



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

AYANE APARECIDA DA SILVA RIBEIRO

**APLICAÇÃO DE SMARTPHONES NA ENGENHARIA: LEVANTAMENTO DE
MANCHAS DE INUNDAÇÃO UTILIZANDO O APLICATIVO HIDROMAPP**

Caruaru

2019

AYANE APARECIDA DA SILVA RIBEIRO

**APLICAÇÃO DE SMARTPHONES NA ENGENHARIA: LEVANTAMENTO DE
MANCHAS DE INUNDAÇÃO UTILIZANDO O APLICATIVO HIDROMAPP**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Civil do Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Recursos Hídricos.

Orientador: Prof^o. Dr. José Almir Cirilo.

Caruaru

2019

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Simone Xavier - CRB/4 - 1242

R484a Ribeiro, Ayane Aparecida da Silva.
Aplicação de smartphones na engenharia: levantamento de manchas de inundação utilizando o aplicativo Hidromapp. / Ayane Aparecida da Silva Ribeiro. – 2019.
56 f. il. : 30 cm.

Orientador: José Almir Cirilo.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Engenharia Civil, 2019.
Inclui Referências.

1. Engenharia Civil. 2. Inovação. 3. Avaliação de riscos. 4. Smartphones. I. Cirilo, José Almir (Orientador). II. Título.

CDD 620 (23. ed.)

UFPE (CAA 2019-104)

AYANE APARECIDA DA SILVA RIBEIRO

**APLICAÇÃO DE SMARTPHONES NA ENGENHARIA: LEVANTAMENTO DE
MANCHAS DE INUNDAÇÃO UTILIZANDO O APLICATIVO HIDROMAPP**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Civil do Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em: 08/07/2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Almir Cirilo (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Artur Paiva Coutinho (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Saulo de Tarso Marques Bezerra (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Elder Alpes de Vasconcelos (Coordenador da disciplina de TCC)
Universidade Federal de Pernambuco

Dedico este trabalho a Deus, que nos criou e foi engenhoso nesta tarefa. Seu fôlego de vida me foi sustento e me deu coragem para questionar e propor sempre um mundo de possibilidades. E, a minha família, especialmente a meus pais, João Luna Ribeiro Filho e Silvania Maria Silvestre da Silva Ribeiro.

AGRADECIMENTOS

À Deus, meu guia, infinita fonte de força e inspiração.

Ao Prof. José Almir Cirilo, meu orientador e amigo, por toda confiança a mim creditada, ensinamentos e incentivos.

À Gabriel Araujo de Oliveira, o idealizador do Hidromapp, o qual acompanhou e instruiu todas as fases do estudo com zelo, entusiasmo e muito empenho.

À toda minha família, em especial aos meus pais, João Luna Ribeiro Filho e Sylvania Maria Silvestre da Silva Ribeiro e aos meus irmãos, Amanda Nayane da Silva Ribeiro e João Arthur da Silva Ribeiro, pelos ensinamentos de vida e por me encorajarem na realização dos meus objetivos.

À minha querida e inesquecível avó, Josefa Silvestre da Silva (in memoriam), que foi o meu referencial de força e amor.

Às minhas amigas do colegial, Ana Virginia, Iolanda Beatriz, Jadelma Luanna e Karoline Felix, por acreditarem que um dia eu seria engenheira civil.

À minha amiga Suellen Barros e a minha prima Karoline Pinheiro, que com zelo e paciência me auxiliaram em todo o levantamento em campo.

À toda equipe do Edifício River Place, pela oportunidade de crescimento pessoal e profissional adquiridos durante o estágio curricular.

À todos os meus amigos de graduação, em especial a Allan Cláudio, Amanda Carvalho, Anderson Ferreira, Felipe Fernandes, Hellen Xavier, Igor Antonio, Igor Lacerda, Isabela Coelho, Kennendh Anderson, Luana Chagas, Lucas Caitano, e Sabrina Corrêa, essa vitória é nossa.

À todo o corpo docente do curso de Engenharia Civil, em especial a José Almir Cirilo e Saulo de Tarso Marques Bezerra por despertarem em mim a estima pela área de Recursos Hídricos.

À Universidade Federal de Pernambuco representada por todos os professores e funcionários.

À todas as pessoas que, ao longo de minha vida, se tornaram grandes amigos.

Obrigada.

“Não fui eu que ordenei a você? Seja forte e corajoso! Não se apavore nem desanime, pois o Senhor, o seu Deus, estará com você por onde você andar”.

Josué 1:9

RESUMO

A possibilidade de múltiplos usos dos dispositivos móveis (*tablets, smartphones, entre outros*) na vida contemporânea, aliado à crescente popularização dos mesmos remete a difusão de novas tecnologias. Neste contexto, o presente estudo buscou investigar a probabilidade de utilização de aplicativos móveis em *smartphones*, especificamente o aplicativo Hidromapp, como ferramenta técnica de suporte para a coleta de marcas de inundações, bem como a utilização dos fatos fornecidos para o mapeamento de áreas de risco. As inundações são desastres súbitos e eventos inesperados, geralmente acompanhados de perdas de vidas, que ocasionam em parte ou em toda uma comunidade prejuízos, ruptura temporária nos sistemas vitais, danos materiais e consideráveis distúrbios nas atividades econômicas e sociais. Para tal, foram recolhidas informações distribuídas ao longo das margens do Rio Pirangi e da mancha de inundação referente ao evento ocorrido em maio de 2017 no município de Jaqueira. As informações foram posteriormente utilizadas como dados de entrada para a modelagem e reconstituição da mancha, por meio de técnicas de geoprocessamento utilizando o *software* QGIS. Destarte, o produto gerado pelo estudo atingiu as metas propostas, validando a utilização do aplicativo Hidromapp para gerar informações de cunho técnico através do mapeamento das áreas de risco do município de Jaqueira. Estrutura-se, assim, como uma ferramenta de alto valor agregado à gestão municipal, pois a partir do mapa é possível elaborar medidas preventivas, planificar as situações de emergência e estabelecer ações conjuntas entre a comunidade e o poder público, com o intuito de promover a defesa permanente contra os desastres naturais.

Palavras-chave: Engenharia. Inovação. Mapeamento de risco.

ABSTRACT

The possibility of multiple uses of mobile devices (tablets, smartphones, among others) in contemporary life, coupled with the increasing popularization of these devices, refers to the diffusion of new technologies. In this context, the present study sought to investigate the probability of using mobile applications on smartphones, specifically the Hidromapp application, as a technical support tool for the collection of flood marks, as well as using the facts provided for the mapping of risk areas. Floods are sudden disasters and unexpected events, often accompanied by loss of life, which cause in part or in a whole community losses, temporary rupture in vital systems, property damage and considerable disturbances in economic and social activities. For this, information distributed along the banks of the Pirangi River and the floodplain for the event occurred in May 2017 in the municipality of Jaqueira was collected. The information was later used as input data for the modeling and reconstitution of the spot by means of geoprocessing techniques using the QGIS software. Thus, the product generated by the study reached the goals proposed, validating the use of the Hidromapp application to generate technical information through the mapping of the risk areas of the municipality of Jaqueira. It is therefore a tool of high added value to municipal management, since from the map it is possible to elaborate preventive measures, to plan the emergency situations and to establish joint actions between the community and the public power, with the intention of promoting the permanent defense against natural disasters.

Keywords: Engineering. Innovation. Risk mapping.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução do aumento do nível das águas do leito do rio.	20
Figura 2 – Informações que podem ser fornecidas ao Hidromapp.	23
Figura 3 – Imagens obtidas da <i>API Google Street View</i> disponíveis no Hidromapp.	24
Figura 4 – Localização do município de Jaqueira - PE.	25
Figura 5 – Regime pluviométrico do município de Jaqueira.	27
Figura 6 – Panorama de chuvas em Alagoas e Pernambuco (maio de 2017).	28
Figura 7 – Desabrigados e desalojados pelas chuvas em Pernambuco em 2017.	29
Figura 8 – Impactos da inundação ocorrida no município de Jaqueira em 2017.	29
Figura 9 – Interface inicial do Hidromapp.	31
Figura 10 – Etapa referente ao georreferenciamento no aplicativo Hidromapp.	32
Figura 11 – Etapa referente ao registro da altura de inundação no aplicativo.	33
Figura 12 – Registro de dados adicionais ao acervo do Hidromapp.	33
Figura 13 – Etapa referente à finalização da colaboração.	34
Figura 14 – Registro colaborativo no município de Jaqueira.	35
Figura 15 – Pontos coletados ao longo da margem do rio Pirangi.	35
Figura 16 – Dados altimétricos (PE3D) e pontos coletados.	37
Figura 17 – Disposição da ferramenta <i>add raster values to feature</i> no <i>software</i>	37
Figura 18 – Vetor com cotas altimétricas provenientes do MDT.	38
Figura 19 – Segregação dos pontos de calibração e validação do modelo.	40
Figura 20 – Verificação da interpolação do TPS.	41
Figura 21 – Mancha de inundação do município de Jaqueira.	42
Figura 22 – Registro de altura inundada através do modo de deslizar sobre a tela.	43
Figura 23 – Mancha de inundação reconstituída Jaqueira/PE - Maio de 2017.	48
Figura 24 – Regiões habitadas com alto índice de dano agregado.	49
Figura 25 – Região com base de dados deficiente.	50
Figura 26 – Regiões inundadas sem conectividade hidráulica.	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Monitoramento Pluviométrico em Jaqueira (Maio/2017).	27
Tabela 2 – Parâmetros usados para o modelo calibrado.	46
Tabela 3 – Resultado da validação da mancha de inundação reconstituída	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

API	Application Programming Interface
GPS	Global Positioning System
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
IDW	Inverse Distance Weighted
LiDAR	Light Detection And Ranging
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDT	Modelo Digital do Terreno
PE3D	Pernambuco Tridimensional
TPS	Thin Plate Spline

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	JUSTIFICATIVA	16
3	OBJETIVOS	18
3.1	OBEJTIVO GERAL	18
3.2	OBEJTIVOS ESPECÍFICOS	18
4	REFERENCIAL TEÓRICO	19
4.1	MAPEAMENTO DE ÁREAS DE INUNDAÇÃO	19
4.2	APLICAÇÃO DE SMARTHPHONES NA ENGENHARIA	21
4.3	APLICATIVO HIDROMAPP	23
5	METODOLOGIA	25
5.1	ÁREA DE ESTUDO E EVENTO RECONSTITUÍDO	25
5.2	LEVANTAMENTO DE DADOS EM CAMPO	30
5.3	RECONSTITUIÇÃO DA MANCHA DE INUNDAÇÃO	36
6	RESULTADOS	43
6.1	DESEMPENHO DO APLICATIVO HIDROMAPP	43
6.2	DISPONIBILIDADE PARA OBTENÇÃO DE DAOS	44
6.3	MANCHA RECONSTITUÍDA	45
7	CONCLUSÕES	52
8	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	53
	REFERÊNCIAS	54

1 INTRODUÇÃO

As inundações são mais antigas que a existência do homem, pois são fenômenos naturais dos regimes dos rios, presentes no ciclo hidrológico de qualquer curso hídrico (TUCCI; BERTONI, 2003). No entanto, a ocupação antrópica ao longo das bacias hidrográficas pode ocorrer sem um planejamento adequado, com reduzida preocupação acerca da preservação do meio ambiente (TUCCI, 2013). Ao ocupar as várzeas e as planícies fluviais é comum o enfrentamento, por parte da população, de problemas com o regime fluvial dos rios, onde se verifica a ocorrência de enchentes e inundações (ALVES et al., 2013).

Não é possível controlar o aumento do número de ocorrências das inundações severas. Por outro lado, medidas preventivas e mitigadoras devem se tornar mais eficazes e acessíveis, objetivando diminuir os danos e o número de pessoas afetadas. Segundo Yalcin e Akyurek (2004), alguns problemas relacionados às inundações podem ser solucionados através de estudos planejados e projetos detalhados sobre as áreas propensas a estes eventos. Oliveira et al. (2004) comentam que o zoneamento do território baseado na avaliação da susceptibilidade e do risco é considerado um instrumento fundamental para a integração dos riscos no planejamento urbano.

Assim, um mapa de zoneamento de risco pode representar um bom instrumento para a administração de uma cidade com relação à sua manutenção e preservação de sua estrutura, tanto a respeito às questões físicas quanto sociais. Visando à mitigação de perdas materiais e humanas em face dos grandes desastres hidrológicos, permitindo também o uso racional de áreas ribeirinhas.

No entanto, vários municípios não possuem em seu cadastro técnico as áreas estimadas de inundação. Seja pela deficiência do seu quadro profissional, uma vez que os instrumentos geralmente usados para este tipo de levantamento requerem mão de obra especializada, ou até mesmo pela fragilidade econômica enfrentada pelos mesmos, onde a escassez de recursos se faz presente. Ante a situação exposta, a utilização de aplicativos móveis que desempenham atividades semelhantes tem permitido um mundo de novas possibilidades ao campo da engenharia. Tanto pelo baixo custo aliado à operação quanto pela facilidade de manuseio das plataformas disponíveis.

Neste contexto pretende-se com este trabalho investigar as possibilidades de utilização de aplicativos móveis em *smartphones*, especificamente o aplicativo Hidromapp, como ferramenta técnica de suporte para a coleta de marcas de inundações, e também, a utilização das informações coletadas para o mapeamento de áreas de inundação.

2 JUSTIFICATIVA

Nas últimas décadas, estudos têm demonstrado o aumento de frequência e intensidade da ocorrência de desastres naturais, bem como a relação dos seus impactos com as condições sociais e econômicas dos locais atingidos. Cerca de 226 milhões de pessoas são afetadas por desastres naturais e 102 milhões de pessoas são afetados por inundações a cada ano no mundo (BRASIL, 2018). Ante aos fatos supracitados, o mapeamento de áreas de riscos é essencial em todas as fases da gestão de desastres, identificando os locais que demandam monitoramento, a fim de servir como indicador para recuperação das áreas atingidas, contribuindo desta forma para mitigação dos danos causados as populações afetadas.

Na prevenção aos desastres naturais, inúmeras medidas podem ser adotadas. Englobam-se em dois grandes grupos: o das medidas estruturais e o das não estruturais. As de maior eficiência, sem dúvida, estão no primeiro grupo, entretanto, a maioria inviabilizada pelo seu alto custo, já que se traduzem na execução de obras complexas e que exigem alta tecnologia. O segundo grupo, mesmo sendo considerado o de menor dispêndio agregado, em muitos municípios chegam a ser inviáveis devido ao custo intrínseco dos equipamentos usados.

