (Figura 2). Foram identificadas 10 tipos de zonas diferentes na área: Zona Especial de Dinamização Urbanística e Socioeconômica (ZEDUS), Zona Especial Institucional (ZEI), Zona Especial de Desenvolvimento Social (ZEIS), Zonas Especiais de Preservação do Patrimônio Paisagístico, Histórico, Cultural e Arqueológico (ZEPH), Zona de Ocupação Consolidada (ZOC), Zona de Ocupação Preferencial 1 e 2 (ZOP1 e ZOP2), Faixa de Preservação Permanente dos Recursos Hídricos (ZPA1), Zona de Recuperação Ambiental (ZRA) e Zona de Requalificação Urbana 1 (ZRU1). Apesar de possuírem diferentes características e objetivos, verificou-se que quando o assunto era permeabilidade do solo, as ZEIS e ZEI necessitavam de projetos específicos, enquanto nas demais zonas eram estabelecidos apenas 3 taxas diferentes: de 100% para os lotes localizados na ZPA1, 50% para os lotes em ZRA e 30% para os lotes nas zonas restantes (ZEDUS, ZEPH, ZOC, ZOP1, ZOP2 e ZRU1). Verificou-se que os limites das zonas não necessariamente coincidiam com os lotes - em alguns casos chegando a dividi-los transversalmente -, resultando em geometrias com dimensões inferiores às permitidas pela legislação. Para efeito de cálculo, os lotes foram subdivididos

para que a taxa estabelecida para cada geometria fosse atrelada ao terreno. Assim, foram calculadas as áreas dos lotes e suas respectivas áreas permeáveis.

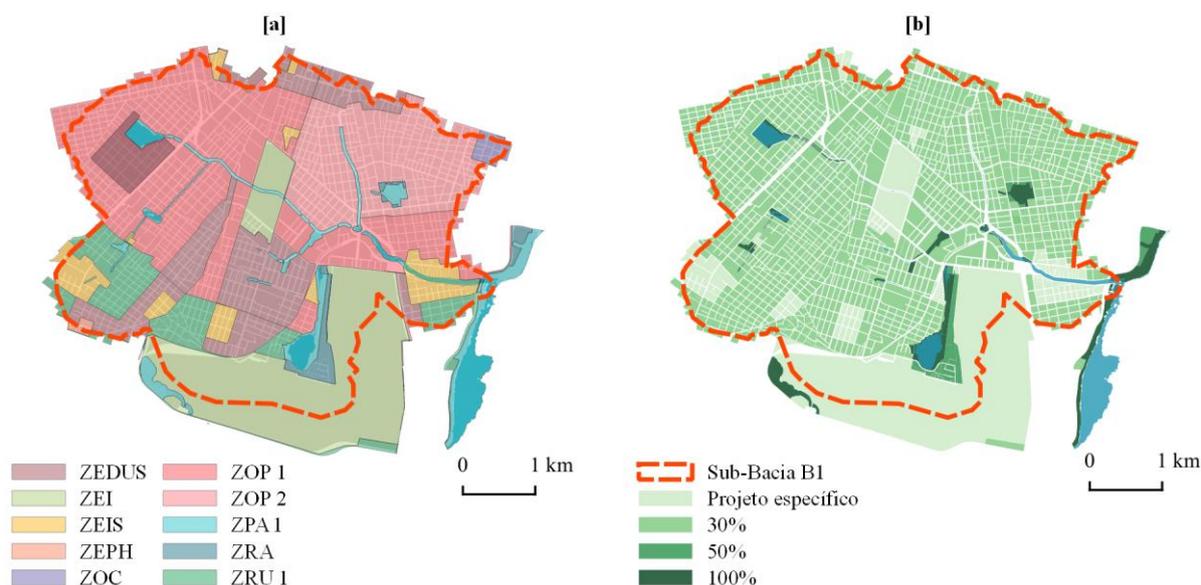


Figura 2 – Macrozoneamento urbano – [a] Identificação das zonas; [b] Taxa de permeabilidade. Fonte: Autores.

