

# IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A ALAGAMENTOS UTILIZANDO CIÊNCIA CIDADÃ EM PEQUENOS MUNICÍPIOS DA PARAÍBA: uma abordagem baseada em SIG

*FLOOD-PRONE AREAS IDENTIFICATION USING CITIZEN SCIENCE IN SMALL-SIZE CITIES OF PARAÍBA: a GIS-based approach*

*IDENTIFICACIÓN DE ZONAS SUSCEPTIBLES A INUNDACIONES MEDIANTE CIENCIA CIUDADANA EN PEQUEÑOS MUNICIPIOS DE PARAÍBA: un enfoque basado en SIG*

## RESUMO

Este estudo tem como objetivo apresentar e validar um procedimento metodológico para identificação de pontos de alagamentos em cidades de pequeno porte no Brasil. Essas cidades, normalmente, sofrem com a falta de dados medidos in loco, o que torna os relatos dos cidadãos sobre episódios de alagamentos informações valiosas para modelos hidrológicos e hidrodinâmicos. O modelo utiliza cinco variáveis: Curva IDF; uso e cobertura do solo; Modelo Digital de Elevação (MDE); Rede Rodoviária Urbana; e infraestrutura de microdrenagem existente. Os procedimentos metodológicos possuem duas etapas principais: (i) determinação da vazão superficial e (ii) determinação da vazão máxima captada por dispositivos de microdrenagem. A população também relatou a magnitude dos alagamentos e a sua percepção sobre desastres através de questionários e audiências públicas. Em seguida, em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), foi mapeado o sistema de drenagem existente nas cidades e os resultados foram validados por meio de reuniões online com técnicos locais e gestores municipais. A comparação dos resultados da análise SIG com os focos de alagamentos relatados pelos cidadãos mostra que o modelo alcançou uma acurácia média de 73,5%. Os procedimentos metodológicos apresentados são uma alternativa viável para identificar focos de alagamentos devido a sua fácil aplicabilidade e baixo custo em comparação com outros modelos.

**Palavras-chave:** Risco; alagamentos; drenagem; predição; modelo hidrodinâmico.

## ABSTRACT

This study aims to present and validate a methodological procedure for identifying flooding areas in small-size cities in Brazil. In those cities, there is usually a lack of ground-measured information, making citizen reports about floods valuable data for hydrological and hydrodynamic models. The model uses five variables: IDF Curve, land use and land cover, Digital Elevation Model, Urban Road Network, and existing micro-drainage infrastructure. The methodology has two main stages: (i) determination of the overland flow and (ii) determination of the maximum flow captured by micro drainage devices. The population also reported the magnitude of the flood events and their perception of the disasters through questionnaires and engagement meetings. Then, in a Geographic Information System (GIS) environment, the existing drainage system was mapped for the cities, and results were validated through online meetings with local technicians and city managers. Comparing the results from GIS analysis and the floodings hotspots reported by citizens shows that the model achieved an average accuracy of 73.5%. The presented methodology is a valuable alternative for identifying flooding hotspots due to its easy applicability and low cost compared to other models.

**Keywords:** Flood; risk; drainage; prediction; hydrodynamic modelling.

 Ivens Lorrán Clemente de Lacerda <sup>a</sup>  
 Mateus Clemente de Lacerda <sup>b</sup>  
 José Ailton da Costa Ferreira <sup>c</sup>  
 Andréa Rodrigues <sup>d</sup>  
 Iana Rufino <sup>e</sup>

<sup>a</sup> Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, BR

<sup>b</sup> Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, BR

<sup>c</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, BR

<sup>d</sup> Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, BR

<sup>e</sup> Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, BR

DOI: 10.12957/geouerj.2024.81487

**Correspondência:**  
ivenslorran@hotmail.com

**Recebido em:** 23 jan. 2024

**Revisado em:** 03 jul. 2024

**Aceito em:** 04 nov.2024



## RESUMEN

Este estudio tiene como objetivo presentar y validar un procedimiento metodológico para identificar puntos de inundación en pequeñas ciudades de Brasil. Estas ciudades suelen sufrir de una falta de datos medidos in situ, lo que hace que los informes ciudadanos sobre episodios de inundaciones sean información valiosa para los modelos hidrológicos e hidrodinámicos. El modelo utiliza cinco variables: Curva IDF, uso y cobertura del suelo, Modelo Digital de Elevación, Red Vial Urbana e infraestructura de microdrenaje existente. La metodología tiene dos pasos principales: (i) determinación del flujo superficial y (ii) determinación del flujo máximo captado por los dispositivos de microdrenaje. La población también informó sobre la magnitud de las inundaciones y su percepción sobre los desastres a través de cuestionarios y audiencias públicas. Luego, en un entorno SIG, se mapeó el sistema de drenaje existente en las ciudades y se validaron los resultados a través de reuniones online con técnicos locales y gestores municipales. La comparación de los resultados del análisis hidro-GIS con los puntos críticos de inundación informados por los ciudadanos muestra que el modelo logró una precisión promedio del 73,5%. La metodología presentada es una alternativa viable para identificar puntos críticos de inundación debido a su fácil aplicabilidad y bajo costo en comparación con otros modelos.

**Palabras-clave:** Riesgo; inundación; drenaje; predicción; modelo hidrodinámico.



## INTRODUÇÃO

A ocorrência, frequência e intensidade de alagamentos e inundações cresceu nos últimos anos, majoritariamente em áreas urbanas consolidadas (PEREZ *et al.*, 2020). As variações climáticas, a elevação mundial da população e a expansão da urbanização são os principais fatores associados a este crescimento (XU *et al.*, 2020). De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU), a proporção da população que reside em áreas urbanas cresceu 21,7% entre os anos de 1960 e 2018, sendo esperado atingir 60% até 2030 (UNITED NATIONS, 2018).

Estima-se que, aproximadamente, 64 milhões de pessoas são afetadas diretamente por estes eventos, tendo como consequências danos humanos e materiais, aumento da proliferação de doenças oriundas de vetores e o comprometimento da locomoção de pessoas e automóveis (TAYYAB *et al.*, 2021). Os alagamentos ocorrem quando o sistema de drenagem é inexistente ou não suporta a vazão superficial, principalmente em chuvas extremas. A capacidade de suporte dos sistemas ainda pode ser comprometida devido à baixa frequência ou inexistência de manutenção periódica dos dispositivos (LI, 2021)

$$Q_{sup} = \frac{C \cdot i \cdot A}{360} \quad (1)$$

A fim de reter, infiltrar, reutilizar ou evaporar as águas de chuvas, engenheiros e pesquisadores criaram diversas abordagens e medidas compensatórias com o intuito de diminuir a vazão de escoamento superficial e, conseqüentemente, mitigar ou extinguir os alagamentos. Estas técnicas podem ser aplicadas acima da superfície (telhados verdes ou não vegetados), no próprio solo (pavimentos permeáveis, trincheiras de infiltração, jardins de chuva e canteiros verdes) e abaixo da superfície (poços de infiltração e tanques de armazenamento) (QIN, 2020).

Em alguns casos, os problemas podem ser mais críticos, sendo necessária a utilização de sistemas convencionais para direcionar o volume escoado superficialmente para áreas não habitadas e com maiores níveis de infiltração. Embora as medidas convencionais sejam mais amplamente empregadas pelos gestores devido à sua capacidade de resolver problemas imediatos, é importante ressaltar que sua instalação e manutenção são onerosas, tornando-as alternativas insustentáveis em grandes centros urbanos (XIE *et al.*, 2017). Assim, essas estruturas devem ser utilizadas concomitantemente com as medidas compensatórias já



apresentadas apenas quando necessário, visando uma abordagem mais equilibrada e sustentável para o gerenciamento das águas pluviais.

As metodologias e simulações existentes que determinam a necessidade de implementação dos dispositivos convencionais, geralmente, utilizam os mesmos parâmetros e sequência lógica. Inicialmente, é realizado um estudo hidrológico onde são definidas as variáveis: área das bacias, áreas impermeáveis, coeficiente de *Runoff* e declividade. Em simultâneo, a climatologia da região é avaliada e são caracterizadas as precipitações máximas relacionadas ao período de retorno, sendo possível determinar as curvas de intensidade-duração-frequência (IDF) utilizadas em projetos de drenagem. A partir destas informações, pode ser implementada uma solução composta por um sistema que seja capaz de apresentar resistência, resiliência, sustentabilidade e que respeite os fatores econômicos, sociais e ambientais mínimos (CASAL-CAMPOS *et al.*, 2018; BERTILSSON *et al.*, 2019).

Existem diversos modelos hidrodinâmicos utilizados para definir sistemas de redes em pequena escala através de processos de interação em softwares, como o Model for Urban Stormwater Improvement Conceptualisation (MUSIC), Storm Water Management Model (SWMM) e MIKE 21 (NIGUSSIE AND ALTUNKAYNAK, 2019; DAO *et al.*, 2022). Entretanto, se utilizados em escalas maiores, como em âmbito municipal, estes modelos se tornam inviáveis, devido aos custos onerosos para processamento e às possibilidades de erros mais grosseiros, oriundos das sucessivas interações realizadas (HAGHIGHATAFSHAR *et al.*, 2019). Sendo assim, pesquisadores por todo o mundo buscam metodologias na tentativa de minimizar as incertezas oriundas dos parâmetros do modelo, dados de entrada, dados de calibração ou da estrutura do próprio modelo (conceitualização, equações e métodos e limites numéricos) (SAMELA *et al.*, 2018; TERMEH *et al.*, 2018; DAS E GUPTA, 2021; LI, 2021).