Em consonância aos entraves apresentados e a crescente popularização dos avanços tecnológicos dos *smartphones* na última década, muitos aplicativos têm sido desenvolvidos para os mais diversos fins e ramos de atividades. A capacidade de multitarefa, aliada ao baixo custo e simplicidade operacional os torna uma ferramenta factível a locais onde os recursos financeiros são escassos. Além de abrir horizontes para campos da engenharia ainda em desenvolvimento.

Aliada a práticas de geoprocessamento, a ferramenta usada, até então testada apenas de forma colaborativa, cumpre o papel de mapear as planícies de inundação de um município sem recursos financeiros e capacidade técnica limitada. Validando dessa forma o aplicativo a fins técnicos.

No tocante à metodologia usada, o modelo empírico, realizado através de dados observados, caracteriza-se pela fácil execução e possibilidade de geração de bons resultados, contrastando com o modelo hidrodinâmico que possui uma metodologia complexa e robusta para apresentação de resultados satisfatórios.

Por fim, o mapeamento de áreas inundáveis para o município de Jaqueira fundamenta-se como uma poderosa ferramenta para o poder municipal nas tomadas de decisões quanto ao uso e ocupação de área sujeita a inundação.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Reconstituir a mancha de inundação ocorrida em 28 de maio 2017 no município de Jaqueira – PE através do levantamento de dados com o aplicativo Hidromapp e técnicas de geoprocessamento.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Coletar dados georreferenciados acerca da inundação ocorrida no município de Jaqueira em maio de 2017, utilizando o aplicativo Hidromapp;
- Analisar a viabilidade de utilização do aplicativo Hidromapp para a coleta de marcas de cheia, incluindo limitações e aspectos à serem aprimorados;
- Averiguar potencialidades e limitações para a reconstituição de manchas de inundação através de metodologias empíricas (processamento de dados observados) em Sistemas de Informações Geográficas.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 MAPEAMENTO DE ÁREAS DE INUNDAÇÃO

No que concerne à mitigação de problemas sociais e econômicos, um ponto a ser tratado com ênfase é a ocorrência de inundações, uma vez que, segundo Freitas e Ximenes (2012) dentre os inúmeros impactos ambientais que afetam a vida de milhões de pessoas no mundo, as inundações atingem cerca de 102 milhões por ano. Suas causas e consequências, bem como as respostas e as ações para prevenção e mitigação vêm se tornando temas de grande interesse após inúmeros alertas da comunidade científica sobre o potencial de mudanças ambientais em larga escala, como as alterações climáticas, resultarem no aumento da frequência e intensidade das chuvas e de outros eventos extremos.

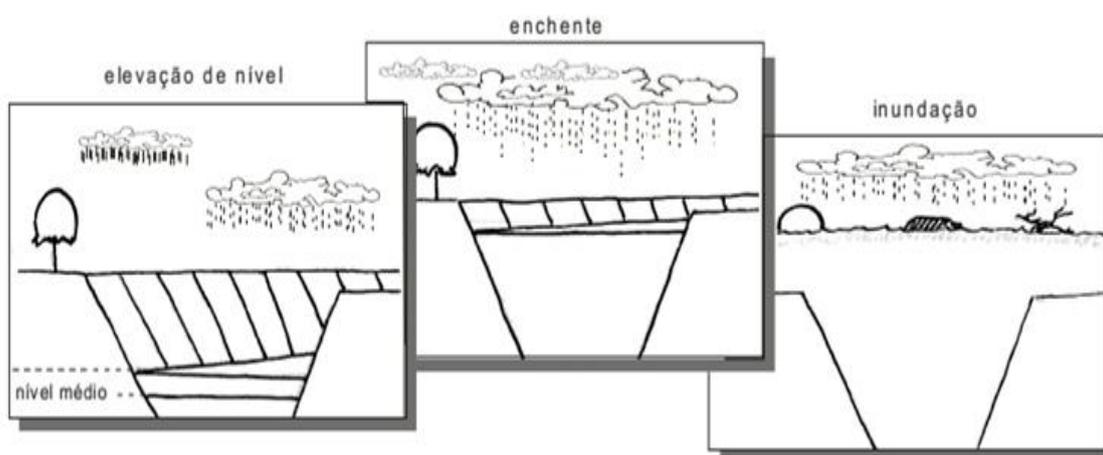
Conforme ECLAC (2003), desastres são súbitos e inesperados eventos, geralmente acompanhados de perdas de vidas, que ocasionam em parte ou em toda uma comunidade prejuízos, ruptura temporária nos sistemas vitais, danos materiais e consideráveis distúrbios nas atividades econômicas e sociais. A Organização das Nações Unidas, através do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento sugere que um desastre natural pode ser entendido como os efeitos da ocorrência de um perigo natural, onde os danos e prejuízos gerados excedem a capacidade de uma comunidade ou sociedade em lidar com o desastre (UNDP, 2004).

No Brasil, entre 1995 e 2014 foram registradas aproximadamente 9 mil ocorrências de desastres hidrológicos, que juntos somam a quantia de aproximadamente 72 bilhões de reais em danos e prejuízos causados, de acordo com o Relatório de Danos Materiais e Prejuízos decorrentes de Desastres Naturais no Brasil – 1995-2014 (UFSC, 2016). Na Região Nordeste, no mesmo período, foram registradas aproximadamente 2 mil ocorrências de desastres hidrológicos, totalizando uma perda de 14 bilhões de reais.

Esses dados demonstram que a recorrência de inundações no país, e seus impactos causados, demandam o desenvolvimento de trabalhos e realização de ações voltadas para a redução dos riscos relacionados aos desastres hidrológicos. Entre as medidas recomendadas, destaca-se o mapeamento de áreas de inundações.

A inundação, popularmente tratada como enchente é o aumento do nível dos rios além da sua vazão normal, ocorrendo o transbordamento de suas águas sobre as áreas próximas a ele, conforme ilustra a Figura 1. Estas áreas planas próximas aos rios sobre as quais as águas extravasam são chamadas de planícies de inundação. Quando não ocorre o transbordamento, apesar do rio ficar praticamente cheio, tem-se uma enchente e não uma inundação. Deste modo, os termos “inundação” e “enchente” devem ser usados com diferenciação.

Figura 1 – Evolução do aumento do nível das águas do leito do rio.



Fonte: (KOBİYAMA et al., 2006).

O desenvolvimento urbano brasileiro produz um aumento na frequência das inundações devido à impermeabilização do solo, canalização dos cursos d’água e efeitos provocados pela formação de ilhas de calor que ocorrem em áreas densamente urbanizadas, e são responsáveis por chuvas mais intensas e localizadas. As regiões baixas das cidades, planícies de inundações, ou os fundos de vale são identificados como locais problemáticos.

Conforme Enomoto (2004), o mapeamento de áreas de risco de inundação é uma ferramenta auxiliar muito poderosa no controle e prevenção de inundações. Estes mapas deveriam ser a base para todos os programas de redução de danos, pois frequentemente têm uma importância legal em termos de zoneamento e outras medidas não estruturais (FRIESECKE, 2004).

Marcelino, Nunes e Kobiyama (2006) argumentam que um dos instrumentos de análise de risco mais eficiente é o mapeamento de áreas de risco. A partir deste mapa   possível elaborar medidas preventivas, planificar as situações de

emergência e estabelecer ações conjuntas entre a comunidade e o poder público, com o intuito de promover a defesa permanente contra os desastres naturais.

Shidawara (1999) argumenta que os mapas de risco possuem um grande papel no sistema de prevenção de inundação, pois em municípios pequenos e com poucos recursos econômicos torna-se muito difícil a implantação de sistemas mais sofisticados, como monitoramento e sistemas de alerta.

Para Kobiyama et al. (2006), os mapas de risco visam suprir uma das maiores deficiências relacionadas aos desastres naturais no Brasil, que é a ausência de sistemas de alertas, uma das ferramentas fundamentais para a prevenção de desastres naturais, especialmente os súbitos.

Segundo Kobiyama et al. (2006), há três distintas metodologias para execução do mapeamento. O modelo empírico, geralmente realizado após à ocorrência do fenômeno, onde a área atingida é verificada em levantamento de campo e considerada como área de perigo, o semi-empírico, que além de caracterizar a área atingida como área de perigo, os fatores ambientais também são analisados, sendo que os valores críticos de fatores que podem causar o mesmo fenômeno são determinados numericamente e, por fim, a metodologia física, em que são analisados os mecanismos de ocorrência de determinado fenômeno com base nas leis físicas.

Ademais, o modelo empírico pontua positivamente quando os quesitos em pauta são simplicidade operacional e baixo custo associado, abrindo mão da necessidade de uma equipe técnica robusta para realização do mapeamento. De maneira análoga, a proposta do levantamento de dados realizado através de um *smartphone* agrega ao campo de aplicação de tecnologias voltada à engenharia.

4.2 APLICAÇÃO DE SMARTPHONES NA ENGENHARIA

O alcance dos *smartphones* no Brasil continua crescendo no país. Cada vez mais as pessoas utilizam esse aparelho tanto na vida pessoal quanto no trabalho. Segundo pesquisa da DELOITTE (2018), o celular é o dispositivo a que os entrevistados brasileiros mais tiveram acesso no último ano (92%). Houve um aumento de cinco pontos percentuais em relação a 2017, quando esse índice foi de 87%.

É notável a presença e o impacto destes dispositivos móveis (*tablets*, *smartphones*) na vida contemporânea, tomando como exemplo os *smartphones*, que podem ser definidos como telemóveis que oferecem recursos avançados, como é o caso do GPS integrado. Dadas as capacidades e funcionalidades destes dispositivos, e do fato de muitos destes equipamentos estarem equipados com módulos GPS, surgiram no mercado aplicações que permitem o seu uso como sistemas de navegação e/ou localização, demonstrando ilimitadas opções de trabalho.

Frente ao panorama exposto, ressalta-se que a possibilidade de múltiplo uso dos dispositivos supracitados, aliado à crescente popularização dos mesmos, remete à difusão de novas tecnologias. E, não obstante, é de senso comum que a engenharia sempre foi vista como sinônimo de desenvolvimento, por ser essencial na ampliação da infraestrutura para melhoria na qualidade de vida e de serviços prestados à sociedade, solucionando ainda problemas de caráter social e econômico.

Como exemplo ao exposto, Oliveira et al. (2017) analisaram a condição da superfície em rodovias do estado do Ceará com uso do *smarthphone*, visando determinar as condições de superfície de vias pavimentadas com revestimento em concreto betuminoso usinado a quente, tratamento superficial duplo e concretocimento, por meio de um dispositivo móvel. As características consideradas estavam associadas à textura e aos defeitos de superfície, concluindo resultados semelhantes aos fornecidos pelos órgãos rodoviários.

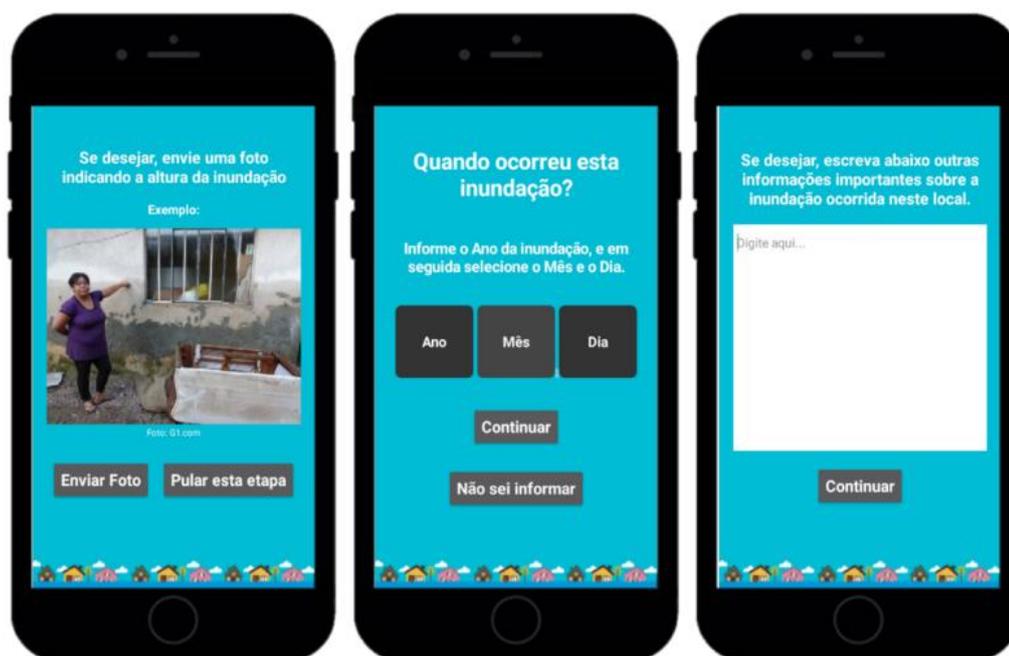
Bisconsin e Júnior (2018), por sua vez investigaram a avaliação da irregularidade longitudinal de pavimentos com dados de *smartphones*, a partir de sua aplicação como um medidor do tipo resposta e por meio de coleta colaborativa de usuários para a geração de um modelo de aprendizagem de máquina. O objetivo foi desenvolver um sistema de avaliação da condição funcional de pavimentos eficaz e com custo reduzido.

Como se pode notar, é possível observar a crescente expansão no desenvolvimento de aplicativos móveis para finalidades técnicas, criando uma rede ilimitada de oportunidades a baixo custo associado.

4.3 APLICATIVO HIDROMAPP

Desenvolvido por Oliveira (2017) e inicialmente denominado Hidromapa, o aplicativo possibilita o mapeamento colaborativo de informações sobre eventos hidrológicos e foi concebido a priori para ser utilizado por estudantes de ensino médio. Por meio dessa plataforma, os colaboradores podem informar pontos na cidade que foram atingidos por inundações e suas respectivas cotas atingidas, além de outras informações, como danos causados e localização de moradores vulneráveis (Figura 2).