Para estudo, foi considerado o cenário em que: (i) os lotes seguiriam o requerido na legislação, transformando as áreas permeáveis mínimas em elementos de biorretenção com os parâmetros estabelecidos por Moura *et al* (2014); (ii) as áreas ocupadas seriam completamente impermeáveis. Apesar da existência de uma rede de drenagem na área, ela não foi considerada pelo estudo uma vez que, segundo Chan *et al.* (2018), “(...) nem mesmo infraestruturas urbanas de drenagem modernas foram pensadas para lidar com o aumento de escoamento produzido pelo efeito cumulativo da redução de infiltração promovida nas cidades.”

Os dados da Funceme permitiram a caracterização do regime de chuvas na região (Figura 3). Viu-se que o volume médio anual no período estudado possui uma tendência de anos de chuvas intensas seguidos de períodos de secas, com concentração das chuvas no primeiro semestre. Foi identificada também, uma tendência de aumento na frequência em chuvas acima de 100 mm em um único dia (Tabela 1): dos 20 eventos identificados, 4 deles ocorreram durante a década de 1990 (sendo 3 deles durante o ano de 1995), 7 durante a década de 2000, 8 durante a década de 2010 e 1 nos anos entre 2020 e 2021. Dos 4 eventos extremos ocorridos no município utilizados para o estudo, dois estavam localizados no ano de 2012 e dois no ano de 2004 – cada um deles representou, uma precipitação correspondente a 16% e 10% do volume total em seus respectivos anos, o que revela a dimensão desses eventos.

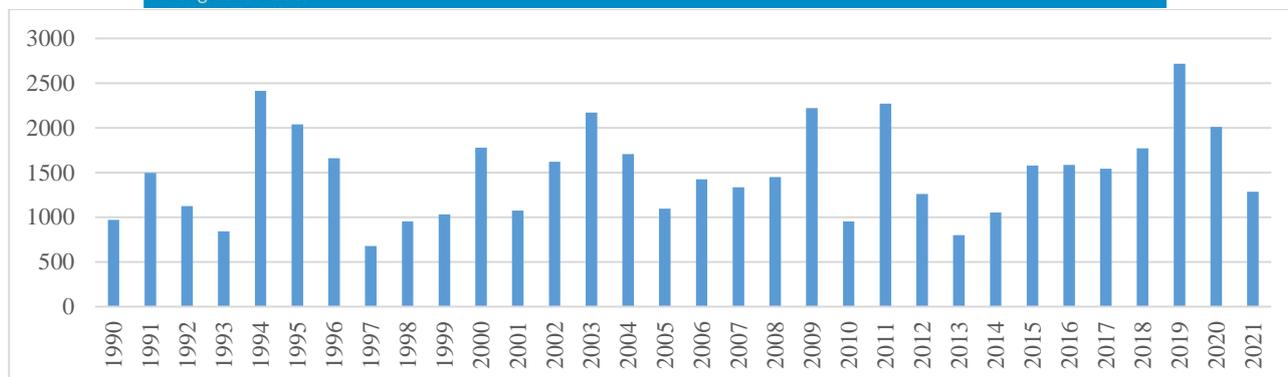


Figura 3 – Volume de chuvas total no ano, em milímetros, ao longo da série histórica. Fonte: Funceme.

Tabela 1 – Histórico de precipitações acima de 100mm.

Data		Ano	Volume precipitado (mm)	Volume total anual (mm)
Dia	Mês			
16	03	1991	104,4	1495,30
26	03	1995	134,4	2039,7
30	03	1995	137,3	2039,7
06	04	1995	115,6	2039,7
11	04	2001	103,0	1076,50
18	01	2002	110,0	1620,00
19	03	2003	146,7	2170,60
29	01	2004	170,3	1705,40
07	03	2004	173,8	1705,40
01	05	2006	111,5	1423,00
16	06	2006	119,0	1423,00
10	01	2011	128,8	2269,20
25	01	2011	114,2	2269,20
27	03	2012	197,5	1258,80
23	06	2012	197,6	1258,80
31	03	2016	100,6	1585,30
11	02	2017	107,8	1542,90
10	03	2018	115,0	1771,70
24	02	2019	105,8	2716,50
15	03	2020	124,4	2011,30

Fonte: Funceme.