A aplicação de sensoriamento remoto e ferramentas SIG é, geralmente, utilizada para auxiliar gestores na tomada de decisões frente a análise de riscos de desastres naturais, como: inundações; deslizamento de massa; e rompimento de barragens (FELONI *et al.*, 2020; STEFANELLI *et al.*, 2020). Sendo assim, o objetivo deste estudo é apresentar e validar procedimentos metodológicos para identificação de áreas de alagamento (magnitude e localização), por meio da combinação de ferramentas disponibilizadas em ambiente SIG, com conceitos e equações consolidadas na literatura.

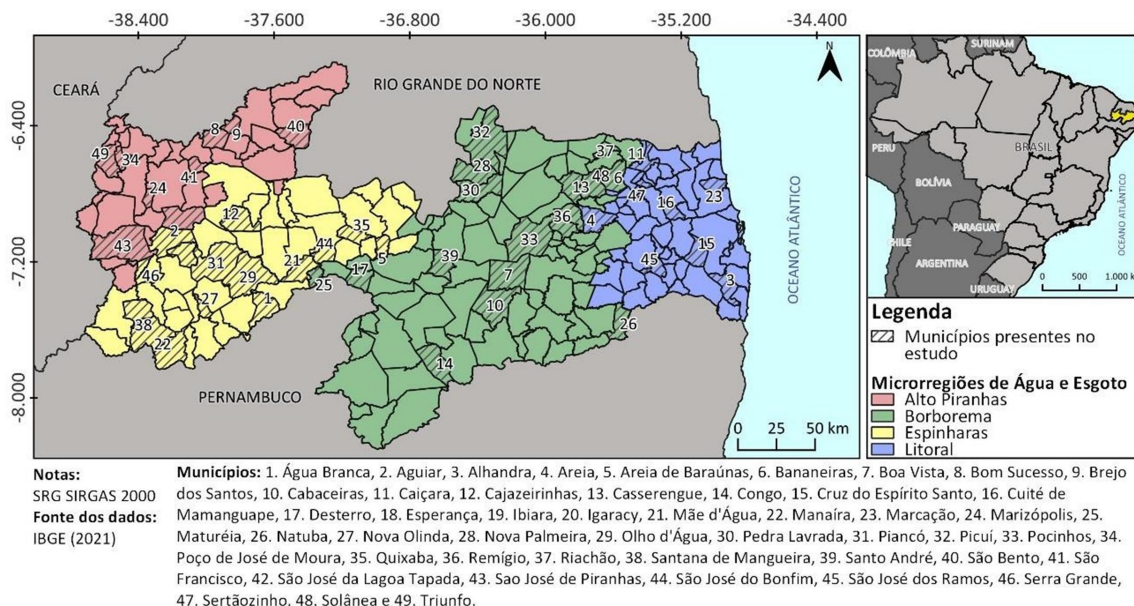
A metodologia proposta neste estudo foi desenvolvida nas etapas de elaboração de Planos Municipais de Saneamento Básico de 49 municípios de pequeno porte localizados no estado da Paraíba (PMSB-PB),

através de uma parceria entre a Fundação Nacional de Saúde (Funasa) e a Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). O PMSB é um instrumento a ser utilizado por gestores municipais para melhorar a gestão pública e auxiliar a tomada de decisões no que se refere aos serviços de saneamento básico (abastecimento de água, esgotamento sanitário, manejo e drenagem das águas pluviais e manejo de resíduos sólidos) nos âmbitos urbano e rural, com horizonte de 20 anos, trazendo impactos positivos na saúde pública, meio ambiente e na qualidade de vida da população das localidades contempladas.

### CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo (Mapa 1) escolhida para aplicação da proposta metodológica é composta por 49 municípios do estado da Paraíba, localizado na região nordeste do Brasil. Os municípios estão distribuídos por todo o território estadual e são considerados de pequeno porte por apresentarem, no máximo, 35.000 habitantes. Encontram-se distribuídos nas quatro microrregiões no estado, cada uma com suas particularidades climáticas e geoambientais: Alto Piranhas; Espinharas; Borborema; e Litoral. As microrregiões foram dispostas pela Lei Complementar nº 168/2021 do estado da Paraíba (PARAÍBA, 2021), com o objetivo de facilitar a tomada de decisões dos gestores locais quanto à melhoria e implementação dos serviços de saneamento, incluindo o manejo e drenagem de águas pluviais.

**Mapa 1.** Localização da área de estudo.



Fonte: Autoria própria (2023).



Parte do Estado da Paraíba está localizado no Polígono das Secas, caracterizando-o como uma região semiárida que sofre com períodos agudos de estiagem, o que ocasiona problemas ambientais e socioeconômicos para a população. Por este motivo, as microrregiões de Alto Piranhas, Espinharas e grande parte da Borborema apresentam chuvas irregulares, clima seco e temperaturas altas. A outra parcela da microrregião Borborema está localizada acima do Planalto da Borborema, implicando em maiores altitudes e no crescimento das intensidades pluviométricas anuais. Em contrapartida, a microrregião Litoral se destaca por apresentar altos índices de precipitação e maior regularidade sazonal (XAVIER JÚNIOR et al., 2021).

Quanto ao relevo, que engloba parâmetros de declividade e altitude, muito importantes em estudos de drenagem, a Paraíba apresenta crescimento de altitude do extremo oeste até o Planalto da Borborema, que a partir deste ponto decai em sentido ao extremo leste. As altitudes no estado variam de 0 m (na região litorânea) até 1197 m (localizado no Pico do Jabre, no município de Maturéia). A microrregião do Litoral apresenta menores níveis de altitude, geralmente entre 0 m e 200 m, sendo composta, majoritariamente, por planícies e tabuleiros costeiros. A Borborema reúne um relevo mais montanhoso e é onde está localizado o Planalto da Borborema, com altitudes que variam entre cerca de 400 m e 1000 m. A microrregião Alto Piranhas é composta por uma vasta área classificada como Depressão Sertaneja, com valores aproximados entre 200 m e 400 m de altitude. Por sua vez, a microrregião Espinharas é composta, principalmente, pelo Planalto Sertanejo, com altitudes similares às encontradas na microrregião Alto Piranhas, com exceção da porção sul, onde o Planalto da Borborema torna-se presente (SANTOS et al., 2019).

Devido ao montante de resultados, torna-se inviável a apresentação dos mapas para os 49 municípios estudados. Logo, optou-se por selecionar quatro municípios para ilustrar os procedimentos utilizados. Essa seleção foi feita considerando a magnitude dos alagamentos, avaliada por meio de critérios como uso e ocupação do solo, altitude, declividade e infraestrutura existente. O objetivo foi abranger uma maior variedade de resultados distintos. Os municípios escolhidos para exemplificação foram Alhandra, Brejo dos Santos, Cuité de Mamanguape e Congo. No processo de validação foram apresentados os dados alcançados para todos os municípios já exibidos na Figura 1.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

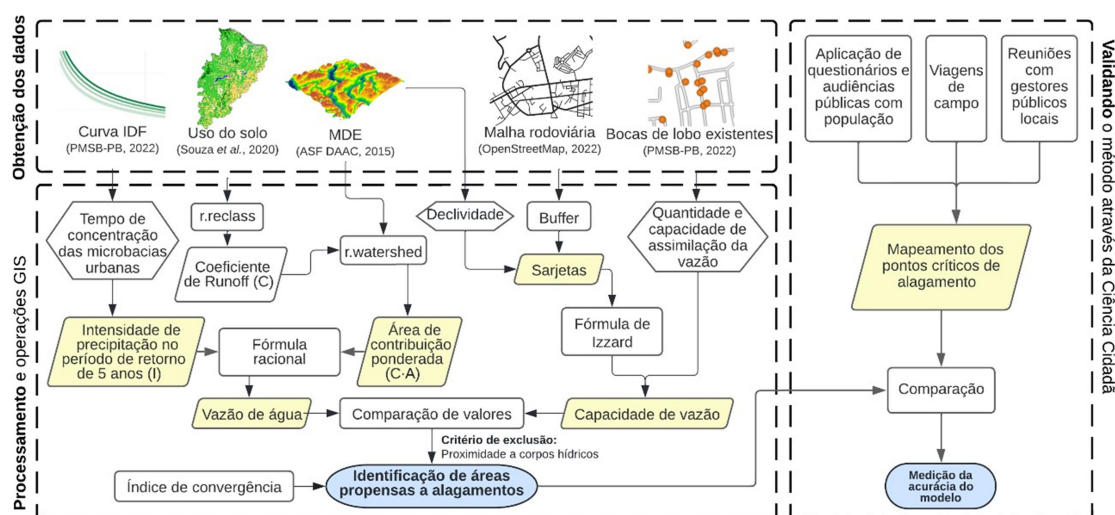
Os procedimentos metodológicos deste estudo visaram determinar a vazão excedente responsável pela ocorrência de alagamentos em perímetros urbanos através de cinco produtos essenciais (Curva IDF, Uso e Ocupação, Modelo Digital de Elevação, Malha Rodoviária Municipal e Sistema de Drenagem existente), de



onde são retirados todos os parâmetros necessários para o cálculo da vazão do escoamento superficial e da capacidade máxima de recolhimento das bocas de lobo e sarjetas já existentes. Dessa forma, foram identificadas e mapeadas todas as áreas de alagamento presentes em cada município. Em seguida, este produto foi comparado com um mapa de pontos críticos de alagamento gerado por meio de práticas de Ciência Cidadã (aplicação de questionários, realização de audiências públicas, visitas técnicas às localidades e reuniões com gestores locais), promovendo a medição da acurácia do modelo.