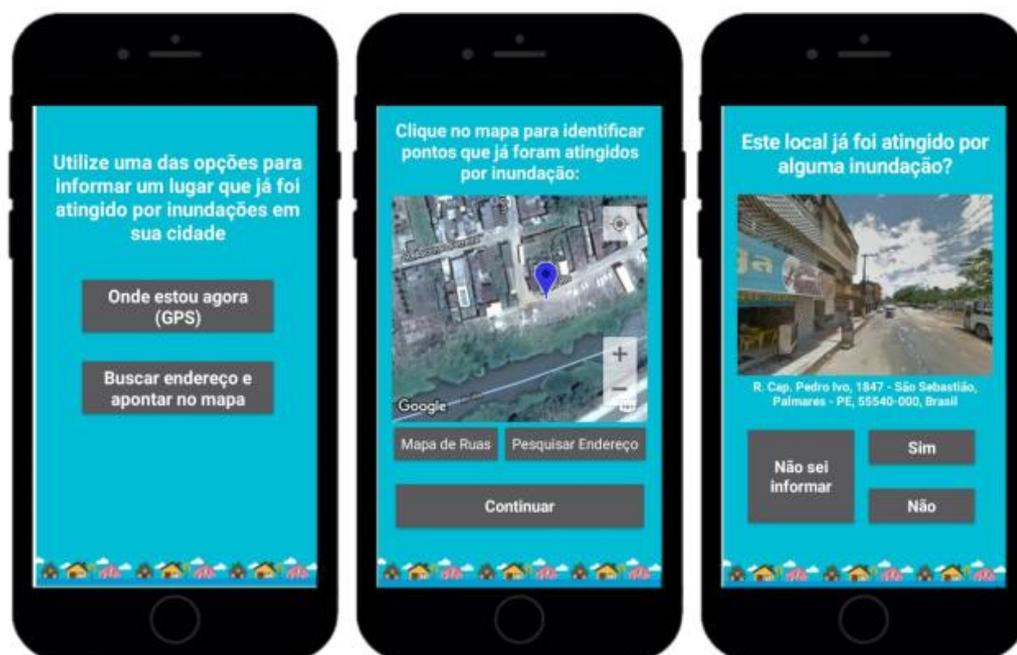
Figura 2 – Informações que podem ser fornecidas ao Hidromapp.



Fonte: (HIDROMAPP, 2019).

Para ampliar a confiabilidade do posicionamento das informações colaboradas, o sistema possui recursos que facilitam a identificação dos lugares almejados pelos usuários, como a localização por endereço e a partir de coordenadas geográficas obtidas automaticamente pelos serviços de localização (GPS) existentes em *smartphones*. O aplicativo apresenta também imagens das ruas, obtidas por meio da *API Google Street View*, facilitando assim a identificação do lugar ao qual se referem as informações colaboradas, buscando ampliar a confiabilidade do posicionamento, conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3 – Imagens obtidas da *API Google Street View* disponíveis no Hidromapp.



Fonte: (HIDROMAPP, 2019).

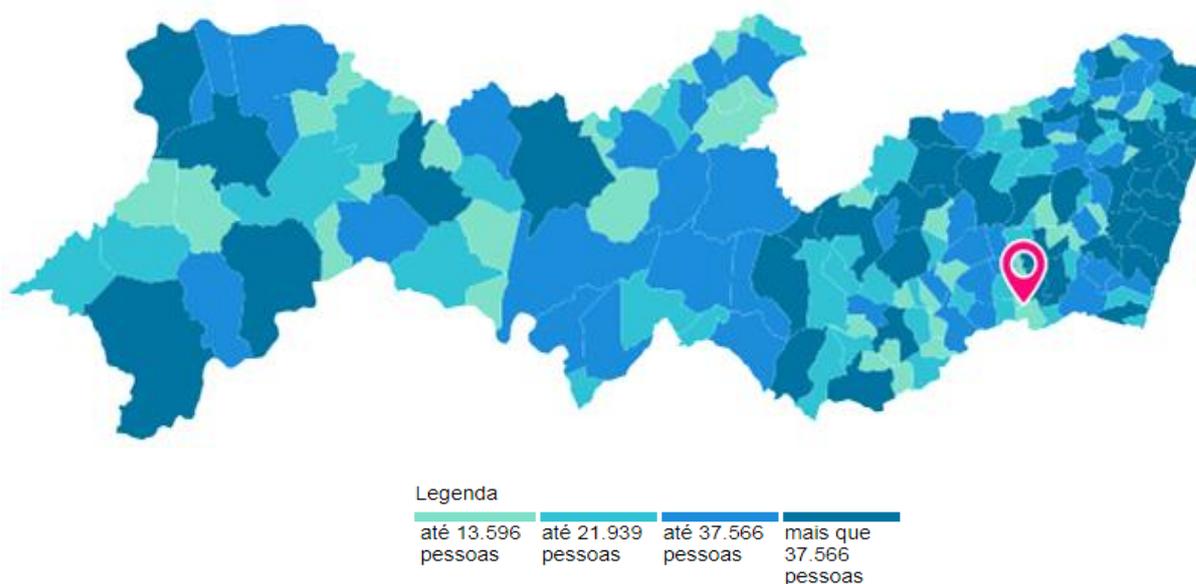
Ante as funcionalidades apresentadas, o aplicativo assume o papel de protagonista frente ao levantamento de dados que precede o mapeamento empírico. Testado inicialmente como ferramenta de recolhimento de informações voluntárias, o mesmo aventura-se a fim de validar informações de cunho técnico, tornando-se um elo entre os avanços tecnológicos e a engenharia.

5 METODOLOGIA

5.1 ÁREA DE ESTUDO E EVENTO RECONSTITUÍDO

Jaqueira é um município brasileiro do estado de Pernambuco (Figura 4), também conhecido como princesa do Pirangi, sendo criado com a denominação de colônia Isabel, pela lei municipal nº 57, de 17 de dezembro de 1904. Possui uma área de 87,208 km² e uma estimativa de população de 11.668 habitantes, dos quais 38,4% são considerados rurais e 61,6% urbanos (IBGE, 2018). O município possui uma economia frágil, na qual a renda da população deriva-se basicamente da agropecuária e de serviços ofertados pela gestão municipal. Em consonância ao exposto, a cidade ocupa a 117^o posição (R\$ 7704,66) no ranking do PIB per capita com 185 posições (IBGE, 2016). De acordo com o último recenseamento demográfico, a cidade apresentou uma densidade demográfica de 131,88 hab/km² e um IDHM (Índice de Desenvolvimento Humano Municipal) de 0,575 (IBGE, 2010).

Figura 4 – Localização do município de Jaqueira - PE.



Fonte: (IBGE, 2018).

Diante ao panorama apresentado, a área urbana municipal possui maior contribuição demográfica, quando comparada com o município inteiro. Tornando-se notável que qualquer impacto causado pela ocorrência de um desastre na área urbana, certamente causará um grande impasse em todo o município, pois é nela

que se encontram serviços básicos, a administração municipal, quantidade considerável dos domicílios residenciais, entre outros. Neste sentido, o município de Jaqueira localiza-se na Bacia do Rio Una (Região da Mata Sul), sendo esta a região mais afetada por eventos extremos de inundações no Estado de Pernambuco.

Considerada como a maior inundação registrada na região, em junho de 2010, Pernambuco enfrentou a pior temporada de chuvas até então relatada. Neste evento, as perdas e danos foram significativos, com um total estimado em R\$ 3,4 bilhões, concentrados principalmente no setor social. Apenas no setor habitacional, registraram-se mais de 16 mil casas populares destruídas, com prejuízos estimados em R\$ 2 bilhões, representando assim 62% do custo total do desastre. As áreas de educação e saúde sofreram perdas avaliadas em R\$ 286,5 milhões e R\$ 145,5 milhões, respectivamente. Esse padrão sugere uma concentração do impacto sobre a população de baixa renda e sobre o setor público (BANCO MUNDIAL, 2012).

Além do município de Jaqueira, 66 municípios foram afetados, dos quais 42 decretaram estado de calamidade pública ou situação de emergência depois que ondas em alta velocidade e com alto poder de destruição derrubaram casas, hospitais, prédios da administração pública, escolas, estabelecimentos comerciais, pontes, estradas e outros equipamentos.

Reincidindo o cenário caótico, durante os dias 27 e 28 de maio de 2017, municípios da Mata Sul e Agreste Pernambucano passaram por mais um desastre hidrológico. As inundações voltaram a impactar a infraestrutura física das cidades e a causar danos humanos, deixando quase 3,3 mil desabrigados e 36 mil desalojados nas cidades que decretaram estado de emergência. Neste evento, mais de 5.000 casas foram danificadas e cerca de 250 destruídas, estradas vicinais, rodovias, pontilhões, bueiros e estruturas de serviços básicos, foram direta ou indiretamente afetados (CREA-PE, 2017).

Tomando como objeto de estudo neste trabalho o município de Jaqueira e a inundação ocorrida em maio de 2017, foram registradas precipitações de até 200 milímetros em apenas um dia, conforme descrito na Tabela 1. Fato com comportamento irregular quando comparado ao regime pluviométrico do município em períodos anteriores, conforme ilustra a Figura 5 abaixo. Ante ao exposto, em maio de 2017, o volume precipitado foi equivalente a 632 mm, mais que o quádruplo esperado para a época. As fortes chuvas que se abateram sobre a região foram causadas pela confluência e intensificação de ventos úmidos nos baixos níveis da

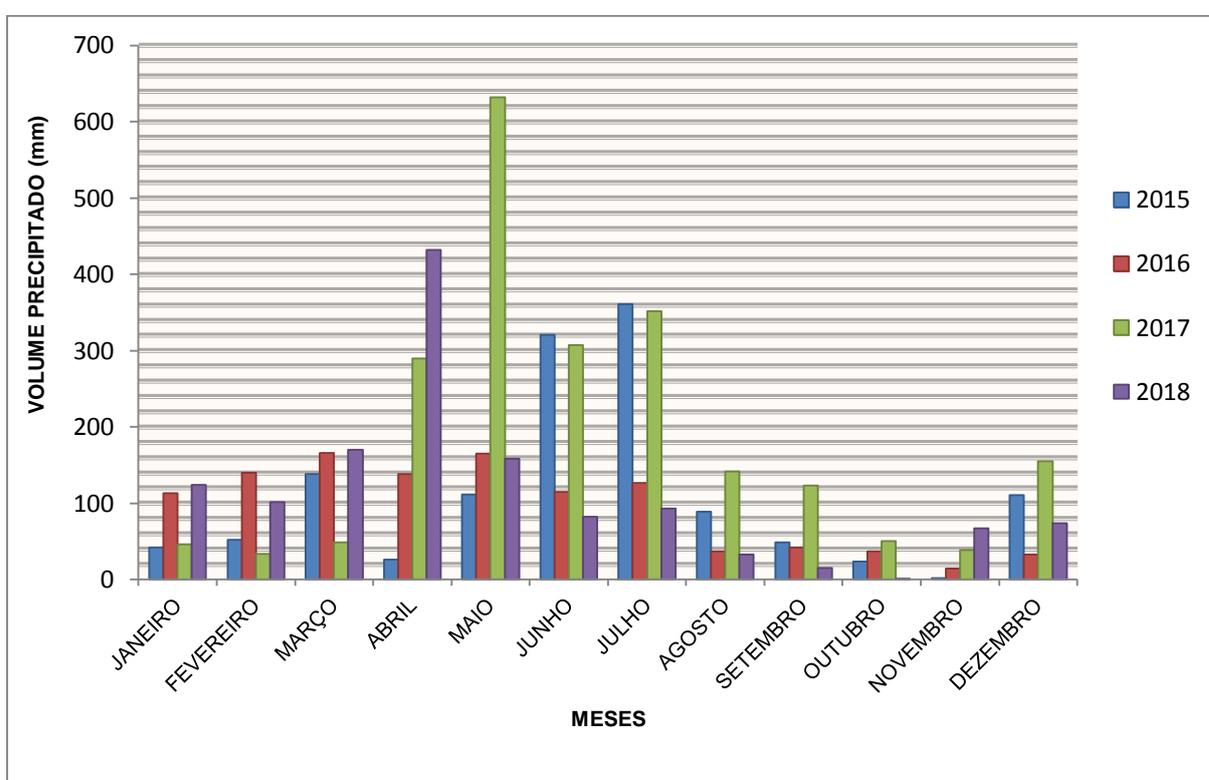
atmosfera, desde o oceano até a costa de Pernambuco, aumentando o transporte de umidade do oceano para o continente, entre a Zona da Mata e o Agreste (Figura 5).

Tabela 1 – Monitoramento Pluviométrico registrado em Jaqueira (Maio/2017).

Código	Posto	25/mai	26/mai	27/mai	28/mai	29/mai
508	Jaqueira	78mm	22mm	5,5mm	200,0mm	31,0mm

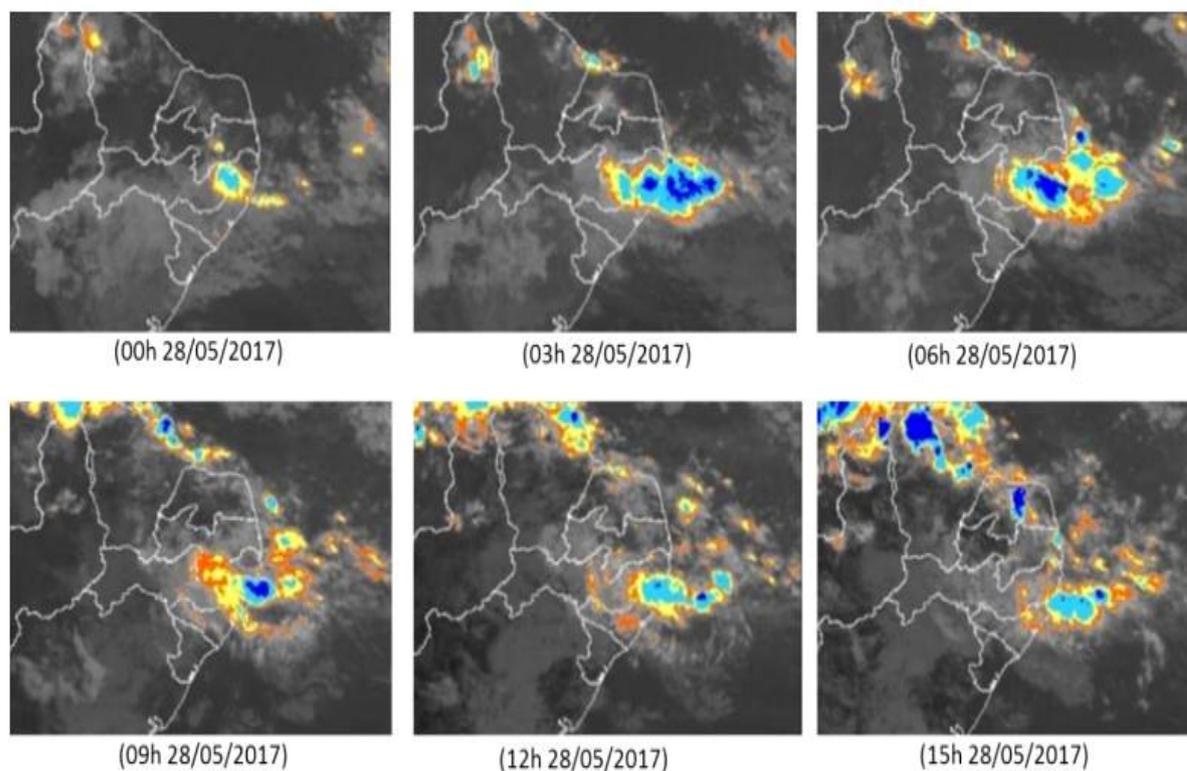
Fonte: (APAC, 2017).