Com essas informações foram calculados: (a) o volume chovido em cada lote; (b) o que seria absorvido por cada área permeável biorretentora; e (c) a diferença entre esses valores para saber se haveria excedente de chuva para escoamento ($c = a - b$). A partir daí, os resultados foram comparados com a simulação de escoamento desenvolvida pelo algoritmo elaborado pela Universidade Federal

do Ceará - produto de uma Iniciação Científica (IC) -, baseada nas curvas de nível da região para a verificação da influência do planejamento urbano durante a ocorrência de eventos críticos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores encontrados durante os cálculos foram interpretados da seguinte maneira:

- Valores negativos: quando o lote seria capaz de infiltrar mais água do que o que foi precipitado;
- 0: quando o lote absorveu exatamente o que foi precipitado;
- Valores positivos: quando o lote não conseguiu infiltrar o volume precipitado, havendo escoamento do excedente.

Nos 4 eventos críticos analisados foi constatado que em 97,8% dos lotes houve excedente de escoamento e em 2,2% deles seria possível que eles infiltrassem mais água do que foi precipitado. Verificou-se que os lotes que ainda mantiveram a capacidade de infiltração estavam localizados no entorno dos recursos hídricos. Os valores 0 encontrados foram resultados de trechos de sobreposição do macrozoneamento sobre a geometria dos lotes, incapazes de gerar amostra significativa (Figura 4).

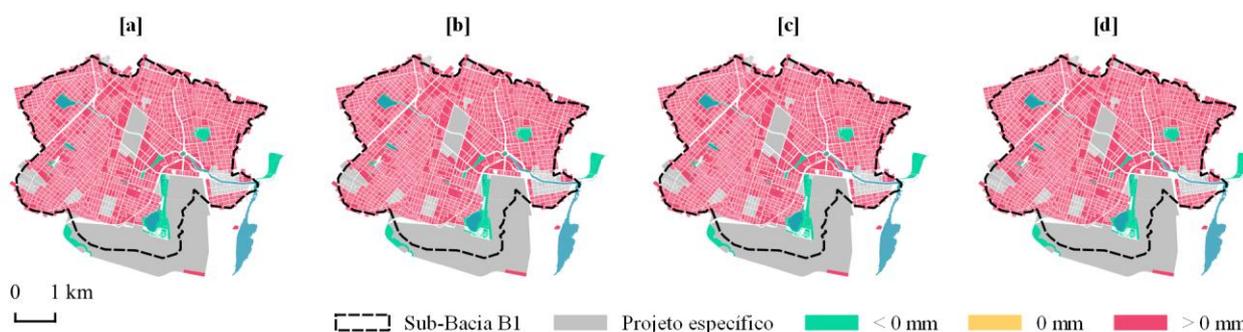


Figura 4 – Volume infiltrado nos lotes durante a ocorrência de eventos extremos – [a] 23/06/2012; [b] 27/03/2012; [c] 07/03/2004; [d] 29/01/2004. Fonte: Autores.

Ao observarmos a simulação de escoamento, somos capazes de identificar as áreas onde ocorrerão a concentração do excedente de água. Verifica-se uma tendência de acúmulo ao longo das massas d'água - região já identificada pelo CPRM como suscetível a inundação – e em áreas de menor altimetria (Figura 5).