A Figura 2 apresenta um fluxograma contendo todas as etapas presentes no estudo. As fontes de dados necessárias para obtenção dos parâmetros foram definidas na etapa inicial, de modo a serem utilizados nas etapas subsequentes. Os dados de uso e ocupação do solo, elevação do terreno e malha rodoviária foram disponibilizados abertamente através de projetos ou institutos públicos (OPENSTREETMAP, 2022; SOUZA et al., 2020; ASF DAAC, 2015). Entretanto, a elaboração de algumas curvas IDF e o mapeamento da infraestrutura de drenagem e dos pontos críticos de alagamento existentes nos municípios foi realizado durante a elaboração dos Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSB-PB, 2022). Destaca-se que a ausência de investimento e a pouca relevância dada por parte dos gestores no setor de drenagem de águas pluviais, principalmente em municípios de pequeno porte, contribuem com a escassez de dados e com o aprimoramento e qualidade deste serviço.

Figura 1. Fluxograma geral dos procedimentos metodológicos.



Fonte: Autoria própria (2023).

A identificação das áreas de alagamento presentes nos perímetros urbanos municipais foi realizada por meio da determinação da vazão excedente, tendo sua metodologia dividida em duas etapas principais: (i) determinação da vazão escoada superficialmente e (ii) determinação da vazão máxima captada pelos



dispositivos de microdrenagem. Ambos os procedimentos se basearam em fórmulas empíricas utilizadas em simulações e estimativas de drenagem urbana.

Para calcular da vazão escoada superficialmente, optou-se por utilizar o método racional (Equação 1), indicado para a estimativa de vazões de escoamento superficial em bacias urbanas com até dois quilômetros quadrados de área (BRASIL, 2019).

$$Q_{sup} = \frac{C \cdot i \cdot A}{360} \quad (1)$$

Onde,  $Q_{sup}$ : Vazão máxima de escoamento por pixel, em  $m^3/s$ ;  $C$ : Coeficiente de *Runoff*;  $i$ : Intensidade máxima média da precipitação nas microbacias urbanas, em mm/h;  $A$ : Área de contribuição, em há;

A determinação dos coeficientes de *Runoff* nas microbacias urbanas, foi realizada a partir de uma operação de reclassificação do raster de uso e ocupação do solo, com resolução de 30 metros. Este parâmetro indica a quantidade de água de uma precipitação que escoar superficialmente, e é calculado pela razão entre o volume de água escoado e o volume de água precipitado em um determinado tipo de solo (MACHADO et al., 2022). Durante esse processo, atribuiu-se um valor a cada pixel da imagem com base na classe de uso do solo na área em questão. Todos os dados georreferenciados foram processados utilizando o software QGIS. Os valores utilizados na reclassificação foram obtidos através da literatura para períodos de retorno da ordem de cinco a dez anos e estão apresentados na Tabela 1.

Após a etapa de reclassificação, procedeu-se ao cálculo do valor médio do coeficiente de *Runoff* para cada pixel, considerando sua área de contribuição específica gerada por meio de funções de delimitação automática de bacias em ambiente SIG. Esse valor médio foi então multiplicado pela área correspondente, resultando na determinação das áreas de contribuição ponderadas ( $C \times A$ ) para cada ponto no Modelo Digital de Elevação (MDE) utilizado, que possui uma resolução de 12,5 metros (ASF DAAC, 2015; BRASIL, 2019).





**Tabela 1.** Coeficiente de *Runoff* por tipo de cobertura do solo

| Uso do Solo        | C    | Uso do Solo        | C    | Uso do Solo           | C    |
|--------------------|------|--------------------|------|-----------------------|------|
| Corpos d'Água      | 0,00 | Formação Campestre | 0,20 | Áreas não vegetadas   | 0,25 |
| Formação Florestal | 0,10 | Pastagem           | 0,22 | Infraestrutura Urbana | 0,72 |
| Formação Savânica  | 0,17 | Agricultura        | 0,25 | Afloramento Rochoso   | 1,00 |

Fonte: Adaptado de Mays (2001) e São Paulo (2012).

A intensidade máxima de precipitação foi definida através da curva IDF, sendo inseridos o tempo de concentração e o tempo de retorno do projeto como dados de entrada. A elaboração de curvas IDF é um método utilizado para caracterizar chuvas intensas em estudos de alagamentos ou inundações, definindo as vazões máximas através dos parâmetros intensidade, duração e frequência (ACOSTA-CASTELLANOS et al., 2023). Indica-se um tempo de retorno de 2 anos para projetos de microdrenagem urbana em áreas residenciais e de 5 anos para áreas comerciais ou que sejam cobertas por serviços públicos (BRASIL, 2016). Para este estudo, definiu-se o último valor para o tempo de retorno, tendo em vista que em municípios de pequeno porte, onde não há um zoneamento de áreas comerciais e residenciais, esses usos estão distribuídos em toda a área urbana de forma difusa. A curva IDF foi desenvolvida com dados provenientes do pluviômetro mais próximo ao município, abrangendo um período de observação que variou entre 10 e 26 anos (ANA, 2021). Para garantir a qualidade dos resultados, os dados foram tratados com base na metodologia de Aragão et al. (2012) para eliminar as inconsistências e as lacunas na série histórica.

O tempo de concentração, por sua vez, foi definido em ambiente SIG, utilizando uma função de custo acumulado, que permite o cálculo da menor distância possível entre os pontos de maior e menor altitude do relevo a partir de uma análise do movimento da água sobre o terreno. No presente estudo, a função foi aplicada nas linhas de fluxo de cada microbacia a fim de obter o tempo máximo necessário para que toda a área da bacia tenha contribuído com o escoamento superficial em seu exutório.

O MDE também foi utilizado para elaboração dos mapas de declividade do perímetro urbano, necessários no cálculo da vazão admissível de todas as sarjetas existentes nos municípios em questão, através da função “Declividade” do ambiente SIG. Para o cálculo da vazão admissível, a equação simplificada de Izzard (Equação 2) foi utilizada, considerando as ruas com largura de 8 metros e com altura de lâmina d’água de 10 cm, típica configuração das vias em municípios de pequeno porte observada durante as visitas técnicas realizadas. A espacialização das vias foi elaborada ao aplicar um buffer na malha rodoviária municipal



disponibilizada pelo OpenStreetMap (2022).

$$Q_{adm} = 1,436 \cdot \sqrt{i} \quad (2)$$

Onde,  $Q_{adm}$ : Vazão máxima admissível pelas sarjetas, em m<sup>3</sup>/s;  $i$ : Declividade das sarjetas, em m/m;

As bocas de lobo são outros elementos presentes nos sistemas convencionais de drenagem que precisam ser levados em consideração na determinação da vazão máxima captada por dispositivos de microdrenagem. A capacidade de engolimento das bocas de lobo foi calculada a partir da equação (Equação 3) proposta pelo Departamento de Transportes dos Estados Unidos (FHWA, 1996), assumindo valores padrão de 80 cm de largura e 10 cm de comprimento para estes dispositivos. Os mapas dos sistemas de drenagem municipais elaborados pelo PMSB-PB (2022) auxiliaram na identificação da localização destes elementos.

$$Q_{eng} = 1,6 \cdot L \cdot y^{\frac{3}{2}} \quad (3)$$

Onde,  $Q_{eng}$ : Vazão máxima captada pelas bocas de lobo, em m<sup>3</sup>/s;  $L$ : Largura das bocas de lobo, em m;  $y$ : Lâmina d'água, em m.

Sendo assim, a vazão excedente pôde ser calculada em todas as vias do município (Equação 4) ao comparar os valores de vazão escoada superficialmente (Equação 1) com os de vazão suportada pelas sarjetas (Equação 2 e Equação 3). A vazão excedente é a responsável pela ocorrência de alagamentos nas localidades, uma vez que corresponde ao volume de águas pluviais que não consegue ser captado pelos sistemas de drenagem já existentes. Os resultados obtidos foram armazenados em ambiente SIG a fim de identificar todas as áreas afetadas pela problemática em estudo.

$$Q_{exc} = Q_{sup} - Q_{adm} - Q_{eng} \quad (4)$$

Onde,  $Q_{exc}$ : Vazão excedente, em m<sup>3</sup>/s;  $Q_{sup}$ : Vazão máxima de escoamento por pixel, em m<sup>3</sup>/s;  $Q_{adm}$ : Vazão máxima admissível pelas sarjetas, em m<sup>3</sup>/s;  $Q_{eng}$ : Vazão máxima captada pelas bocas de lobo, em m<sup>3</sup>/s;

De modo a diferenciar a ocorrência de alagamentos e inundações, foi utilizado o critério de



proximidade dos cursos d'água para a exclusão de áreas propensas ao transbordamento dos corpos hídricos. Assim, desconsideraram-se os pontos críticos de alagamentos identificados a uma margem de 100 metros dos cursos d'água que atravessam a zona urbana (ALVES et al., 2018).

Por fim, buscou-se incorporar a identificação de depressões que favoreçam o acúmulo de água e a ocorrência de alagamentos na zona urbana através do índice de convergência calculado com o MDE. O índice de convergência é um parâmetro que identifica picos e depressões no relevo local, frequentemente utilizado para incorporar a geomorfologia em estudos de suscetibilidade a alagamentos (COSTACHE E BUI, 2019). Para tal, levou-se em conta as áreas configuradas como depressões (índice de convergência maior que 50) nos pontos críticos já identificados pela metodologia.

Considerada uma importante ferramenta para a democratização da ciência, a ciência cidadã é uma abordagem científica que compreende a participação direta de membros da sociedade civil no processo de pesquisa, através da aplicação de formulários, coleta de dados e análise de resultados gerados (HULTQUIST et al., 2022). O envolvimento dos cidadãos na etapa de coleta de dados tem sido cada vez mais recorrente, especialmente em pesquisas com aplicações relacionadas às inundações pluviais e na calibração e validação de modelos hidrodinâmicos de previsão, que contribuem para a disponibilidade espacial e temporal de informações usadas na resposta e no gerenciamento de desastres (FAVA et al., 2022; SEE, 2019).

Deste modo, a validação da metodologia desenvolvida no presente estudo consistiu na análise espacial, comparando os resultados obtidos por meio do processamento dos dados georreferenciados e os pontos críticos identificados a partir das informações coletadas com os cidadãos. O processo de coleta dos dados foi baseado em três frentes de ação promovidas nas 49 cidades visitadas: (i) realização de audiências públicas e aplicação de questionários com os cidadãos participantes; (ii) visitas técnicas e entrevistas com a população; e, (iii) reuniões com os gestores municipais. As informações das atividades de ciência cidadã realizadas são apresentadas na Figura 2.

**Figura 2.** Fluxograma das atividades de Ciência Cidadã.



Fonte: Autoria própria (2023).

A partir das atividades apresentadas, a população foi encorajada a relatar os problemas enfrentados no âmbito do saneamento básico local, abrangendo a vertente da drenagem de águas pluviais. Durante as audiências públicas, foram levantadas as localidades das cidades (nomes de ruas ou pontos de referência) que sofrem com problemas recorrentes de alagamentos. A população também foi questionada quanto à magnitude dos episódios e a percepção dos desastres ocorridos por meio da aplicação de questionários.

Paralelo à realização das audiências públicas, a equipe de trabalho também visitou os pontos críticos de alagamento relatados pela população, a fim de realizar registros fotográficos e entrevistas com os munícipes afetados pela problemática. Ademais, o cadastramento da infraestrutura convencional de drenagem existente nas cidades foi realizado por meio de reuniões online com o auxílio dos técnicos e gestores municipais. Todas as informações obtidas foram apresentadas em conferências públicas e ratificadas pela população.

Os dados coletados foram armazenados em ambiente SIG e comparados aos resultados obtidos a partir dos procedimentos metodológicos propostos neste trabalho. A compatibilidade entre as situações real (relatada pelos cidadãos) e simulada (resultado do modelo) foi mensurada através da coincidência entre os dois diagnósticos. Com este intuito, foram definidas áreas de validação para cada um dos pontos críticos de alagamento reportados pela população. Considerou-se como área de validação as quatro quadras adjacentes ao ponto de referência e uma margem de 300 metros de extensão (LIU et al., 2019) na rua relatada pelos



municípios.

A acurácia do modelo foi calculada a partir da porcentagem de pontos críticos de alagamento devidamente identificados pela metodologia desenvolvida, considerando a área de validação especificada (Equação 5). Os resultados de acurácia também foram apresentados para cada um dos critérios utilizados e relacionados com a distância entre os pontos reportados pela população e identificados pela metodologia, de modo a verificar a precisão do método.

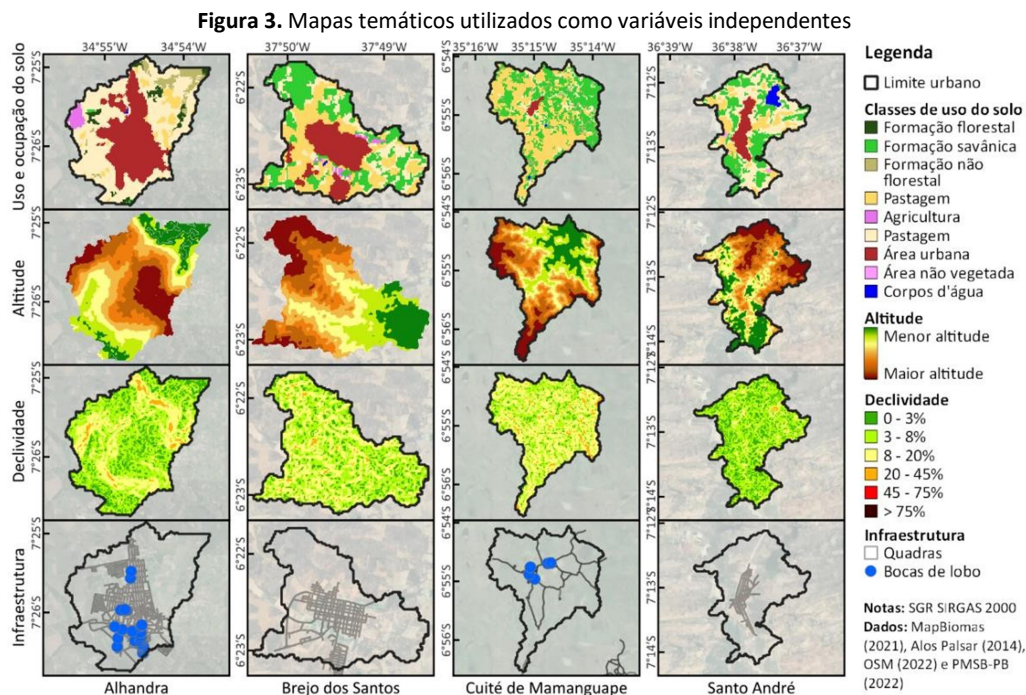
$$A = \frac{N_{Model}}{N_{Cid}} \quad (5)$$

Onde,  $A$ : Acurácia do modelo hidrodinâmico, em %;  $N_{Model}$ : Pontos críticos de alagamento identificados pelo modelo hidrodinâmico;  $N_{Cid}$ : Pontos críticos de alagamento reportados pela população.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 apresenta a classificação das variáveis utilizadas no modelo hidrodinâmico simplificado para os municípios de Alhandra, Brejo dos Santos, Cuité de Mamanguape e Santo André. Todas as variáveis escolhidas são independentes, podendo influenciar individualmente nas vazões de escoamento superficial das localidades estudadas. Pela análise dos mapas temáticos, nota-se que os municípios apresentados possuem comportamentos distintos em todas as variáveis, o que permite a identificação da possibilidade de aplicação dos procedimentos propostos em cenários com alagamentos de qualquer grau de magnitude.

Nota-se pelos mapas de uso e ocupação a baixa intervenção humana nos municípios de Brejo dos Santos e Cuité de Mamanguape, uma vez que as formações florestais e/ou savânicas correspondem a grande parte das áreas territoriais. A classe de pastagem, predominante nestes municípios, apesar de ser uma ocupação relacionada à pecuária (atividade antrópica), não contribui de forma significativa com a impermeabilização do terreno, de acordo com o baixo coeficiente de runoff atribuído a esta classe. Nos municípios de Alhandra e Santo André verifica-se que as áreas urbanizadas e de atividades agrícolas são mais presentes, implicando no crescimento do coeficiente de runoff das microbacias contribuintes.



Fonte: Autoria própria (2023).

Quanto à variável altitude, Brejo dos Santos e Santo André mostram-se mais suscetíveis à ocorrência de acumulação das águas pluviais no perímetro urbano, evidenciado pela tendência do fluxo do escoamento superficial em direção as áreas urbanizadas. Por outro lado, os mapas de declividade apontam que os municípios não apresentam relevos muito acentuados, atingindo nas áreas urbanas, majoritariamente, no máximo 20% de declividade, com pouquíssimas áreas chegando ao limite de 45%. As microbacias urbanas com baixas elevações e relevo plano são mais sensíveis aos alagamentos provocados por chuvas intensas, principalmente nas áreas próximas aos exutórios, devido às baixas velocidades de escoamento superficial. Outro fato importante é que, a área urbana do município de Alhandra está localizada em um platô de superfície com baixa declividade, o que favorece à ocorrência de alagamentos, especialmente nas localidades de mais baixas altitudes.

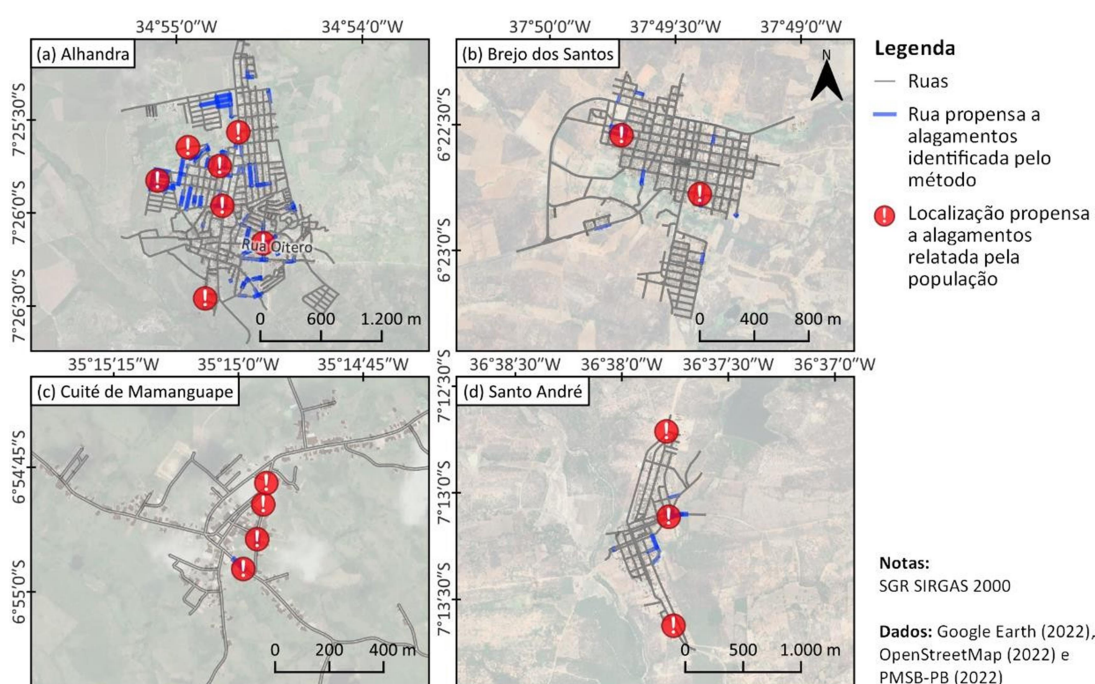
É comum a negligência do serviço e infraestrutura de drenagem em municípios de pequeno porte, devido a menor proporção de áreas impermeáveis e a priorização do uso do investimento em outras vertentes do saneamento. Além disso, os problemas referentes às águas pluviais, geralmente, se concentram em três ou quatro meses do ano na região Nordeste do Brasil, já que a localização territorial é marcada por regimes pluviométricos irregulares. Os mapas referentes à infraestrutura de drenagem da Figura 4 mostram que os



municípios de Brejo dos Santos e Santo André não possuem cobertura de microdrenagem subsuperficial, podendo agravar os problemas de alagamentos nestas localidades.

A partir dos parâmetros hidráulicos e das variáveis independentes tratados em ambiente SIG, foi possível simular o cenário hidrodinâmico dos municípios selecionados. A Figura 4 apresenta a distribuição dos trechos críticos de transbordamento dos dispositivos de microdrenagem existentes e dos pontos indicados pela população.

**Figura 4.** Áreas suscetíveis a alagamentos identificados pelo modelo e pelos municípios.



Fonte: Autoria própria (2023).

Observa-se que nos municípios de Alhandra e Brejo dos Santos os pontos de alagamento indicados pela população coincidem com os trechos críticos de alagamentos obtidos pelo modelo hidrodinâmico simplificado, sobretudo em áreas que possuem baixa declividade e convergência do relevo com grandes áreas de contribuição. No município de Alhandra os trechos marcados pela ocorrência de alagamentos se concentram na região central da cidade, onde as taxas de impermeabilização são elevadas. Em consequência, a capacidade de suporte do sistema de drenagem é comprometida, devido à redução do índice de permeabilidade do solo e os incrementos de velocidade de escoamento e vazões de pico. Além disso, a ausência de dispositivos de microdrenagem e de medidas compensatórias nas áreas periféricas da cidade com declividades mais acentuadas, intensificam à ocorrência de alagamentos.





Por outro lado, nos municípios de Cuité de Mamanguape e Santo André os trechos de alagamentos resultantes da simulação assemelham-se aos indicados pela população em apenas uma via. Apesar disso, os relatos dos munícipes de Cuité de Mamanguape e dos extremos territoriais norte e sul do município de Santo André indicam que os arruamentos dispersos sem aglomerados de casas, correspondentes às áreas de expansão urbana, são afetados por episódios de alagamentos. Nos resultados da aplicação da metodologia deste estudo, estas áreas não foram identificadas como suscetíveis a alagamentos. Tal discrepância pode ter ocorrido devido à utilização de dados matriciais com baixa resolução espacial, que não representam com precisão áreas de expansão urbana com baixas densidades de ocupação, gerando equívocos na definição das classes de ocupação para a aplicação desejada. A área em questão pode ter sido classificada como área vegetada, reduzindo seu coeficiente de Runoff e induzindo a sua identificação como um trecho sem problemas de alagamento após a aplicação da metodologia.

Ressalta-se ainda que, embora a maioria dos municípios de pequeno porte disponha de um sistema de drenagem das águas pluviais, bem como um crescimento populacional e expansão urbana modestos, o manejo inadequado das águas pluviais pode levar à ocorrência frequente de eventos extremos ligados às águas pluviais.

Quanto à ausência de sistema de drenagem subsuperficial, as condições climáticas e os fatores limitantes de desenvolvimento urbano, como topografia e os corpos hídricos circundantes, influenciam fortemente na ocorrência de alagamentos. Comparando as Figura 3 e Figura 4, observa-se que o perímetro urbano de Santo André está inserido em uma área de relevo predominantemente plano e os trechos críticos de alagamentos apresentados são provocados pela pavimentação do solo e a ausência do manejo adequado das águas pluviais. De forma similar, a maioria dos trechos de alagamentos identificados em Brejo dos Santos estão localizados em áreas de expansão urbana não dotadas de sistema de microdrenagem subsuperficial, devido à densificação populacional da parte central do perímetro urbano e à baixa declividade do entorno.

A Tabela 2 apresenta os resultados do modelo SIG na identificação de alagamentos nos municípios de pequeno porte da área de estudo. Quanto à variação de intensidade pluviométrica, não se observa um crescimento do número de pontos críticos de alagamento identificados pela metodologia em municípios com maior índice pluviométrico. A média de pontos encontrados por município nos intervalos de intensidade varia entre 3 e 4. A similaridade entre os intervalos, observada pela proximidade dos limites extremos (cerca de 60 mm/h de diferença), contribui com este fato, uma vez que todos estes municípios estão localizados na região semiárida do Brasil. Ao comparar essas informações e as coletadas com a população e com os técnicos



municipais, através de audiências públicas e visitas técnicas, verificou-se uma acurácia para este parâmetro acima de 70%.

**Tabela 2.** Acurácia do modelo baseada nas variáveis independentes.

| Variável                           | Classe       | Nº de municípios | Nº de pontos de alagamento (Modelo) | Nº de pontos de alagamento (Municípios) | Acurácia do modelo |
|------------------------------------|--------------|------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------|
| Curva IDF                          | < 120 mm/h   | 12               | 45                                  | 60                                      | 75,0%              |
|                                    | 120–160 mm/h | 10               | 35                                  | 50                                      | 70,0%              |
|                                    | 160–180 mm/h | 16               | 49                                  | 67                                      | 73,1%              |
|                                    | > 180 mm/h   | 11               | 32                                  | 42                                      | 76,2%              |
| Coeficiente de <i>Runoff</i> médio | < 0,60       | 19               | 47                                  | 67                                      | 70,1%              |
|                                    | 0,60–0,65    | 14               | 42                                  | 59                                      | 71,2%              |
|                                    | > 0,65       | 16               | 72                                  | 93                                      | 77,4%              |
| Infraestrutura urbana de drenagem  | Sem          | 5                | 10                                  | 15                                      | 66,7%              |
|                                    | Com          | 44               | 151                                 | 204                                     | 74,0%              |
| Acurácia do modelo                 |              | 49               | 161                                 | 219                                     | 73,5%              |

Fonte: Autoria própria (2023).

Para a variável coeficiente de Runoff médio dividiu-se os municípios estudados em três classes, de acordo com o método de classificação quantil (VOJTEK et al., 2019). Observa-se um crescimento no número médio de pontos de alagamentos por cidade em cada classe, passando de 2,5 pontos na menor classe para 4,5 pontos na classe mais crítica. O aumento de áreas impermeáveis é o principal fator responsável por este incremento, sendo observadas mais áreas propícias a alagamentos em cidades maiores, onde uma maior parte do seu território é urbanizado. Quanto à acurácia do modelo apresentado, percebeu-se um crescimento da porcentagem com o aumento da proporção de área impermeabilizada, atingindo 77,4% de média para os municípios que apresentam coeficiente de Runoff acima de 0,65.

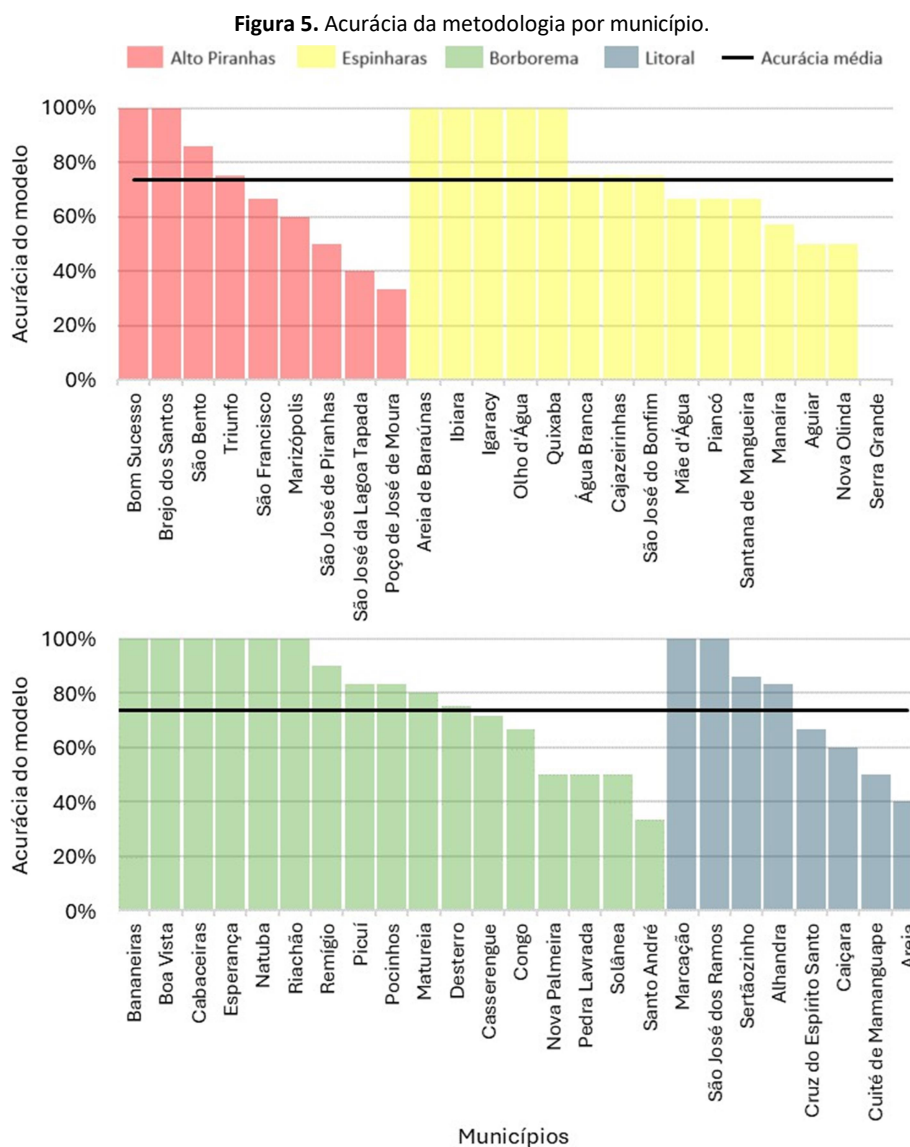
No que se diz respeito à existência de infraestrutura de microdrenagem subsuperficial, os dados foram divididos em apenas duas classes. Percebe-se que os dispositivos são presentes na maior parte dos municípios e que, ainda assim, há uma quantidade maior de pontos de alagamentos identificados nestes casos (média de 3,43 pontos por município). A metodologia também se mostrou mais acurada neste cenário, coincidindo com as informações coletadas em campo em 74% dos casos, enquanto na classe com ausência de infraestrutura



este número é pouco menor que 67%. De forma geral, os resultados apresentados apontam que o modelo tem 73,5% de acurácia média levando em consideração os 49 municípios, não sendo identificados apenas 58 pontos dos 219 relatados pelas práticas da ciência cidadã.

A Figura 6 apresenta a acurácia dos resultados da aplicação da metodologia por município. Os municípios foram agrupados de acordo com as microrregiões de água e esgoto para melhor identificação de semelhanças e discrepâncias ao compará-los individualmente. As cores correspondem a mesma classificação já exibida na Figura 1. A partir da acurácia média do modelo (73,5%) representada pela faixa horizontal de cor preta, pode-se observar que 27 municípios possuem acurácia superior ao limite apresentado e 15 destes alcançaram valores máximos. Não se percebeu uma tendência no comportamento dos municípios, considerando a localização, os critérios utilizados na metodologia e o número de participantes nas audiências públicas realizadas, que justificassem este resultado.

Nota-se também que o município de Serra Grande foi o que mais se distanciou da acurácia média determinada, não coincidindo com nenhum dos pontos de alagamentos indicados pela população. Seu perímetro urbano está localizado em uma região de alta declividade, implicando em uma menor suscetibilidade de alagamentos. As áreas de menor altitude, onde poderiam sofrer com acúmulo das águas pluviais, já dispõem de um sistema de microdrenagem subsuperficial que comporta o volume de águas escoado superficialmente.



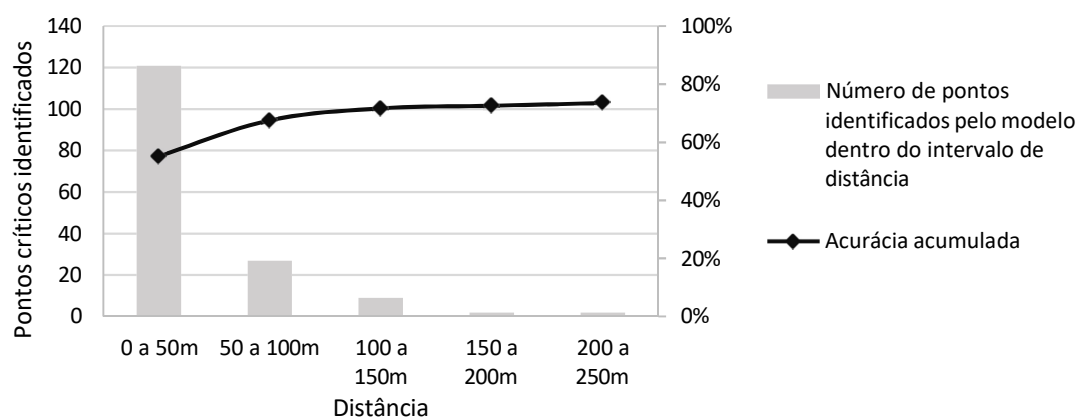
Fonte: Autoria própria (2023).

Os técnicos municipais não notificaram a existência de áreas alagadas na cidade de Serra Grande. Os pontos de alagamentos considerados para validação do modelo foram relatados pela população e estão localizados na região mais alta da cidade. Além disso, pelas curvas de nível da localidade percebe-se que o fluxo superficial tende a seguir para áreas não habitadas auxiliado pela alta declividade. Desse modo, a percepção de risco da comunidade pode influenciar fortemente nos dados coletados por ciência cidadã e os eventos adversos observados em períodos de chuvas podem não ser configurados como alagamento (ALI et al., 2022).

O gráfico da Figura 6 exibe os pontos identificados na metodologia pela distância apontada pela

população e técnicos municipais das localidades, além do comportamento da acurácia acumulada nesta mesma perspectiva. Observa-se que os resultados da simulação até uma distância de 50 m dos pontos indicados pela população possuem uma acurácia de 58%. Para distâncias até 100 m, a acurácia acumulada é equivalente à aproximadamente 70%.

**Figura 6.** Acurácia pela distância aos pontos críticos identificados através da Ciência Cidadã.



Fonte: Autoria própria (2023).

Nos modelos hidrodinâmicos, as simulações para implantação de dispositivos de microdrenagem utilizam as quadras adjacentes à área de interesse como unidades de planejamento, podendo apresentar distâncias superiores. No entanto, para distâncias superiores a 100 m dos problemas relatados, a acurácia torna-se constante nesse intervalo e possui pouca influência nos resultados. Ao comparar a acurácia obtida com os resultados de outros trabalhos (MALEKINEZHAD et al., 2021; ZHOU et al., 2021; BERTSCH et al., 2022) pode-se afirmar que o método proposto é adequado para identificar trechos de alagamentos validados com dados de ciência cidadã e que contribui efetivamente para a gestão de risco em grande escala.

As incertezas dos resultados obtidos estão relacionadas à baixa resolução espacial do MDE e às simplificações realizadas nos parâmetros hidráulicos de entrada, que levam à não identificação de áreas acometidas por pequenos alagamentos e de alterações do micro relevo de estruturas artificiais. Por outro lado, a aquisição de MDE de alta resolução espacial é onerosa e dificilmente está disponível open source, principalmente para municípios de pequeno porte. Assim, a implementação de um MDE com média resolução espacial acoplado a modelos hidrológico e hidrodinâmico pode reduzir a imprecisão dos resultados para fins de planejamento (MENG et al., 2019; FAVA et al., 2022).