Figura 5 – Regime pluviométrico do município de Jaqueira.



Fonte: (APAC, 2018).

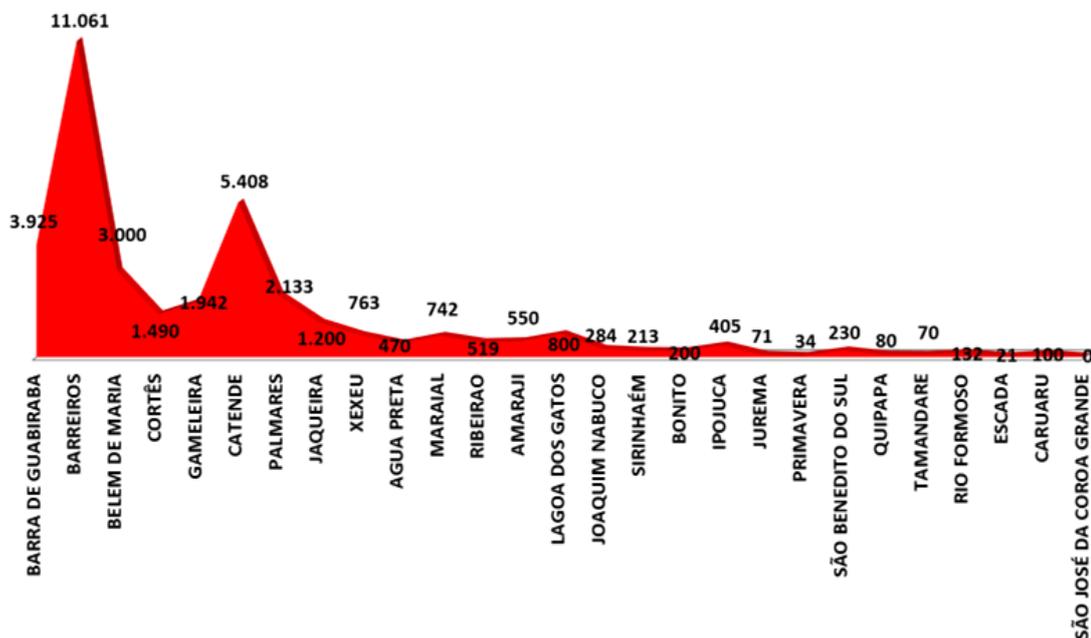
Figura 6 – Panorama de chuvas em Alagoas e Pernambuco (maio de 2017).



Fonte: (CEXCHUV, 2017).

Ante ao ocorrido, o reconhecimento da situação de emergência abrangeu 51 municípios, os efeitos foram de grandes proporções, com áreas alagadas, imóveis e infraestruturas destruídas, desabrigados e, o mais grave, com registros de óbitos. A Figura 6 ilustra o contingente de desabrigados e desalojados por município, em que Jaqueira foi o 8º município da região com maior número de desabrigados e desalojados em decorrência do evento.

Figura 7 – Desabrigados e desalojados pelas chuvas em Pernambuco em 2017.



Fonte: (CEXCHUV, 2017).

Por estar situada na Bacia do Rio Una, região fortemente afetada por desastres hidrológicos, e possuir uma economia frágil, o município de Jaqueira sofre com frequência devido as inundações que se abatem sobre a região. Os danos e perdas sociais e estruturais roubam a cena em catástrofes como estas, conforme ilustrado na Figura 7 abaixo.

Figura 8 – Impactos da inundação ocorrida no município de Jaqueira em 2017.



Fonte: Autora, 2017.

Diante do exposto, o presente estudo visou mapear as áreas de risco do município de Jaqueira, tomando como base informações a respeito do evento ocorrido em maio de 2017, uma vez que o mesmo destruiu casas, vias vicinais e desalojou um grande contingente populacional, além de ter registrado o maior índice pluviométrico relatado sobre a região. Por ser considerado um evento recente, foi possível obter uma vasta base de dados, seja pelas marcas visíveis deixadas nos imóveis ou mesmo pelas marcas emocionais à população.

Decerto, ao longo dos últimos vinte anos, as inundações bruscas foram os eventos extremos que mais desabrigaram, feriram e mataram a população pernambucana.

5.2 LEVANTAMENTO DE DADOS EM CAMPO

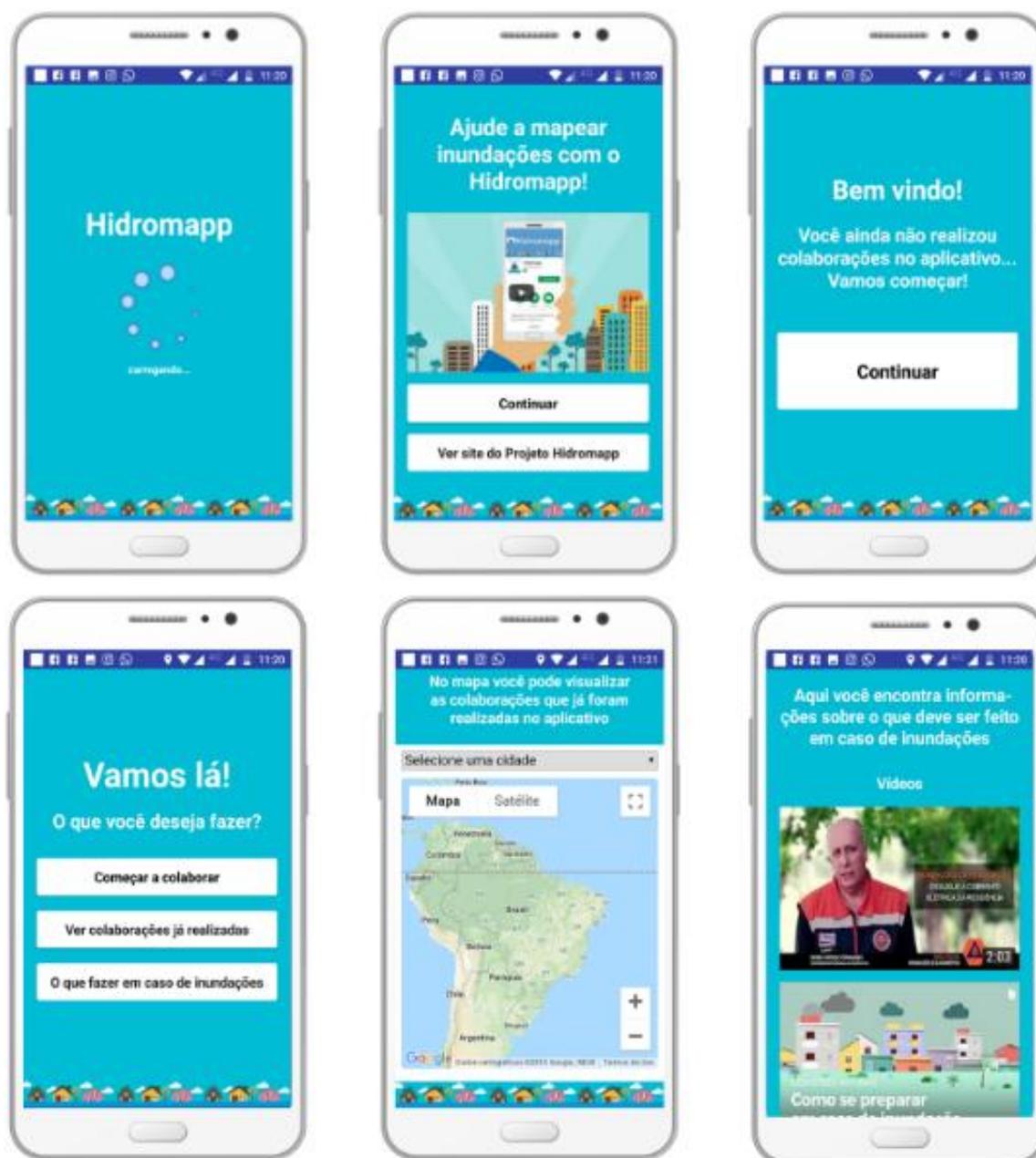
Para a coleta e armazenamento de dados foi utilizado o aplicativo Hidromapp (OLIVEIRA, 2017), apresentado anteriormente, o qual se encontra disponível para *download* gratuito na plataforma Google Play. O *smartphone* utilizado no levantamento dos dados foi o Motorola Moto G5S *Plus*, modelo XT1802 com sistema operacional Android 8.1 Oreo e memória de 32 GB. Além do *smartphone* e aplicativo, foram utilizados materiais auxiliares, tais como trena, para aferição das cotas inundadas em cada ponto, mapa da região analisada, prancheta e caneta, a fim de realizar anotações sobre eventuais fatos de valor agregado ao estudo.

Para reconstituição da inundação de maio de 2017, foram coletadas em campo informações sobre o contorno da mancha de inundação, abrangendo os pontos com cota de inundação próxima a zero, locais com menor ou nenhum dano causado, sendo coletadas também informações nos locais com altos índices de danos, nos quais foram observadas as maiores cotas de inundação. Em campo, as informações foram obtidas através de entrevistas com a população presente na área de risco, onde foi questionada a altura da cota inundada em cada residência no que concerne ao desastre ocorrido em maio de 2017. Também foi observada a presença de marcas de inundações nas paredes dos imóveis, buscando complementar as informações fornecidas pelos moradores. Ao se obter as informações, as mesmas foram registradas no aplicativo.

No Hidromapp, como em qualquer plataforma, inicialmente deve-se preencher alguns dados, a fim de explicitar a região que receberá contribuições. Em seguida,

há possibilidade de avançar para próxima etapa e iniciar os registros das colaborações ou visitar o *site* e conhecer o projeto (Figura 8). Logo após, é possível dar início às colaborações, visualizar as informações já relatadas para a área na qual se deseja agregar dados ou até mesmo aprender um pouco como proceder nos casos de inundações (Figura 8).

Figura 9 – Interface inicial do Hidromapp.

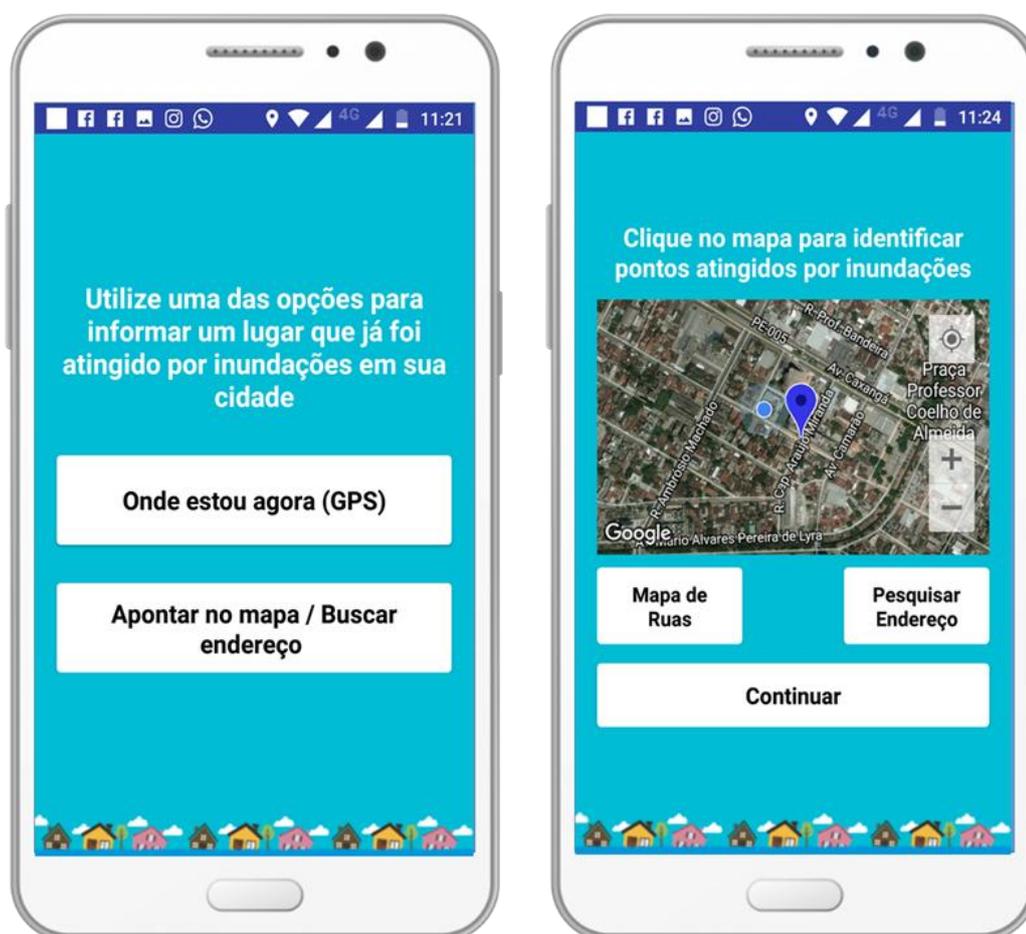


Fonte: (HIDROMAPP, 2019).

O GPS integrado do dispositivo móvel permite o georreferenciamento dos pontos predefinidos. Entretanto, a colaboração também pode ser realizada pela

função “Apontar no mapa”, na qual o usuário não precisa estar no local inundado, desde que o mesmo tenha posse de informações fidedignas (Figura 9).

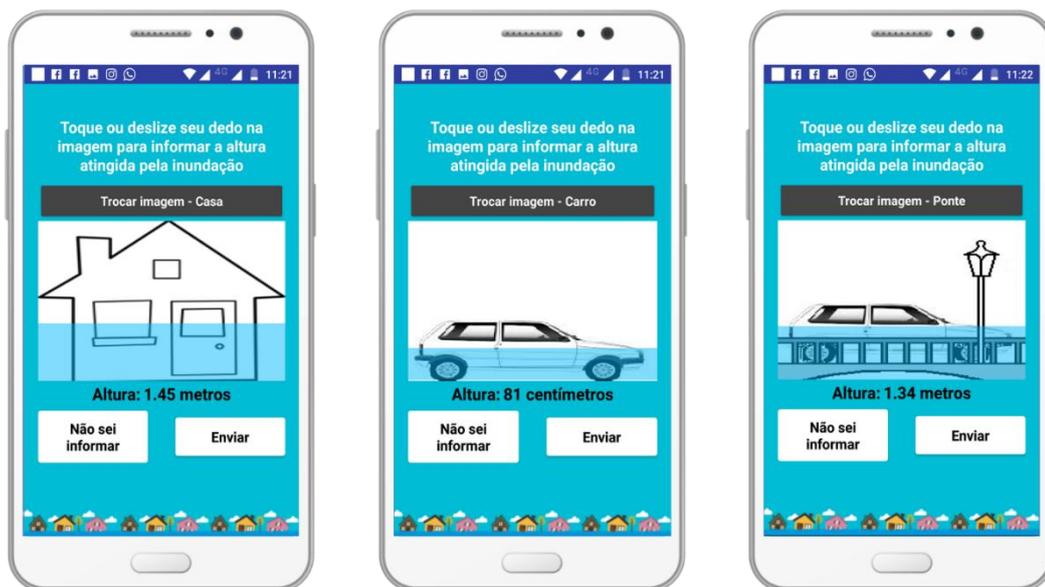
Figura 10 – Etapa referente ao georreferenciamento no aplicativo Hidromapp.



Fonte: (HIDROMAPP, 2019).

Realizadas as etapas citadas anteriormente, deve-se informar a cota inundada atingida para o ponto em questão, atentando-se para que o referencial seja o nível da rua. O aplicativo dispõe de três referenciais distintos, para facilitar a dinâmica do processo, caso o colaborador esteja desprovido de equipamentos de medição, conforme ilustrado na Figura 10.

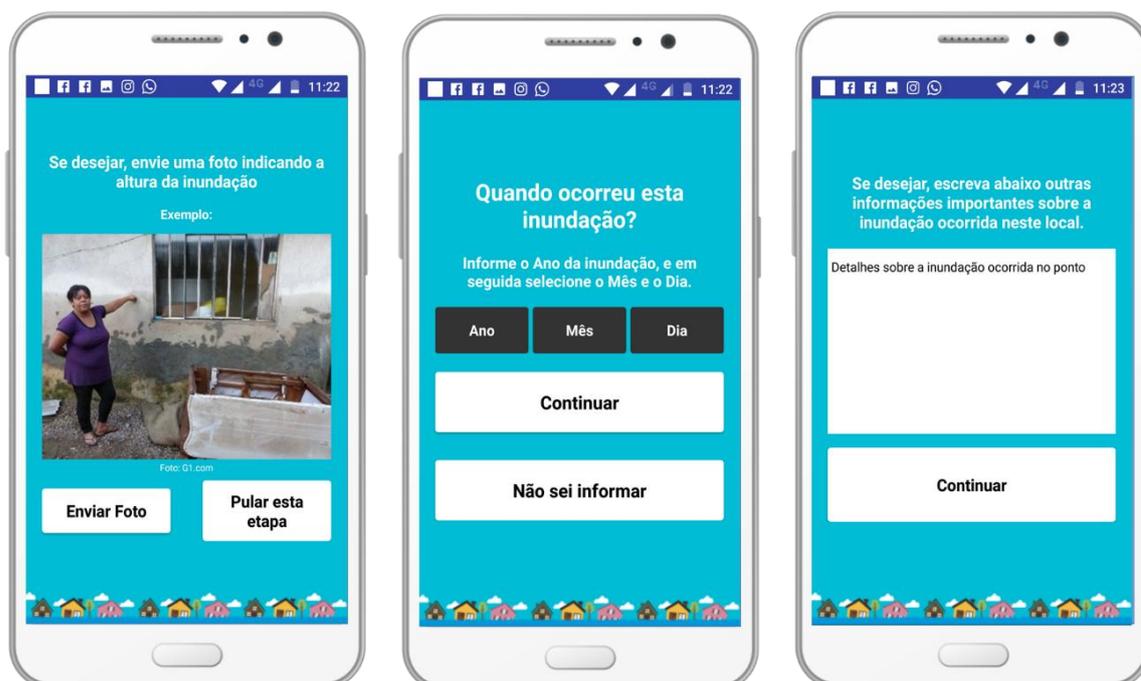
Figura 11 – Etapa referente ao registro da altura de inundação no aplicativo.



Fonte: (HIDROMAPP, 2019).

A posteriori, o usuário deve informar a data do evento e de forma opcional tem a oportunidade de enviar registro fotográfico da sua colaboração, assim como informações adicionais em formato de texto que o mesmo julgue pertinentes, conforme ilustrado na Figura 11.

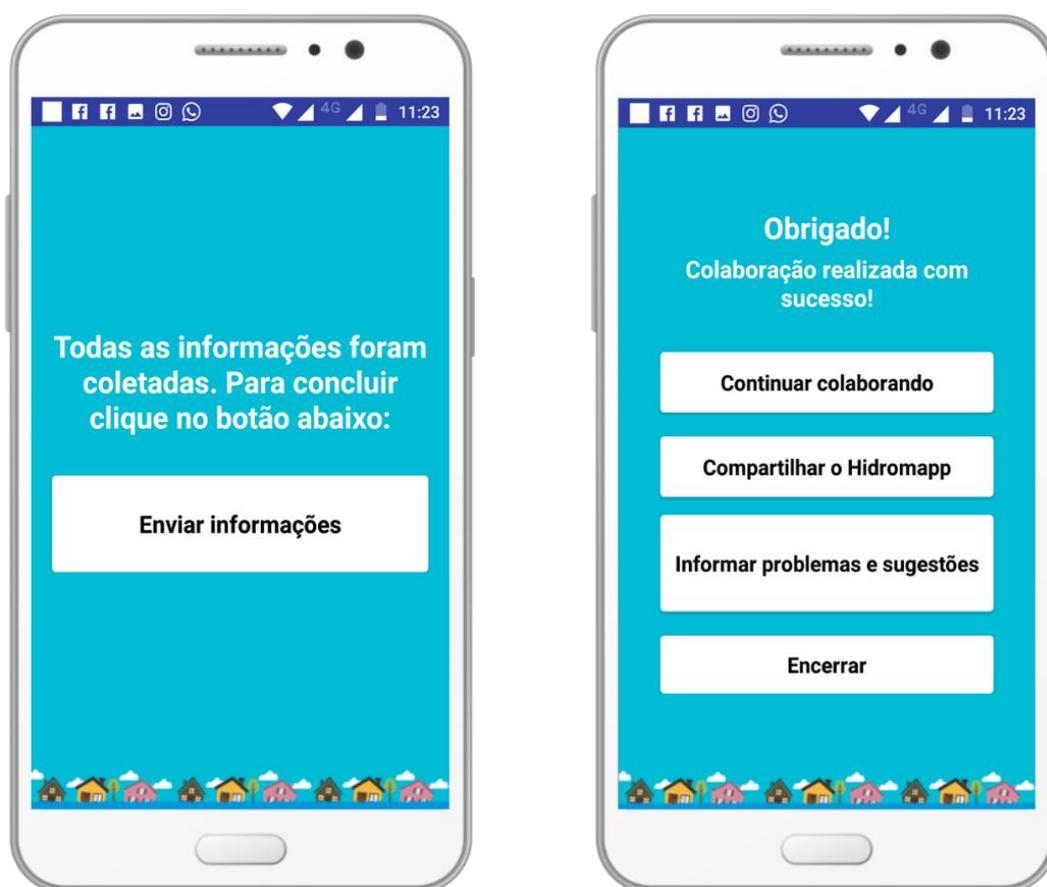
Figura 12 – Registro de dados adicionais ao acervo do Hidromapp.



Fonte: (HIDROMAPP, 2019).

Por fim, o usuário pode então concluir a colaboração, cujos dados são enviados automaticamente para o banco de dados do projeto (Figura 12). Caso o dispositivo não tenha conexão de internet no momento da colaboração, as informações permanecem salvas no dispositivo do usuário e são enviadas para o banco de dados assim que a conexão for reestabelecida.

Figura 13 – Etapa referente à finalização da colaboração.



Fonte: (HIDROMAPP, 2019)

Assim, o aplicativo foi utilizado para a coleta de dados em campo, referente à inundação ocorrida no município em maio de 2017. Como já mencionado, a coleta baseou-se em visitas em campo, buscando registrar dados em locais com maiores profundidades alcançadas pela inundação, bem como outros locais no entorno que não foram afetados. Todas as medições foram realizadas com trena (Figura 13).

Figura 14 – Registro colaborativo no município de Jaqueira.



Fonte: Autora, 2019

Ao todo foram coletados 228 pontos, distribuídos ao longo das margens do Rio Pirangi e da mancha de inundação ocorrida, conforme ilustrado na Figura 14. As informações foram posteriormente utilizadas como dados de entrada para a modelagem e reconstituição da mancha de inundação, por meio de técnicas de geoprocessamento.

Figura 15 – Pontos coletados ao longo da margem do rio Pirangi.



Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

5.3 RECONSTITUIÇÃO DA MANCHA DE INUNDAÇÃO

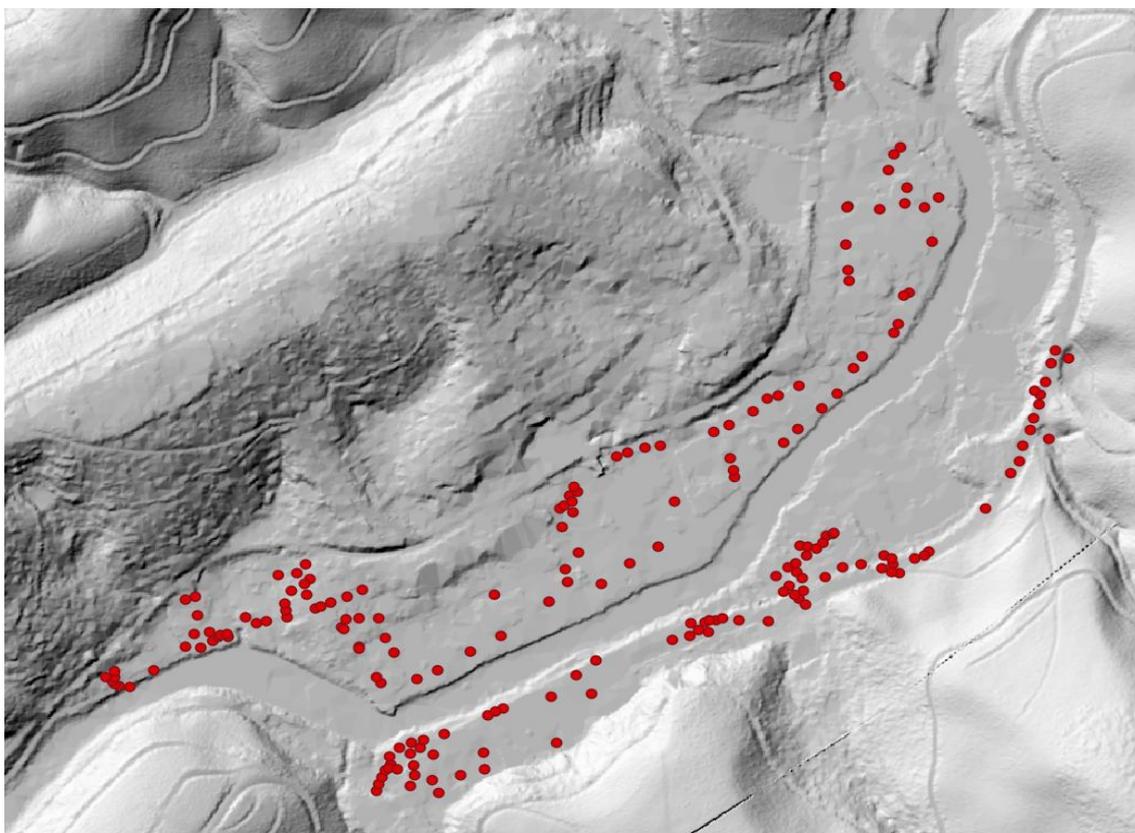
No final do século XX, pesquisadores alemães, em parceria com uma empresa canadense, desenvolveram a técnica hoje usualmente conhecida como LiDAR (*Light Detection And Ranging*). O método consiste na emissão de feixe de laser, emitido com auxílio de espelhos, em direção a objetos. Um sistema é encarregado de captar o tempo entre a emissão e a recepção do pulso para obter a distância entre o receptor e o objeto. O emissor e receptor dos pulsos é, normalmente, instalado em aeronaves, havendo também a possibilidade de instalação de câmeras para obtenção de ortoimagens no mesmo aerolevanteamento.

O recobrimento laser gera uma nuvem de pontos com distribuição irregular que, após pós-processamento, permite a geração de Modelos Digitais do Terreno e de Elevação, MDT e MDE. A superfície do terreno gerada a partir de perfilamento a laser pode auxiliar nas inúmeras áreas de conhecimento que dependem de informações altimétricas como Cartografia, Geografia e Engenharia. Para o estado de Pernambuco dispõe-se hoje de uma base de dados do terreno utilizando a tecnologia LiDAR para 100% do território, bem como imagens aéreas de 97% de sua área continental. Trata-se do Programa Pernambuco Tridimensional (PE3D), concebido e desenvolvido sob o comando do coordenador da presente proposta quando gestor público. Os 98.149 km² do Estado de Pernambuco foram subdivididos em 13.125 folhas articuladas. Para cada uma das articulações foi elaborado um conjunto de produtos gerados por meio de recobrimento aerofotogramétrico compatível com a escala 1:5000 e outro a partir de varredura a laser utilizando a tecnologia LiDAR para compor a representação do relevo.

A partir do recobrimento aerofotogramétrico foram geradas ortofotos compatíveis com a escala 1:5000, com resolução espacial de 50 cm, assim como fotoíndices e seus respectivos metadados. Para o perfilamento a laser, os produtos são imagens de intensidade hipsométrica (representação da altimetria por escala de cores), Modelos Digitais de Elevação e de Terreno nos formatos de arquivo texto com as coordenadas “x,y,z” de cada ponto, bem como no formato GeoTiff, padrão usual para esse tipo de produto. A densidade de pontos cotados é de aproximadamente três pontos a cada 4m². A base de dados gerou cotas para aproximadamente 75 bilhões de pontos do território pernambucano. (CIRILO, *et al.*, 2014).

O programa usado para reconstrução da mancha de inundação foi o QGIS 3.6 Noosa, um *software* livre com código fonte aberto, multiplataforma de sistema de informação geográfica que permite a visualização, edição e análise de dados georreferenciados. No software, através dos dados levantados em campo e do Modelo Digital do Terreno (MDT) da área em estudo (Base PE3D), foi possível transformar a altura de inundação (relativa ao solo) em cota de inundação (Figura 15).

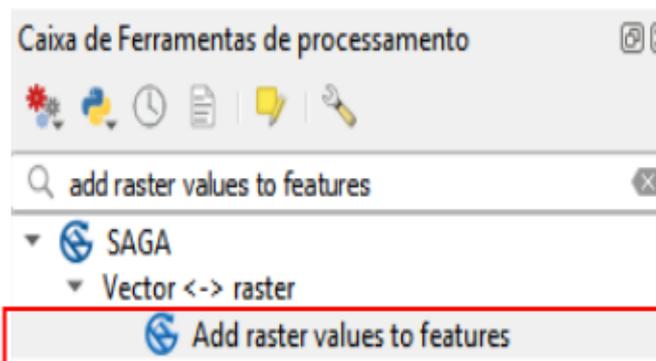
Figura 16 – Dados altimétricos (PE3D) e pontos coletados.



Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Para executar a transformação, inicialmente as cotas altimétricas foram acopladas aos pontos coletados, através da ferramenta *add raster values to features*, disposta na caixa de ferramenta de processamento do programa (Figura 16). Com a ferramenta, foi possível gerar uma nova coluna no arquivo com as cotas do terreno (Figura 17), as quais foram posteriormente somadas às profundidades de inundação mensuradas em campo.

Figura 17 – Disposição da ferramenta *add raster values to feature* no software.



Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Figura 18 – Vetor com cotas altimétricas provenientes do MDT.

 A screenshot of a QGIS attribute table window titled 'TODOS :: Features Total: 228, Filtered: 228, Selected: 0'. The table displays data for a vector layer. The columns are 'Lat', 'Long', 'Altura', and 'MDTPE3DJaqu'. The 'MDTPE3DJaqu' column is highlighted with a red rectangular box. The data rows are numbered 103 through 114.

	Lat	Long	Altura	MDTPE3DJaqu
103	-8.72769	-35.79263	0	177
104	-8.72675	-35.79201	0	176.5
105	-8.72693	-35.79203	0	176.5
106	-8.7302403886	-35.795506239	0	177.59537019
107	-8.7314274314	-35.793159306	0	180.49989937
108	-8.7312991832	-35.797659718	0	181.8516261
109	-8.7318900523	-35.794464871	0	179
110	-8.7309084735	-35.791820548	0	180.36559976
111	-8.7302350863	-35.795509256	0	177.58917641
112	-8.7316696778	-35.793783925	0	179.69751291
113	-8.7314380359	-35.7979846	0	181.5
114	-8.73104	-35.79251	0	178

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Destarte, com as cotas altimétricas, as alturas inundadas de cada ponto e o auxílio da ferramenta "calculadora de campo", também disposta na caixa de ferramenta de processamento do *software*, obtiveram-se as cotas de inundações de todos os pontos levantados nas etapas supracitadas.

De posse das informações pré-processadas, a reconstituição da mancha de inundação foi realizada através do algoritmo *Thin Plate Spline* (TPS), também disponível no *software* QGIS. Outros algoritmos foram testados de forma inicial, como o IDW, mas, no entanto, o TPS apresentou melhores resultados preliminares, sendo assim selecionado para a realização dos experimentos.

A ferramenta TPS constitui-se em um interpolador que estima os valores usando uma função matemática que minimiza a curvatura total, resultando em uma superfície lisa que passa exatamente pelos pontos de entrada. Assim, o método é recomendado para gerar superfícies com variações delicadas, como elevação, altura do lençol freático ou concentrações de poluição (CRONEMBERGER, 2009).

Entre os critérios do modelo TPS, alguns parâmetros de grande relevância podem ser alterados pelo usuário, tais como o *search range*, *search radius* e *number of points*, os quais descrevem a possibilidade da faixa de pesquisa ser local ou global, a influência dos pontos nessa faixa de pesquisa e a quantidade de pontos envolvidos, respectivamente. Como também o *regularisation*, referente à suavização da curvatura, onde valores mais próximos de zero geram superfícies mais lisas e regulares.

Entre o total de 228 pontos coletados em campo, foram selecionados 198 destes para a etapa de calibração dos parâmetros do modelo TPS, e os 30 pontos restantes foram utilizados para a validação dos resultados. Para a validação buscou-se selecionar pontos ao longo de toda a extensão da mancha de inundação, de forma que fosse possível validar os resultados para a estimativa das bordas da inundação e dos locais com maiores profundidades atingidas (Figura 18).

Figura 19 – Segregação dos pontos de calibração e validação do modelo.



Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

A etapa de calibração foi realizada de forma manual, sendo repetida a alteração dos parâmetros do modelo TPS até que o resultado obtido fosse considerado aceitável aos propósitos do trabalho. A verificação da calibração foi realizada também de forma manual, por meio da ferramenta *identify*, disponível no QGIS (Figura 19).

Figura 20 – Verificação da interpolação do TPS.

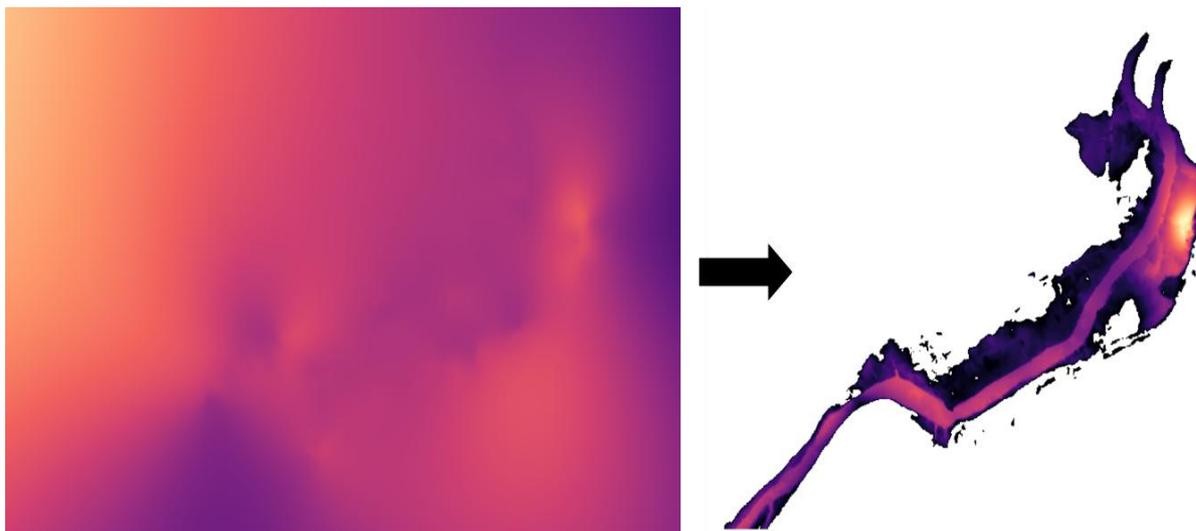
Feição	Valor
0	Interpol_r25
Interpol...	
Ban...	176.82379
(Der...	
P_INTERPOL	
fid	107
(Der...	
(Aç...	
fid	107
InfoID	336
Geo...	Mapa
Lat	-8.7303136261
Long	-35.794435702
PtIn...	Sim
Img...	Foto não enviada
Outr...	PA- Esta rua é atingida com maior voracidade por conta da inefic...
Altura	0.81
MD...	176
COT...	176.81
2	MDT_PE3D_Jaqueira

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Feita a etapa de verificação, usou-se a ferramenta *raster calculator*, a fim de fazer a subtração entre o raster interpolado com as cotas de inundação e o raster do MDT, visando realizar o recorte apenas da mancha de inundação. Ao final do processamento, todos os pixels com cota igual ou menor que zero (cota do terreno maior que a cota de inundação) consistem em locais não inundados, e os valores com cota maiores que zero foi as áreas inundadas, em que a cota de inundação no pixel foi maior que a cota do terreno. Esta etapa do método baseou-se nos experimentos realizados por Dantas (2012) para o município de Palmares, embora o autor tenha utilizado o algoritmo IDW para a realização das interpolações.

Para o presente estudo, as lâminas de inundação menores que 0,10 m, valor médio do meio fio, foram consideradas como áreas não inundadas. Desta forma, usou-se novamente a ferramenta *raster calculator*, a fim de que aos valores supracitados, fossem atribuídos valores nulos. Feitas as devidas considerações, foi possível obter então apenas a mancha de inundação da área de estudo para o evento ocorrido em maio de 2017 (Figura 20).

Figura 21 – Mancha de inundação do município de Jaqueira.



Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Por fim, verificaram-se os resultados obtidos na interpolação em relação aos valores mensurados em campo nos pontos de validação, os quais não foram utilizados para a calibração do modelo TPS, a fim de averiguar a confiabilidade do modelo usado em pontos com ausência de informação. Também se analisou a presença de pontos inundados em áreas sem conectividade hidráulica com o canal de propagação do escoamento e como este fato pontuava a respeito do comprometimento fidedigno da mancha.

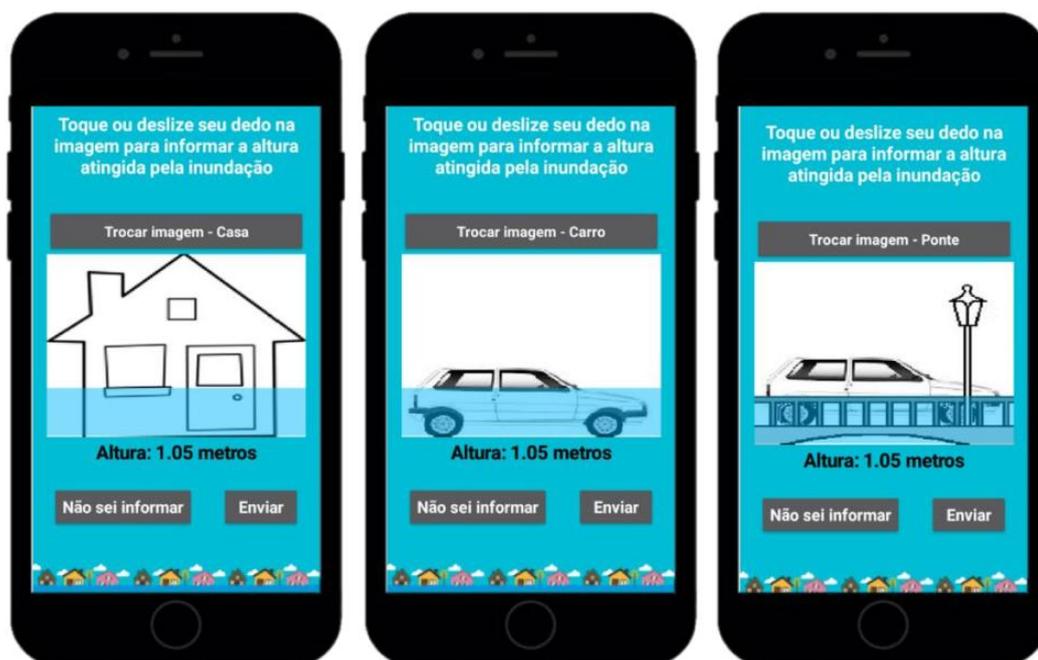
6 RESULTADOS

6.1 DESEMPENHO DO APLICATIVO HIDROMAPP

De maneira didática, o aplicativo possui uma interface interativa e de fácil entendimento. Os dados puderam ser coletados a partir do posicionamento do usuário, através do GPS integrado no *smartphone*, ou através da função “apontar no mapa”, a qual possibilita que o colaborador contribua mesmo estando afastado do local atingido, facilitando assim a alocação dos pontos situados na borda da inundação, que são cruciais na fase de calibração da mancha inundada.

Para o registro da altura de inundação, o aplicativo apresenta dimensões normativas que auxiliam o usuário, tomando como exemplo o peitoril da janela, distando aproximadamente 1,00 m do piso (Figura 21) ou ainda a altura de portas e janelas com altura média de 2,10 m. Viabiliza-se assim que as informações enviadas se aproximem das reais, mesmo que o usuário esteja desprovido de instrumentos de medição.

Figura 22 – Registro de altura inundada através do modo de deslizar sobre a tela.



Fonte: (HIDROMAPP, 2019)

Em contraste, o método do registro do dado coletado, através da tática de deslizar sobre tela, não se mostrou eficaz no levantamento realizado, uma vez que dificultou a inscrição das medidas exatas em campo, tais como as observadas pela trena, devido à sensibilidade do *touch screen*, o que pode ser resolvido caso seja oferecido ao usuário a opção de digitação.

A respeito da cota inundada, é fundamental que o usuário esteja atento quanto ao referencial tomado, pois, como observado em campo, algumas casas são construídas com um nível superior ao da rua. E, como a base de dados é pautada nas informações fornecidas pelos moradores das áreas de risco, certamente será fornecida a altura observada pelo residente, ou seja, devido ao referencial adotado por ele. Dessa forma, um usuário comprometido com informações fidedignas deve estar atento a estes detalhes e, portanto é uma limitação do aplicativo.

Após a contribuição, a plataforma sugere que o colaborador envie uma foto e faça breves comentários acerca da região atingida, o que certamente enriqueceu o acervo do local e passou maior segurança na análise dos dados após a coleta, contribuindo fortemente no quesito confiabilidade.

Entretanto, no que se refere ao acesso do banco de dados do aplicativo, fez-se necessário entrar em contato diretamente com o projeto, uma vez que a plataforma ainda não disponibilizou a ferramenta para o download direto pelo usuário.

Foi observado que o Hidromapp é um aplicativo leve, não consome bateria nem tampouco dados móveis, que são necessários para a coleta e armazenamento de dados, em quantidades consideráveis. Decerto, o mesmo foi um dos pontos-chaves para a realização do presente estudo.

Compreendidas as atribuições e limitações do aplicativo, recomenda-se que o seu conhecimento alcance as esferas nas quais está situada a defesa civil dos municípios, visto que ambos defendem concomitantemente ações como o planejamento e promoção da defesa contra desastres.

6.2 DISPONIBILIDADE PARA OBTENÇÃO DOS DADOS

Uma vez que o levantamento em campo foi realizado através de informações fornecidas pelos moradores situados nas áreas inundadas, os dados levantados

sobre a inundação ocorrida em maio de 2017, tema central do presente estudo, foram registrados com alto grau de confiabilidade. Por se tratar de um acontecimento recente, foi observado um maior índice de detalhamento e precisão na memória dos atingidos, fato que pode não ser evidenciado ao se comparar com o episódio de junho de 2010, reafirmando assim a necessidade da construção da base de dados ser realizada próximo ao acontecimento de evento, promovendo também, a metodologia empírica. Ante essas considerações, muitas casas ainda possuíam a mancha deixada pelo nível no qual foi atingida, trazendo para o estudo consequências positivas.

Em muitos casos, os moradores das áreas de risco relataram que fatos como esses são impossíveis de serem totalmente esquecidos, tanto pela nódoa deixada pela água, quanto pelo rastro de destruição que a mesma causou. Ademais, o fato de estes eventos atingirem profundamente a memória dos envolvidos, pontua positivamente na veracidade das informações transmitidas.

6.3 MANCHA RECONSTITUÍDA

A etapa de calibração exigiu uma perícia aguçada, visto que a constante alteração dos parâmetros dispostos no TPS geraram composições distintas da mancha. Tomando como exemplo o *search range*, quando selecionada a busca local, onde vários polinômios são ajustados à superfície gerada, os resultados mostraram-se não satisfatórios, posto que na maioria das vezes a mancha calculada foi superestimada. Comportamento distinto foi observado ao ser escolhida a busca global, situação em que um polinômio é ajustado a toda superfície gerada. Pelas razões discutidas, os testes apresentados no presente estudo foram gerados optando-se pela busca global.

A fim de simular uma superfície inundável próxima à real, foi adotado para o parâmetro *regularisation* o equivalente a 0,00001, pois conforme sucessíveis testes analisou-se que quando atribuído valores próximos a zero, a superfície gerada tende à suavização de sua curvatura, comportamento semelhante ao assumido pela mancha real de inundação.

De maneira análoga, a escolha do parâmetro *search radius* apresentou modificações consideráveis. Inicialmente testado com o *default* do algoritmo,

equivalente a 100,00 m, o produto gerado apresentou-se inadequado, inundando áreas além dos limites impostos pelas condições de contorno, devido ao fato da contribuição dos pontos estar fixada a um raio de 100,00 m. Compreendidas as colaborações do parâmetro, optou-se por diminuir o raio de pesquisa e contribuir com todos os pontos dentro da opção considerada, através do critério *number of points* proposto. Assim, o raio fixado foi de 25,00 m, valor obtido empiricamente que apresentou resultados tidos como aceitáveis ao proposto pelo estudo.

Ante ao exposto, para a mancha de inundação apresentada no presente estudo, os parâmetros usados pelo algoritmo citado anteriormente estão descritos na Tabela 2. Estes parâmetros geraram uma superfície inundável com informações muito próximas às reais, de acordo com a coleta em campo. Os mesmos apresentam um erro médio de aproximadamente 9 centímetros entre os valores interpolados e as informações obtidas em campo.

Tabela 2 – Parâmetros usados para o modelo calibrado.

Parâmetros do modelo TPS	Critérios adotados ao modelo calibrado
Regularisation	0,00001
Search Range	Global
Search Radius	25,00
Number of points	All points within search distance

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Quanto à dispersão dos pontos pela extensão da mancha, é válido ressaltar que informações bem disseminadas e espaçadas regularmente produzem interpolações melhores. Este fato justifica o IDW, método usado por Dantas (2012), não adaptar-se satisfatoriamente ao proposto, já que o mesmo requer uma malha igualmente distribuída na área do levantamento. Em contraste, o TPS ajustou-se à base consideravelmente dispersa, desde que a quantidade de condições de contorno foi acrescida. Satisfeita a condição, o algoritmo apresentou resultados próximos aos levantados em campo, classificando-o como eficaz.

Em relação aos pontos de validação, o modelo apresentou resultados positivos, com um erro médio de aproximadamente 20 centímetros entre os valores interpolados e as informações mensuradas em campo (Tabela 3). Isto demonstra que o modelo TPS gerou resultados aceitáveis ao escopo do estudo.

Tabela 3 – Resultado da validação da mancha de inundação reconstituída

Ponto	Altura da inundação (medida em campo)	Altura da inundação (interpolação)	Resíduo absoluto
Validacao_1	0,00	0,00	0,00
Validacao_2	0,80	0,00	0,80
Validacao_3	0,00	0,00	0,00
Validacao_4	0,00	0,00	0,00
Validacao_5	0,50	0,91	0,41
Validacao_6	1,30	1,27	0,03
Validacao_7	0,00	1,11	1,11
Validacao_8	0,00	0,00	0,00
Validacao_9	0,00	0,11	0,11
Validacao_10	0,00	0,00	0,00
Validacao_11	0,90	1,79	0,89
Validacao_12	1,01	1,02	0,01
Validacao_13	0,00	0,15	0,15
Validacao_14	0,00	0,00	0,00
Validacao_15	0,00	0,00	0,00
Validacao_16	1,40	1,46	0,06
Validacao_17	1,41	1,81	0,40
Validacao_18	0,00	0,12	0,12
Validacao_19	0,00	0,00	0,00
Validacao_20	0,00	0,00	0,00
Validacao_21	1,31	1,05	0,26
Validacao_22	0,00	0,00	0,00
Validacao_23	1,70	1,17	0,53
Validacao_24	0,00	0,00	0,00
Validacao_25	0,00	0,00	0,00

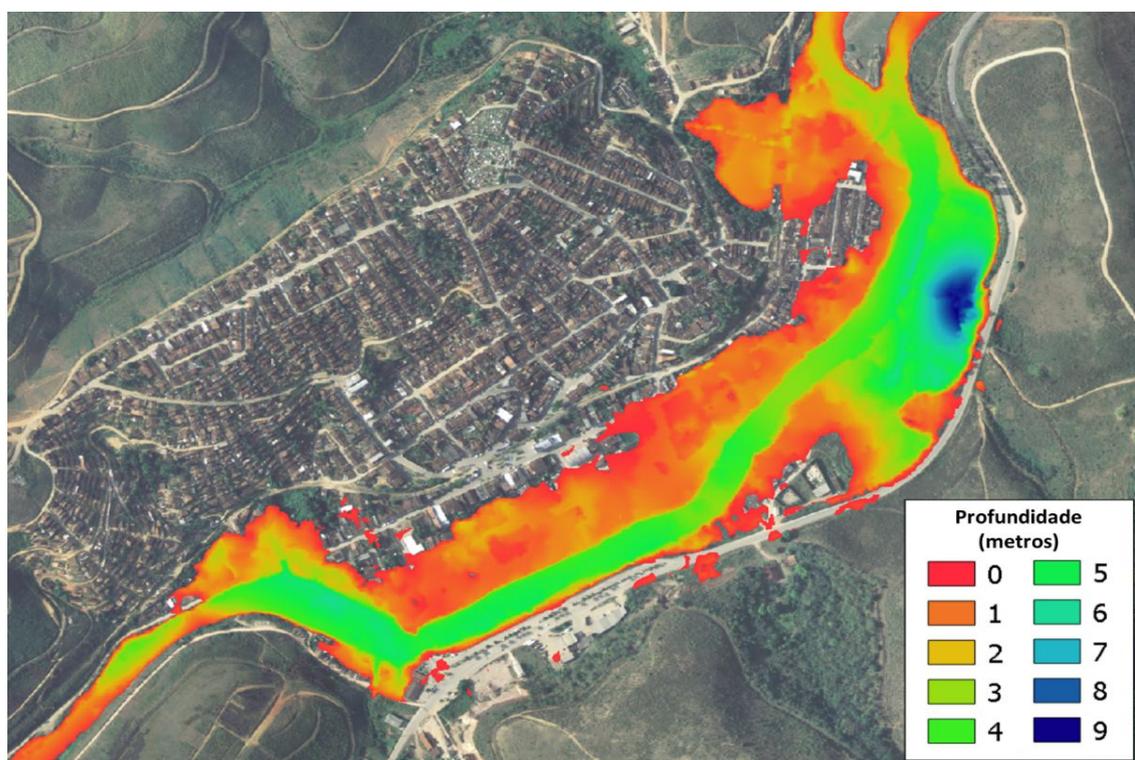
(conclusão)

Ponto	Altura da inundação (medida em campo)	Altura da inundação (interpolação)	Resíduo absoluto
Validacao_26	1,41	1,52	0,11
Validacao_27	0,00	0,12	0,12
Validacao_28	1,81	1,66	0,15
Validacao_29	0,10	0,52	0,42
Validacao_30	0,00	0,00	0,00
Erro Médio			0,19m

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

De posse da reconstituição da mancha de inundação do município de Jaqueira (Figura 22), vale salientar sua importância para as regiões habitáveis afetadas da cidade, apontando as áreas nas quais o nível inundado apresentou-se mais agressivo e, conseqüentemente com maiores danos associados.

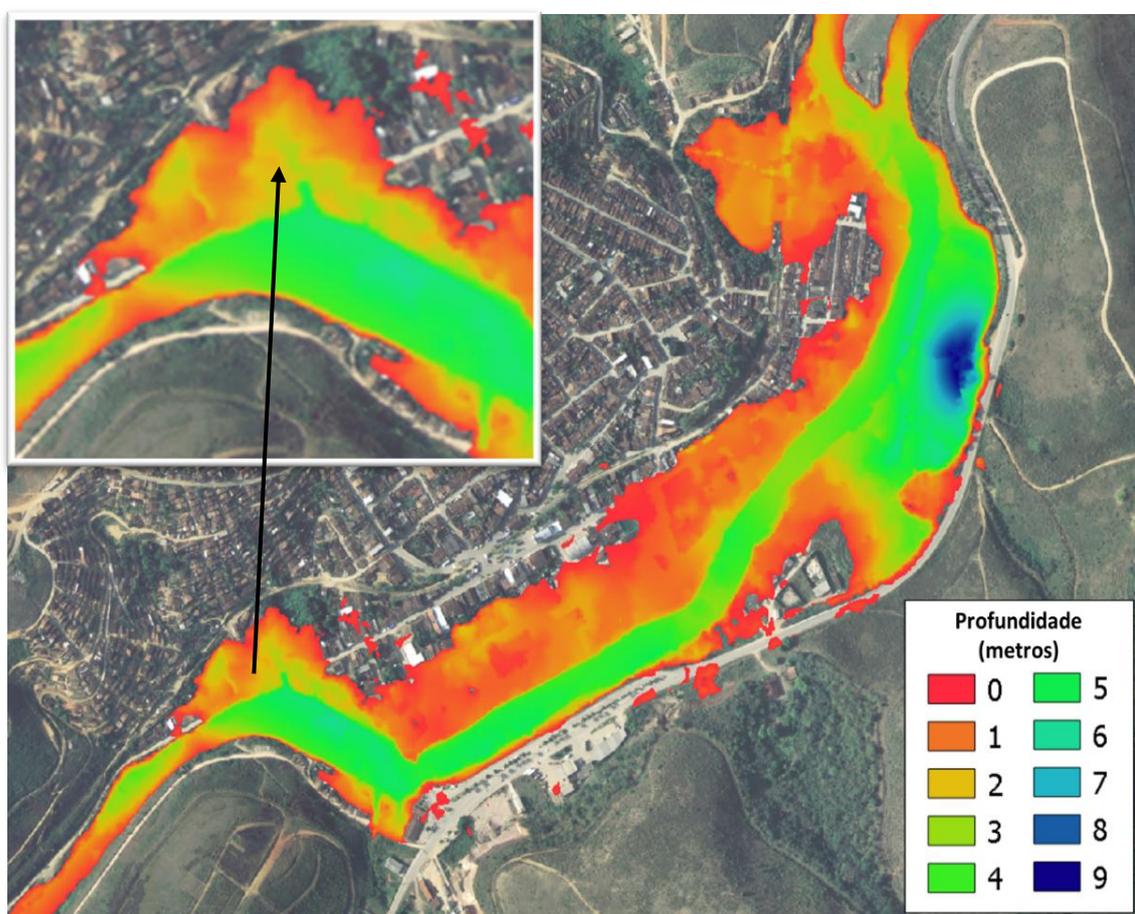
Figura 23 – Mancha de inundação reconstituída Jaqueira/PE - Maio de 2017.



Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Consoante ao fato mencionado anteriormente, a Figura 23 ilustra a situação da região habitável da cidade com maior índice de dano agregado. Diferente do comportamento registrado para o restante do município (cota de inundação com aproximadamente 1,0 m), o local registra valores superiores a 2,0 m de profundidade. Aliado ao fato citado, a região mostrada é habitada, em sua maioria, por uma população de renda baixa, tornando-se um agravante a conjuntura mencionada.

Figura 24 – Regiões habitadas com alto índice de dano agregado.

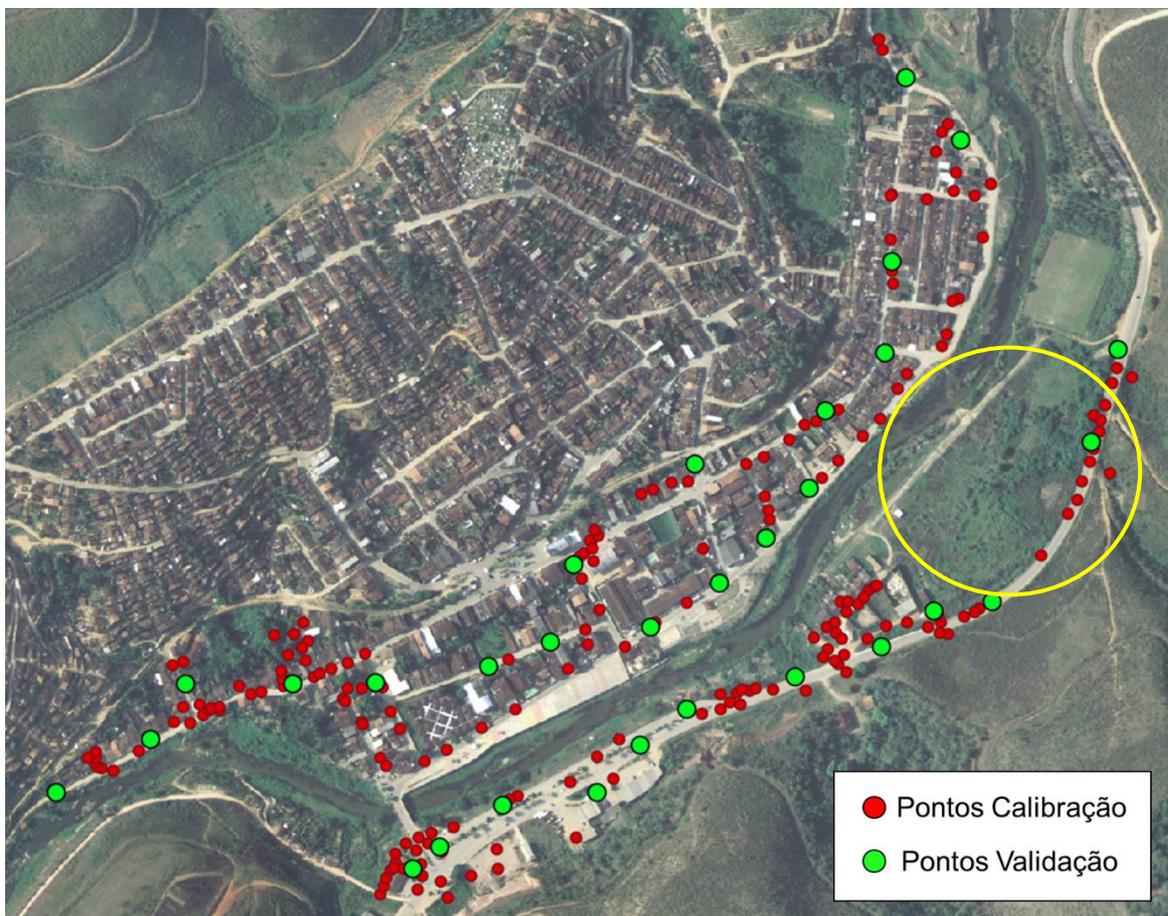


Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Entretanto, a simulação apresentou também áreas com profundidades muito elevadas, comportamento que pode ser explicado por inúmeros fatores, dentre os quais estão listados, deficiência da base de dados para o ambiente citado (Figura 24), inabitabilidade local, informações de cunho duvidosas apresentadas pelos residentes mais próximos. Além do mais, as condições de contorno atribuídas foram

fixadas na PE – 126 que corta o município, a qual apresenta cota altimétrica muito superior.

Figura 25 – Região com base de dados deficiente.



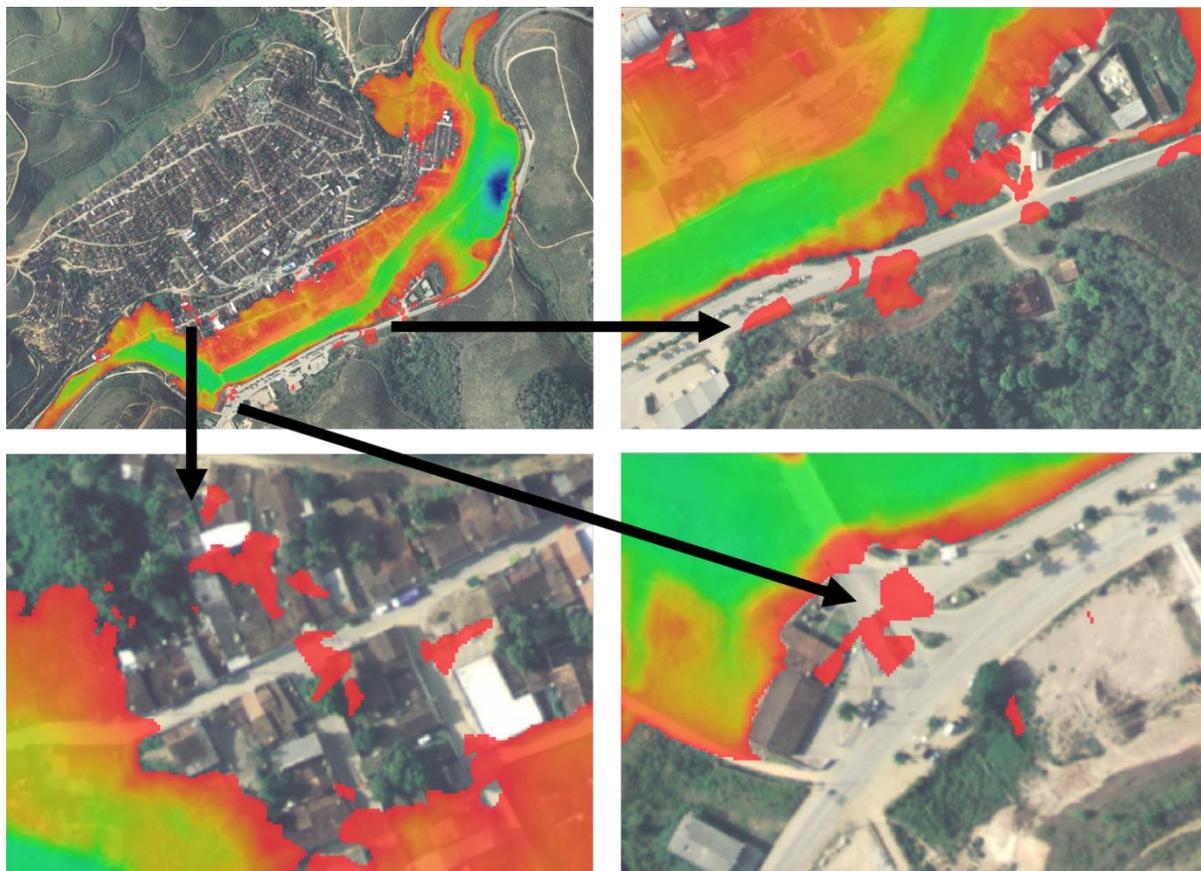
Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Ante as observações relatadas, é fundamental ressaltar que o processo sensível de calibração da mancha contou com o auxílio do MDT PE3D de alta resolução, de modo a facilitar a identificação das áreas atingidas, otimizando assim o processo de refinamento da simulação.

Por outro lado, semelhante ao observado por Dantas (2012), a metodologia usada para obtenção do contorno da mancha de inundação por meio de interpoladores pode apresentar algumas limitações, sobretudo na extrapolação da superfície das marcas observadas para definição do alcance da inundação. Neste estudo foi observada a inclusão de regiões com depressões em áreas adjacentes sem conectividade hidráulica com o canal de propagação do escoamento, gerando assim superestimação da mancha de inundação obtida a partir dos dados observados. Conforme ilustrado na Figura 25, é possível observar áreas

enquadradas como pontos de inundação ainda que estas não tenham sido registradas como locais afetados pelo evento reconstituído.

Figura 26 – Regiões inundadas sem conectividade hidráulica.



Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

De modo simplista, o ocorrido pode ser resolvido pela inserção manual de pontos com cota de inundação nula. Entretanto, outras alternativas podem ser testadas, tais como a realização de um novo banco de dados, mais robusto e regular, bem como o refinamento da mancha através da realização de novas interpolações.

7 CONCLUSÕES

O presente estudo buscou mapear as áreas sujeitas a inundações no município de Jaqueira através do levantamento de dados realizado com o aplicativo Hidromapp, bem como averiguar a utilização de algoritmos baseados em interpolações para a reconstituição de manchas de inundação a partir de marcas de cheia. Ambas as propostas atingiram suas metas eficientemente de modo que os resultados apresentados certamente servirão de base para implantação de medidas preventivas e mitigadoras a danos, no tocante a ocorrência de inundações.

A metodologia empírica usada, bem como a escolha do aplicativo Hidromapp apresentaram resultados satisfatório ao escopo do estudo. Apresentando-se dessa forma como métodos inovadores e de baixo custo agregado.

Decerto, durante o processo construtivo da mancha, foi evidenciado que uma base de dados vasta e regularmente estruturada está intimamente ligada à qualidade e veracidade do produto gerado pelo algoritmo usado, além de facilitar o processo de calibração. No tocante à modelagem e refinamento, o software QGIS fundamentou-se como um instrumento de ampla importância.

Dessa forma, a reconstituição de manchas de inundação pode ser considerada como um importante instrumento para o controle e prevenção de inundações. Os mapas deveriam ser a base para todos os programas de redução de danos, contribuindo ainda para o fato de que em municípios pequenos e com poucos recursos econômicos, realidade tangente ao estudo, torna-se muito difícil a implantação de sistemas mais sofisticados, como monitoramento e sistemas de alerta.

Por fim, o produto gerado pelo estudo estrutura-se como uma ferramenta de alto valor agregado à gestão municipal, pois a partir do mapa é possível elaborar medidas preventivas, planificar as situações de emergência e estabelecer ações conjuntas entre a comunidade e o poder público, com o intuito de promover a defesa permanente contra os desastres naturais.

8 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como recomendações visando a continuidade da pesquisa e outros trabalhos futuros, pode-se citar:

- Averiguar a confiabilidade de outros métodos interpoladores para a base dados apresentada;
- Testar o método IDW para uma malha regularmente distribuída no município em estudo;
- Comparar resultados de outros métodos interpoladores com o apresentado no presente estudo.
- Comparar a mancha reconstituída no presente estudo com resultado de modelos hidrodinâmicos.

REFERÊNCIAS

- ALVES, A. et al. Correlação entre o nível atingido e os prejuízos causados pelas inundações do rio Taquari no município de Cruzeiro do Sul-RS. **Revista Destaques Acadêmicos**, v. 05, n. 04, p. 217-229, 2013.
- APAC. Monitoramento Pluviométrico. **Agência Pernambucana de Águas e Climas**, 2017. Disponível em: <<http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php>>. Acesso em: 25 maio 2019.
- APAC. Monitoramento Pluviométrico. **Agência Pernambucana de Águas e Climas**, 2018. Disponível em: <<http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php#>>. Acesso em: 10 julho 2019.
- BANCO MUNDIAL. **Avaliação de Perdas e Danos**. Banco Mundial. Brasília, p. 75. 2012.
- BISCONSIN, D. R.; JÚNIOR, J. L. F. Monitoramento de pavimentos com smartphones. **32º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes da ANPET**, Gramado, 2018. 1321-1324.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Boletim Epidemiológico**. Secretaria de Vigilância em Saúde. Brasília, p. 13. 2018. (2358-9450).
- CEXCHUV. **Relatório final da Comissão Externa das Chuvas em Alagoas e Pernambuco**. Comissão Externa das Chuvas em Alagoas e Pernambuco. [S.I.], p. 51. 2017.
- CIRILO, J. A. et al. Suporte de Informações Georreferenciadas de Alta Resolução para Implantação de Infraestrutura e Planejamento Territorial. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 07, n. 04, p. 755-763, 2014. ISSN 1984-2295.
- CREA-PE. **Projeto de Apoio Técnico do CREA-PE aos Municípios da Mata Sul em Pernambuco**. Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Pernambuco. Recife, p. 142. 2017.
- CRONEMBERGER, F. M. **Curso de Análises Espaciais Avançadas em plataforma ArcGIS 9.x**. Instituto Estadual do Ambiente. Rio de Janeiro, p. 55. 2009.
- DANTAS, C. E. D. O. **Previsão e controle de inundações em meio urbano com suporte de informações espaciais de alta resolução**. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, p. 221. 2012.
- DELOITTE. Global Mobile Consumer Survey 2018. **Deloitte Touche Tohmatsu Limited**, 2018. Disponível em: <<https://www2.deloitte.com/br/pt/pages/technology-media-and-telecommunications/articles/mobile-survey.html>>. Acesso em: 27 maio 2019.
- ECLAC. **Handbook for Estimating the Socioeconomic and Environmental Effects of Disasters**. Economic Commission for Latin America and the Caribbean. Washington D.C, p. 357. 2003.
- ENOMOTO, C. F. **Método para elaboração de mapas de inundação estudo de caso na bacia do rio Palmital**. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, p. 122. 2004.

FREITAS, C. M. D.; XIMENES, E. F. Enchentes e saúde pública – uma questão na literatura científica. **Ciência & Saúde Coletiva**, p. 1-2, 2012.

FRIESECKE, F. **Precautionary and Sustainable Flood Protection in Germany – Strategies and Instruments of Spatial Planning**. Proceedings of 3rd FIG Regional Conference. Jakarta: Proceedings. 2004. p. 17.

HIDROMAPP. **Projeto Hidromapp**: Mapeando inundações de forma colaborativa, 2019. Disponível em: <<http://www.hidromapp.com.br>>. Acesso em: 27 maio 2019.

IBGE. Cidades e Estados. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas**, 2010. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pe/jaqueira.html?>>. Acesso em: 20 maio 2019.

IBGE. Produto Interno Bruto dos Municípios. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas**, 2016. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/jaqueira/pesquisa/38/47001?tipo=ranking&indicador=47001>>. Acesso em: 20 maio 2019.

IBGE. Censo: Sinopse. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas**, 2018. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/jaqueira/pesquisa/23/25207?tipo=ranking&indicador=29518>>. Acesso em: 20 maio 2019.

KOBIYAMA, M. et al. **Prevenção de desastres naturais**. 1ª Edição. ed. Florianópolis: Editora Organic Trading, v. I, 2006.

MARCELINO, E. V.; NUNES, L. H.; KOBIYAMA, M. Mapeamento de risco de desastres naturais do estado de Santa Catarina. **Caminhos de Geografia (UFU)**, Uberlândia, v. XII, p. 72-84, fevereiro 2006.

OLIVEIRA, E. L. D. A.; ROBAINA, L. E. D. S.; RECKZIEGEL, B. W. Mapeamento de áreas de risco geomorfológico nas bacias hidrográficas dos arroios Cancela e Sanga do Hospital, Santa Maria-RS. **Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais**, Florianópolis, 2004. 248-261.

OLIVEIRA, F. H. L. et al. Estudo da condição da superfície em rodovias do estado do Ceará com uso de smartphones. **XIX CILA - Congresso Ibero Latinoamericano del Asfalto**, Medellín, 2017.

OLIVEIRA, G. A. **Desastres Hidrológicos e Informações Geográficas Voluntárias: concepção de sistema colaborativo para o mapeamento de áreas de riscos**. UFBA. Salvador, p. 113. 2017.

SHIDAWARA, M. Flood hazard map distribution. **Urban Water**, v. I, p. 125-129, 1999.

TUCCI, C. E. M. Inundações Urbanas. **ABRH/RHAMA**, Porto Alegre, 2007.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4ª Edição. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2013.

TUCCI, M. C. E.; BERTONI, J. C. **Inundações Urbanas na América do Sul**. 1ª. ed. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.

UFSC. **Relatório de danos materiais e prejuízos decorrentes de desastres naturais no Brasil: 1995 – 2014**. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. Florianópolis. 2016.

UNDP. **Reducing disaster risk: a challenge for development.** United Nations Development Program. New York, p. 130. 2004.

YALCIN, G.; AKYUREK, Z. Analysis Flood Vulnerable Areas with Multicriteria Evaluation. **Proceedings of XX International Society for Photogrammetry and Remote Sensing Congress**, Istanbul, 2004. 359-364.