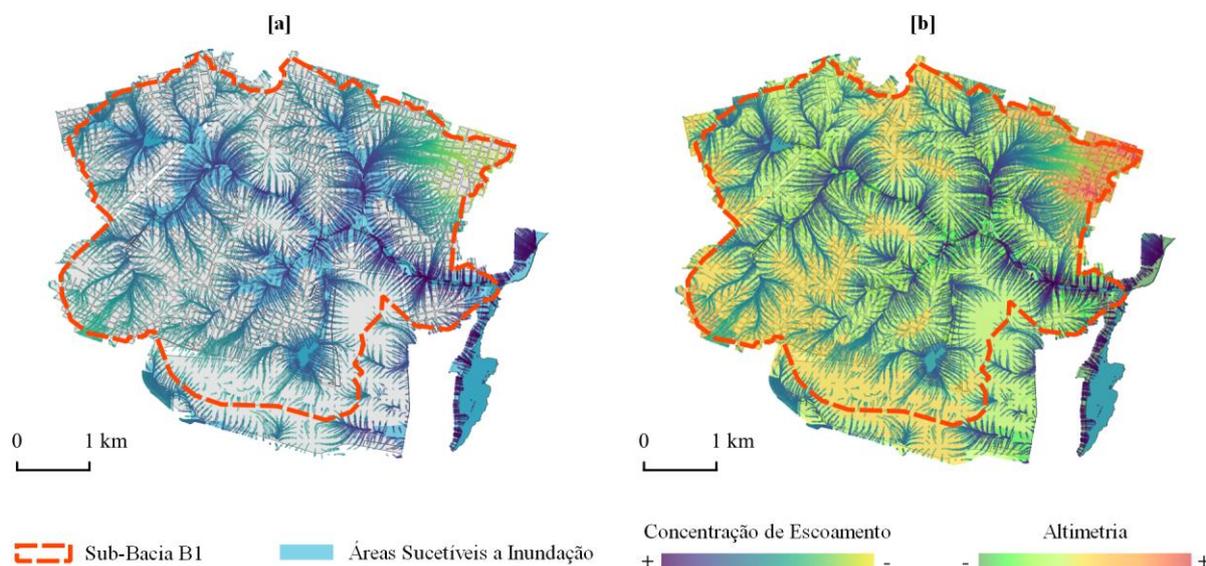


Figura 5 – Simulação de escoamento – [a] Comparação com as áreas suscetíveis a inundação; [b] Comparação com a topografia local. Fonte: Autores.

Podemos afirmar, portanto, que em quase todos os casos, os índices adotados pela LUOS são insuficientes para prevenir prejuízos relacionados ao excesso de precipitação. Os resultados, ao serem associados com a simulação de escoamento, permitem identificar os pontos de origem e destino desse excedente, sendo capaz de reconhecer vulnerabilidades que até então não tinham sido identificadas e potencialidades para a revisão de índices urbanos para a prevenção dos impactos dos eventos críticos relacionados a água. Seríamos capazes, assim, de definir índices não apenas com base em objetivos de desenvolvimento socioeconômicos, mas de acordo com as características específicas de cada área – nesse caso, poderíamos definir taxas de permeabilidade maiores para os lotes localizados nos pontos de origem de escoamento.

CONCLUSÃO

O processo de investigação conduzido nesse trabalho buscou verificar a eficiência dos parâmetros urbanos adotados pelo zoneamento desenvolvido pela administração pública em casos de eventos críticos relacionados a água. Ao analisar o macrozoneamento urbano ambiental da área, foi observado um padrão homogeneizador desses índices, reflexo de práticas de gerenciamento de solo focado na otimização do ambiente urbano para funções específicas. Essa característica, frequente no planejamento tradicional, aumenta a vulnerabilidade do sistema para abalos e perturbações, conforme pôde ser demonstrado pelos resultados encontrados em eventos críticos. Além disso, observou-se



também imprecisão na correspondência entre zoneamento e lote, indicando uma falta de comunicação entre os agentes envolvidos. O desenvolvimento do modelo tornou possível a identificação dessas inconsistências.