Adicionalmente, os modelos hidrodinâmicos que empregam o SWMM integrados ao HEC-RAS são eficazes na simulação de cenários de inundação em larga escala. No entanto, em escalas de maior detalhamento, os resultados podem variar para os mesmos parâmetros de entrada quando estes não são calibrados e validados. Além do mais, a distribuição do modelo hidrológico requer um alto poder de processamento e uma maior quantidade de dados espaciais para obter resultados mais precisos da extensão das áreas alagadas (NATARAJAN E RADHAKRISHNAN, 2020; JHA E AFREEN, 2020).

Apesar dos parâmetros hidráulicos serem considerados constantes nas simulações, como a altura de lâmina d'água adotada, a dinâmica do crescimento urbano dos municípios estudados pode levar a uma relação diferente entre os resultados e as variáveis independentes tratadas no ambiente SIG (FENG et al., 2020). Nas áreas de expansão urbana, essa diferença está relacionada à imprecisão do coeficiente de Runoff e a definição precisa das classes de ocupação do solo. Consequentemente, os municípios com maiores áreas impermeabilizadas são afetados frequentemente com alagamentos e apresentam resultados mais acurados.

## CONCLUSÕES

Este estudo desenvolveu uma proposta de procedimento metodológico em ambiente SIG, baseada em um modelo hidrodinâmico simplificado, validado com dados de ciência cidadã, para identificar trechos críticos de alagamentos em municípios de pequeno porte. A metodologia considerou a intensidade pluviométrica, o uso e ocupação do solo, o coeficiente de Runoff, a declividade, o relevo local e as infraestruturas de drenagem para validar os pontos de alagamentos indicados pela população.

Os resultados mostraram que a variação do índice pluviométrico dos municípios não implica necessariamente em um aumento significativo dos trechos críticos de alagamentos identificados por esta abordagem, uma vez que as condições climáticas entre eles são semelhantes. Para o coeficiente de Runoff médio observou-se um aumento equivalente ao dobro de pontos de alagamentos indicados pela população em relação aos resultados nos municípios com maiores taxas de impermeabilização devido ao aumento da velocidade de escoamento e vazões de pico decorrentes de chuvas intensas. Apesar da maioria dos municípios analisados possuírem dispositivos de drenagem subsuperficiais, como galerias e bocas de lobo, a ausência de medidas compensatórias e de ordenamento territorial do solo adequado intensificaram a ocorrência de alagamentos nas áreas de expansão urbana.

A integração do modelo hidrodinâmico ao SIG permitiu simular cenários em grande escala, onde tornou-se possível a identificação dos trechos de transbordamento dos dispositivos de microdrenagem de





forma prática e menos onerosa, utilizando MDE com resolução espacial média. Entretanto, as incertezas inerentes aos parâmetros hidráulicos e às variáveis independentes, a padronização das dimensões dos dispositivos de drenagem, bem como a percepção de risco da comunidade, influenciou na precisão dos resultados. A fim de contornar estas limitações, recomenda-se a validação dos dados de vazão aferidos para situações reais de chuvas intensas e a consideração da variação espaço-temporal, pois as extensões de alagamentos observadas podem ser superestimadas. Ademais, pode-se realizar uma análise de sensibilidade das incertezas, considerando, além da localização das bocas de lobo, os impactos de sua geometria e do seu estado de conservação nos resultados.

Diante do exposto, os resultados das simulações hidrológicas para municípios de pequeno porte realizadas neste estudo e validados com dados de ciência cidadã possuem acurácia satisfatória e permitem que a gestão pública gerencie o risco de ocorrência de alagamentos, avalie o desempenho dos sistemas de drenagem existentes e planeje a expansão da zona urbana de forma eficiente.

## REFERÊNCIAS

- ACOSTA-CASTELLANOS, P.M.; ORTEGÓN, Y.A.C.; GRANADOS, N.R.P. Regionalization of IDF Curves by Interpolating the Intensity and Adjustment Parameters: Application to Boyacá, Colombia, South America. *Water*, v. 15, n. 561, 2023.
- ALI, A., RANA, I.A., ALI, A., NAJAM, F.A. Flood risk perception and communication: The role of hazard proximity. *Journal of Environmental Management* v. 316, 2022.
- ALVES, P.B.R., MELO FILHO, H., TSUYUGUCHI, B.B., RUFINO, I.A.A., FEITOSA, P.H.C. Mapping of flood susceptibility in Campina Grande County - PB: a spatial multicriteria approach. *Boletim de Ciências Geodésicas*, v. 24, pp. 28-43, 2018.
- ALASKA SATELLITE FACILITY DISTRIBUTED ACTIVE ARCHIVE CENTER - ASF DAAC. ALOS PALSAR Radiometric Terrain Corrected High Resolution. ASF Data Search VERTEX, 2015.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO – ANA. HIDROWEB. 2022. Disponível em: <[www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br)>. Acesso em: 29 set. 2022.
- ARAGÃO, R.; SANTANA, G. R.; COSTA, C. E. F. F.; CRUZ, M. A. S.; FIGUEIREDO, E. E.; SRINIVASAN, V. S. Chuvas intensas para o estado de Sergipe com base em dados desagregados de chuva diária. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, n.3, p.243-252, 2013.
- BERTILSSON, L., WIKLUND, K., TEBALDI, I.M., REZENDE, O.M., VERÓL, A.P., MIGUEZ, M.G. Urban flood resilience - A multi-criteria index to integrate flood resilience into urban planning. *Journal of Hydrology*, v. 573, 2019.
- BERTSCH, R., GLENIS, V., KILSBY, C. Building level flood exposure analysis using a hydrodynamic model. *Environmental Modelling & Software*, v. 156, 2022.



BRASIL. Cadernos Temáticos: Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas. 2016.

BRASIL. Manual de saneamento, 5th ed., Brasília, Funasa: 2019.

CASAL-CAMPOS, A., SADR, S.M.K., FU, G., BUTLER, D. Reliable, Resilient and Sustainable Urban Drainage Systems: An Analysis of Rubustness under Deep Uncertainty. *Environmental Science & Technology*, v. 52, 2018.

COSTACHE, R., BUI, D. T. Spatial prediction of flood potential using new ensembles of bivariate statistics and artificial intelligence: A case study at the Putna river catchment of Romania. *Science of The Total Environment*, v. 691, pp. 1098-1118, 2019.

DAO, D.A., KIM, D., TRAN, D.H.H. Estimation of rainfall threshold for flood warning for small urban watersheds based on the 1D-2D drainage model simulation. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* v. 36, pp. 735-752, 2022.

DAS, S., GUPTA, A. Multi-criteria decision based geospatial mapping of flood susceptibility and temporal hydro-geomorphic changes in the Subarnarekha basin, India. *Geoscience Frontiers*, v. 12, n. 5, 2021.

FAVA, M.C., MACEDO, M.B., BUARQUE, A.C.S., SARAIVA, A.M., DELBEM, A.C.B., MENDIONDO, E.M., Linking Urban Floods to Citizen Science and Low Impact Development in Poorly Gauged Basins under Climate Changes for Dynamic Resilience Evaluation. *Water*, v. 14, n. 1467, 2022.

FHWA. Highway Statistics. 1st ed., United States, 1996.

FELONI, E, MOUSADIS, I., BALTAS, E. Flood vulnerability assessment using a GIS-based multi-criteria approach: The case of Attica region. *Journal of Flood Risk Management*, 2020.

FENG, B., WANG, J., ZHANG, Y., HALL, B., ZENG, C. Urban flood hazard mapping using a hydraulic-GIS combined model. *Natural Hazards*, v. 100, pp. 1089-1104, 2020.

HAGHIGHATAFCHAR, S., YAMANEE-NOLIN, M., LARSON, M. A physically based model for mesoscale SuDS - an alternative to large-scale urban drainage simulations. *Journal of Environmental Management*, v. 240, pp. 527-536, 2019.

HULTQUIST, C., SHERBININ, A., BOWSER, A., SCHADE, S. Editorial: Open Citizen Science Data and Methods. *Frontiers in Climate*, v. 4, 2022.

JHA, M.K., AFREEN, S. Flooding Urban Landscapes: Analysis Using Combined Hydrodynamic and Hydrologic Modeling Approaches. *Water*, v. 12, 2020

LI, J. Exploring the potential of utilizing unsupervised machine learning for urban drainage sensor placement under future rainfall uncertainty. *Journal of Environmental Management* v. 296, 2021.

LIU, J., XU, Z., CHEN, F., CHEN, F., ZHANG, L. Flood Hazard Mapping and Assessment on the Angkor World Heritage Site, Cambodia. *Remote Sensing*. 2019.

MACHADO, R.E., CARDOSO, T.O., MORTENE, M.H. Determination of runoff coefficient (C) in catchments based on analysis of precipitation and flow events. *International Soil and Water Conservation Research*, v. 10, n. 2, p. 208-216, 2022.

MALEKINEZHAD, H., SEPEHRI, M., PHAM, Q., HOSSEINI, S., MESHRAM, S., VOJTEK, M. et al. Application of entropy weighting method for urban flood hazard mapping. *Acta Geophysica*, v. 69, pp. 841–854, 2021.

MAYS, L. W. *Water Resources Engineering*. 1st ed., John Wiley & Sons: New York, United States, pp. 1-761, 2001.

MENG, X., ZHANG, M., WEN, J., DU, S., XU, H., WANG, L. et al. A Simple GIS-Based Model for Urban Rainstorm Inundation Simulation. *Sustainability*, v. 11, 2019.

NATARAJAN, S., RADHAKRISHNAN, N. An Integrated Hydrologic and Hydraulic Flood Modeling Study for a Medium-Sized Ungauged Urban Catchment Area: A Case Study of Tiruchirappalli City Using HEC-HMS and HEC-RAS. *Journal of the Institution of Engineers: Series A* 101, pp. 381-398, 2020.



- NIGUSSIE, T.A., ALTUNKAYNAK, A. Modelling the effect of urbanization on flood risk in Ayamama Watershed, Istanbul, Turkey, using the MIKE 21 FM model. *Natural Hazards*, v. 99, pp. 1031-1047. 2019.
- OPENSTREETMAP. 2022. Disponível em: <<https://www.openstreetmap.org/>>. Acesso em: 25 set. 2022.
- PARAÍBA. Lei Complementar nº 168, de 21 de julho de 2021. *Diário Oficial: João Pessoa, Brazil*: pp. 1-5. 2021.
- PEREZ, L. P.; RODRIGUES-FILHO, S.; MARENGO, J. A.; SANTOS, D. V.; MIKOSZ, L. Climate change and disasters: analysis of the Brazilian regional inequality. *Sustainability in Debate*. v. 11, n. 3, p. 260-277. dez. 2020. DOI: 10.18472/SustDeb.v11n3.2020.33813
- PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO DA PARAÍBA. Diagnóstico Técnico-participativo. Disponível em: <<https://pmsb-funasa.uaec.ufcg.edu.br/index.php/municipios>>. Acesso em: 22 set. 2022.
- QIN, Y. Urban Flooding Mitigation Techniques: A Systematic Review and Future Studies. *Water*, v. 12, n. 3579, 2020.
- SANTOS, C.A.G., BRASIL NETO, R.M., SILVA, R.M., COSTA, S.G.F. Cluster Analysis Applied to Spatiotemporal Variability of Monthly Precipitation over Paraíba State Using Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Data. *Remote Sensing*, v. 11, n. 637, 2019.
- SAMELA, C., ALBANO, R., SOLE, A., MANFREDI, S. A GIS tool for cost-effective delineation of flood-prone areas. *Computers, Environment and Urban Systems*, v. 70, 2018.
- SÃO PAULO. Manual de drenagem e manejo de águas pluviais: gerenciamento do sistema de drenagem urbana. São Paulo, 1 ed., 2012, 168 p.
- SEE, L. A Review of Citizen Science and Crowdsourcing in Applications of Pluvial Flooding. *Frontiers in Earth Science*, v. 7, n. 44, 2019.
- SOUZA JR, C. M.; SHIMBO, J. Z.; ROSA, M. R.; PARENTE, L. L.; ALENCAR, A. A.; RUDORFF, B. F. T.; HAZENACH, H. Reconstructing three decades of land use and land cover changes in brazilian biomes with landsat archive and earth engine. *Remote Sensing*, 12(17), 2735. 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12172735>
- STEFANELLI, C.T., CASAGLI, N., CATANI, F. Landslide damming hazard susceptibility maps: a new GIS-based procedure for risk management. *Landslides*, v. 17, 2020.
- TAYYAB, M., ZHANG, J., HUSSAIN, M., ULLAH, S., LIU, X., KHAN, S.N. et al. GIS-Based Urban Flood Resilience Assessment Using Urban Flood Resilience Model: A Case Study of Peshawar City, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. *Remote Sensing* v. 13, n. 1864, 2021.
- TERMEH, S.V.R., KORNEJADY, A., POURGHASEMI, H.R., KEESSTRA, S. Flood susceptibility mapping using novel ensembles of adaptive neuro fuzzy inference system and metaheuristic algorithms. *Science of the Total Environment* v. 615, pp. 438–451, 2018.
- UNITED NATIONS. The World's Cities in 2018—Data Booklet, 2018, 29 p.
- VOJTEK, M., VOJTEKOVÁ, J., PHAM, Q. B. GIS-Based Spatial and Multi-Criteria Assessment of Riverine Flood Potential: A Case Study of the Nitra River Basin, Slovakia. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, v. 10, n. 578, 2021.
- XAVIER JÚNIOR, S.F.A., XAVIER, E.F.M., JALE, J.S., STOSIC, T., SANTOS, C.A.C. Multiscale entropy analysis of monthly rainfall time series in Paraíba, Brazil. *Chaos, Solitons and Fractals*, v. 151, 2021.
- XIE, J., CHEN, H., LIAO, Z., GU, X., ZHU, D., ZHANG, J., 2017. An integrated assessment of urban flooding mitigation strategies for robust decision making. *Environmental Modelling & Software*, v. 95, pp. 143-155, 2017.
- XU, D., OUYANG, Z., WU, T., HAN, B. Dynamic Trends of Urban Flooding Mitigation Services in Shenzhen, China. *Sustainability*, v. 12, n. 4299, 2020.
- ZHOU, Q., SU, Q., ARNBJERG-NIELSEN, K., REN, Y., LUO, J., YE, Z. et al. A GIS-Based Hydrological Modeling Approach for Rapid Urban Flood Hazard Assessment. *Water*, v. 13, n. 1483, 2021.
- BERNAL ARIAS, Diana Alexandra. A Rosa do deserto: hidropoéticas do lugar no habitar contemporâneo. 2015. 120 f. Dissertação.



[Mestrado em Geografia] — Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2015.

BRANDÃO, Gabriela Gazola. Naturezas do habitar: da metrópole à pequena cidade. 2016. Dissertação. [Mestrado em Arquitetura e Urbanismo] — Escola de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2016.

CAVALCANTE, Tiago Vieira. A casa da mãe de Deus comporta o (outro) mundo: dinâmicas geográficas no Santuário de Fátima em Fortaleza-CE. 2011. 158f. Dissertação. [Mestrado em Geografia] — Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

DAL GALLO, Priscila Marchiori. A ontologia da geografia à luz da obra de arte: o embate Terra-mundo em “Out of Africa”. 2015. 97 f. Dissertação. [Mestrado em Geografia] — Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2015.

DE PAULA, Fernanda. Constituições do habitar: reassentamento do Jd. São Marcos para o Jd. Real. 2010. Dissertação. [Mestrado em Geografia] — Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

DE PAULA, Luiz Tiago. Fenomenologia dos espaços públicos: entre as certezas e inseguranças da experiência urbana. 2016. 107 f. Dissertação. [Mestrado Interdisciplinar em Ciências Humanas e Sociais Aplicadas] — Faculdade de Ciências Aplicadas, Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2016.

FERREIRA, Rafael Bastos. Mundo-da-vida como fundamento vital para as políticas da adaptação. 2016. 97 f. Dissertação. [Mestrado Interdisciplinar em Ciências Humanas e Sociais Aplicadas] — Faculdade de Ciências Aplicadas, Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2016.

GALVÃO FILHO, Carlos Eduardo Pontes. Por abismos... casas... mundos... a geosofia como narrativa fenomenológica da geografia. 2016. Dissertação. [Mestrado em Geografia] — Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.

GONÇALVES, Thiago Rodrigues. O lugar-samba no Bixiga: memória e identidade. 2014. Dissertação. [Mestrado em Geografia] — Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2014.

HOLZER, Werther. A geografia humanista: sua trajetória de 1950 a 1990. 1992. Dissertação. [Mestrado em Geografia] — Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1992.

MARANDOLA, Hugo Leonardo. Marcas-matrizes na paisagem do bairro rural Elihu Root: um trilhar humanista. 2017. 109f. Dissertação. [Mestrado em Geografia] — Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2017.

REIS, Deyvid F. A cidade do morador de rua e o morador de rua na cidade. 2013. Dissertação. [Mestrado em Arquitetura e Urbanismo] — Escola de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2013.

ROCHA, Lurdes B. Signos e significados do Centro da cidade de Itabuna-BA. 2001. Dissertação. [Mestrado em Planejamento Urbano e Regional] — Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2001.

ROSAS, Gabrielle Mesquita Alves. A escola na escala do bairro: políticas públicas urbano-culturais e o legado do Programa Bairro Escola de Nova Iguaçu. 2016. 177f. Dissertação. [Mestrado em Arquitetura e Urbanismo] — Escola de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2016.

SUESS, Rodrigo Capelle. Geografia Humanista e ensino-aprendizagem: perspectivas em Formosa-GO. Brasília-DF, 2016. 171 p. Dissertação. [Mestrado em Geografia] — Instituto de Ciências Humanas, Universidade de Brasília, Brasília, 2016.