A utilização do algoritmo para a compreensão da dinâmica do escoamento na área teve um papel importante na interpretação da influência gestão pública do território no ambiente. Os dados georreferenciados, associados às informações da série histórica da Funceme, permitiram que fossem reconhecidas tendências e feitas previsões relativas à ocorrência de alagamentos. A modelagem da informação, se incorporada ao planejamento urbano, tem a capacidade de orientar a manipulação da paisagem de acordo com as especificidades locais. Dessa forma, ao tornar a visualização dos dados mais tangível e trazer clareza a fenômenos que normalmente não seriam vistos ou considerados, seria possível propor alterações de forma a equilibrar adequação ecológica e necessidades humanas, tornando o ambiente “seguro para falhar”.

Observamos, no entanto, que os resultados estão diretamente ligados a qualidade, quantidade e diversidade dos dados disponíveis para análise, bem como a capacidade de processamento de informações do algoritmo utilizado. Aqui, foram apenas consideradas, basicamente, dados sobre a taxa de permeabilidade das zonas, as dimensões do lote, a topografia natural da área e o histórico de precipitações. A inclusão de uma quantidade maior de informações, como por exemplo os tipos de uso do lote e a topografia modificada, permitiria uma visualização maior da complexidade local, sobre a qual poderíamos aprender, evoluir e responder de forma mais específica.

A evolução tecnológica permitiu que dados abstratos fossem mais facilmente visualizados e compreendidos. Para investigações futuras, recomendamos o refinamento das ferramentas e da coleta de dados, de forma que os modelos e simulações possam refletir cada vez mais as dinâmicas existentes. Dessa forma, as simulações computacionais representariam situações cada vez mais semelhantes aos eventos do mundo real, tornando a modelagem da informação uma ferramenta cada vez mais eficiente para o planejamento urbano.

REFERÊNCIAS

- AHERN, J. (2011) "*From fail-safe to safe-to-fail: Sustainability and resilience in the new urban world*". *Landscape and Urban Planning*, v. 100, n. 4, pp. 341–343.
- CANTRELL, B. E.; HOLZMAN, J. (2015). *Responsive Landscapes*. 1. ed. Routledge. v. 6



CHAN, F. K. S. et al. (2018). "*Sponge City*" in China—A breakthrough of planning and flood risk management in the urban context". *Land Use Policy*, v. 76, n. May 2017, pp. 772–778.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS MUNICÍPIOS. (2022) "*Prejuízos causados pelas chuvas em todo país entre 2017 e 2022*". Brasília, 18 p.

HORNE, J.; TORTAJADA, C.; HARRINGTON, L. (2018) "*Achieving the Sustainable Development Goals: improving water services in cities affected by extreme weather events*". *International Journal of Water Resources Development*, v. 34, n. 4, pp. 475–489.

JARAMILLO, P.; NAZEMI, A. (2018). "*Assessing urban water security under changing climate: Challenges and ways forward. Sustainable Cities and Society*", v. 41, n. April, p. 907–918.

MOONEY, H. et al. (2009). "*Biodiversity, climate change, and ecosystem services*". *Current Opinion in Environmental Sustainability*, v. 1, n. 1, pp. 46 – 54.

MOURA, N. C. B.; PELLEGRINO, P. R. M.; MARTINS, J. R. S. (2014) "*Transição em infraestruturas urbanas de controle pluvial: uma estratégia paisagística de adaptação às mudanças climáticas*". *Paisagem e Ambiente*, n. 34, pp. 107 - 128.

NOVOTNY, V.; AHERN, J.; BROWN, P. (2010) *Water Centric Sustainable Communities: Planning, Retrofitting, and Building the Next Urban Environment*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc, 624 p.

SACKS, R. et al. (2018). *BIM Handbook*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 688 p.

STEINITZ, C. (2016) *Um Framework para o Geodesign: Alterando a Geografia através do Design*. eSRI, 224 p.

WALKER, B.; SALT, D. (2006). *Resilience thinking : sustaining ecosystems and people in a changing world*. Washington: Island Press, 174 p.

AGRADECIMENTOS

Ao apoio da Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP).