

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA
MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL URBANA**

**DESASTRES HIDROLÓGICOS E INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS
VOLUNTÁRIAS: CONCEPÇÃO DE SISTEMA COLABORATIVO PARA O
MAPEAMENTO DE ÁREAS DE RISCOS**

Gabriel Araujo de Oliveira

Salvador
2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA
MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL URBANA

DESASTRES HIDROLÓGICOS E INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS
VOLUNTÁRIAS: CONCEPÇÃO DE SISTEMA COLABORATIVO PARA O
MAPEAMENTO DE ÁREAS DE RISCOS

Gabriel Araujo de Oliveira

Dissertação apresentada ao **MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL URBANA** como requisito parcial à obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA AMBIENTAL URBANA.

Orientadora: Profa. Dra. Patrícia Lustosa Brito

Agência Financiadora: CAPES

Salvador

2017

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Universitário de Bibliotecas (SIBI/UFBA),
com os dados fornecidos pelo autor.**

Oliveira, Gabriel Araujo de
Desastres Hidrológicos e Informações Geográficas Voluntárias:
concepção de sistema colaborativo para o mapeamento de áreas de
riscos / Gabriel Araujo de Oliveira. -- Salvador, 2017.
129 f.

Orientador: Patrícia Lustosa Brito.
Dissertação (Mestrado - Mestrado em Engenharia Ambiental
Urbana) -- Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica,
2017.

1. Informações Geográficas Voluntárias. 2. Mapeamento
colaborativo. 3. Mapeamento de áreas de riscos. 4. Desastres
Hidrológicos. 5. Inundação. I. Brito, Patrícia Lustosa. II.
Título.

FORMAÇÃO DO CANDIDATO

Urbanista, formado pela Universidade do Estado da Bahia, UNEB (2012), e Especialista em Geotecnologias, formado pela Faculdade Escola de Engenharia de Agrimensura da Bahia, FEEA (2014).

GABRIEL ARAUJO DE OLIVEIRA

“DESASTRES HIDROLÓGICOS E INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS VOLUNTÁRIAS: CONCEPÇÃO DE SISTEMA COLABORATIVO PARA O MAPEAMENTO DE ÁREAS DE RISCOS”.

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Ambiental Urbana.

Salvador, 30 de março de 2017

Banca Examinadora:

Prof^a Dr^a Patrícia Lustosa Brito
Universidade Federal da Bahia – UFBA

Prof^o. Dr^o Juan Pedro Moreno Delgado
Universidade Federal da Bahia – UFBA

Prof^o Dr^o Tiago Badre Marino
Universidade Federal Rural Do Rio de Janeiro -UFFRJ

AGRADECIMENTOS

Depois de escrever, escrever e muito escrever, todo esforço é válido para agradecer à todos que contribuíram e me motivaram para o desenvolvimento deste trabalho, mesmo que isso signifique escrever um pouco mais.

Agradeço muito aos meus pais, **Seu Domingos** e **Dona Magali**, por todo o esforço empregado na educação e crescimento dos seus filhos, ainda que diante de diversas dificuldades e com as suas limitações. Os quais mesmo fazendo coro aos milhares de familiares que utilizam a expressão “*mas você só estuda?!*”, acreditaram e apoiaram a minha escolha em seguir os estudos após a graduação.

À minha irmã mais velha, **Rafa**, pois foi a partir do seu amigo imaginário Gabriel que nossos pais planejaram a minha vinda ao mundo, e também pelo apoio dado em momentos difíceis que passei durante o mestrado. À minha irmã caçula **Júlia** (vulgo “*Do Brejo*”) por ser sempre tão risonha e “de boa”, mostrando que não é necessário ter grandes pretensões para ser feliz, e à qual agradeço também por ter permutado o seu computador para que eu pudesse concluir a dissertação.

Aos meus grandes amigos, irmãos, **Mano** (Couro de Rato), sempre sagaz e um amigo presente nos melhores e difíceis momentos; **Léo Polli** (Léo Torre), parceiro de conversas intermináveis sobre a dissertação, planos de vida e rumos a serem seguidos; **Caio** (Binho), um sujeito daqueles que toda pessoa deve conhecer na vida, representando o significado da palavra amizade em todos os seus sentidos, e à quem agradeço pela amizade de longas datas; **João** (Chico), que mesmo na sua pilantragem se faz um grande irmão; **Mayana**, a qual ainda que distante sempre se colocou presente e disponível; **Neemias**, que desde os 05 anos de idade compartilha a sua amizade, leveza e sabedoria; **Arjuna**, **Narayana** e **Surya Escobar**, irmãos que ganhei na vida, e agradeço também ao **Ciã Escobar** como um todo.

À **Duda**, que nos últimos meses, cruciais para a conclusão da dissertação, me deu todo o apoio e foi muito compreensiva e paciente com o som do “*click-click-tec-tec*” que embalou as suas noites de sono nesse período, enquanto eu passava as madrugadas escrevendo. À quem agradeço também pelo carinho e companheirismo, incluindo a sua participação na pesquisa quando me acompanhou e auxiliou nos trabalhos de campo.

À minha orientadora, professora **Patrícia Lustosa Brito**, por todas as suas contribuições, ensinamentos e pela compreensão com a minha inexperiência em lidar com questões burocráticas, que também fizeram parte do mestrado. Por ter, de forma sábia, me mostrado que o mapeamento colaborativo é um tema sério, complexo e de extrema importância no contexto atual.

Ao professor **Juan Pedro Delgado**, que desde a graduação me incentivou a trilhar pelos rumos da pesquisa e das geotecnologias, além de ser um grande professor, incentivando a capacidade de raciocínio e de análise crítica dos seus alunos.

Aos colegas de mestrado **André** (Xinela), grande parceiro e incentivador, **Fernando Yamaguchi**, **Isabela**, **Alexandre**, **Raul** (o hondurenho mais baiano que conheci) e **Thamires**, que compartilharam momentos e contribuíram para a construção de um ambiente saudável nesse período, até mesmo nas conversas rápidas de corredor e intervalos entre aulas.

À **Sara**, **Rosevânia**, **Natássia**, **Gal**, **Homero**, **Luciana**, **Wolfgang Reiber**, **Prof. Cortizo**, **Mário Bestetti**, **Vitor**, **Vânia**, **Luciano**, **Alan**, **Rodrigo**, **Neto**, **Dona Fátima**, e à tantas outras pessoas que em diferentes momentos e de variadas formas contribuíram para que essa dissertação tenha sido elaborada.

Às Professoras **Ana Maria** e **Néia**, por terem aceitado participar da pesquisa e por todo o apoio dado no estudo de caso, e aos estudantes do ensino médio do Colégio Estadual João Campos (Riachão do Jacuípe/BA), sem os quais não teria sido possível concluir a pesquisa.

À **CAPES** pela concessão da bolsa sem a qual não teria sido possível realizar o mestrado, sendo assim um importante instrumento de inclusão social na pesquisa e ciência do país.

Enfim, agradeço da forma mais sincera à todos e à tudo que de alguma maneira contribuiu e me motivou para a realização dessa dissertação.

RESUMO

Este trabalho apresenta a concepção de um sistema de informações geográficas voluntárias voltado para o mapeamento colaborativo de áreas de riscos hidrológicos. O sistema foi concebido visando que a coleta de informações espaciais de suscetibilidade (ameaça) e vulnerabilidade (exposição), relacionadas aos desastres hidrológicos, seja realizada por estudantes de ensino médio, os quais não necessariamente possuem conhecimentos técnicos em cartografia ou sobre o mapeamento de áreas de riscos. Para a sua concepção, foram estabelecidos os requisitos do sistema a partir de revisão bibliográfica, análise de trabalhos correlatos e consulta a especialistas, sendo definidos os usuários principais do sistema, seleção das informações coletadas pelos usuários através do aplicativo, e as funcionalidades necessárias para a sua utilização. Para a avaliação da concepção e identificação de ajustes necessários, foi realizado um estudo de caso no município de Riachão do Jacuípe/BA, com estudantes de ensino médio que participaram de treinamentos e de uma campanha de coleta, com o intuito de avaliar os aspectos positivos e dificuldades encontradas durante a utilização do aplicativo. Os resultados da pesquisa demonstraram que é possível realizar mapeamentos preliminares de áreas de riscos hidrológicos utilizando o sistema proposto, mas que no entanto, não foram obtidos êxitos na coleta de informações sobre a intensidade de eventos hidrológicos e vulnerabilidade da população. Além da concepção do sistema, a pesquisa demonstrou que o desenvolvimento de sistemas de informações geográficas voluntárias deve considerar a possibilidade de obtenção de informações diferenciadas, que não são contempladas pela cartografia convencional; a implementação de funcionalidades que ampliem a confiabilidade das informações colaboradas; desenvolvimento de recursos para a avaliação da reputação dos usuários e da qualidade das informações coletadas; adequação do sistema ao perfil dos usuários; e o incentivo do envolvimento da população na gestão de riscos.

Palavras-chave: Informações Geográficas Voluntárias; Mapeamento colaborativo; Desastres hidrológicos; Mapeamento de áreas de riscos; Inundação.

HYDROLOGICAL DISASTERS AND VOLUNTEERED GEOGRAPHIC INFORMATION: CONCEPTION OF A COLLABORATIVE SYSTEM FOR RISK AREA MAPPING

ABSTRACT

This work presents the conception of a system of volunteered geographic information for the collaborative mapping of hydrological risks areas. The system was conceived aiming at that the collection of space information of susceptibility (hazard) and vulnerability, related to the hydrological disasters, either accomplished for students of average education, which not necessarily possess knowledge technician in cartography or on the mapping of areas of risks. For its conception, the functions of the system were established from bibliographic revision, analysis of similar works and consult from specialists, being definite the main users of the system, selection of the information collected for users through the applicatory one, and the necessary functionalities for its use. For the evaluation of the conception and identification of necessary adjustments, a study of case in the city of Riachão of the Jacuípe/BA was accomplished, with students of average education who had participated of training and a campaign of collection, with intention to evaluate the positive aspects and difficulties found during the use of the applicatory one. The results of the research had demonstrated that it is possible to accomplish preliminary mappings of areas of hydrological risks using the proposed system, but that however, successes in the collection of information on the intensity of hydrological events and vulnerability of the population were not obtained. Beyond the conception of the system, the research demonstrated that the development of systems of volunteered geographic information must consider the possibility of attainment of differentiated information, that are not contemplated by the conventional cartography; the implementation of functionalities that extend the trustworthiness of the cooperated information; development of resources for the evaluation of the reputation of the users and the quality of the collected information; adequacy of the system to the profile of the users; and incentive of the involvement of the population in the management of risks.

Keywords: Volunteered geographic information; Collaborative mapping; Hydrological disasters; Risk area mapping; Flood.

SUMÁRIO

	Pág.
AGRADECIMENTOS	vi
RESUMO.....	viii
ABSTRACT	ix
SUMÁRIO.....	x
ÍNDICE DE TABELAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
SÍMBOLOS E ABREVIATURAS.....	xv
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Objetivos.....	3
1.1.1 Objetivo Geral.....	3
1.1.2 Objetivos Específicos	3
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 Desastres hidrológicos	4
2.1.1 Considerações sobre desastres e riscos hidrológicos.....	4
2.1.2 Mapeamento de áreas de riscos hidrológicos	11
2.2 Informações Geográficas Voluntárias (VGI)	18
2.2.1 Contribuições de VGI na gestão de riscos	23
2.2.2 Características de sistemas voltados para a coleta de VGI	28
3 METODOLOGIA	39
3.1 Concepção do sistema	40
3.1.1 Levantamento de requisitos	40
3.1.2 Estruturação do modelo de sistema	42
3.2 Estudo de caso: testes com usuários	43
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	46
4.1 Sistema proposto.....	46
4.1.1 Usuários do sistema	46
4.1.2 Informações sobre ameaça fornecidas pelos usuários e coletadas pelo sistema na forma de VGI	47
4.1.3 Informações de vulnerabilidade fornecidas pelos usuários e coletadas pelo sistema na forma de VGI	48

4.1.4 Interface e funcionalidades do sistema	49
4.1.5 Modelo do banco de dados	61
4.1.6 Diagramas de Fluxo de Dados	63
4.2 Resultados do estudo de caso	65
4.2.1 Considerações sobre o desenvolvimento do protótipo	65
4.2.2 Participação dos usuários	66
4.2.3 Cobertura espacial dos dados coletados.....	71
4.2.4 Consistência das informações.....	76
4.2.5 Avaliação da concepção do sistema	88
5 CONCLUSÕES.....	92
6 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	95
7 REFERÊNCIAS	96
ANEXOS	105
Anexo 1. Fotos dos treinamentos realizados no estudo de caso.....	105
Anexo 2. Respostas dos usuários ao questionário de avaliação do protótipo	106
Anexo 3. Mapa de informações colaboradas sobre ocorrências de vítimas fatais e feridos.....	107
Anexo 5. Mapa de informações colaboradas sobre danos em móveis e eletrodomésticos.....	109
Anexo 6. Mapa de informações colaboradas sobre idosos.....	110
Anexo 7. Mapa de informações colaboradas sobre crianças.....	111
Anexo 8. Mapa de informações colaboradas sobre portadores de deficiências motoras.....	112
Anexo 9. Mapa de informações colaboradas sobre potenciais desabrigados	113

ÍNDICE DE TABELAS

	Pág.
Tabela 1. Definições de desastre.	4
Tabela 2. Conceitos de risco.	6
Tabela 3. Definições matemáticas de risco.	7
Tabela 4. Subdivisões e definições de ameaças hidrológicas segundo a COBRADE.	8
Tabela 5. Tipos de danos decorrentes de inundações em áreas urbanas.	10
Tabela 6. Matriz para determinação do grau de riscos hidrológicos em áreas urbanas.	15
Tabela 7. Variáveis utilizadas no mapeamento de áreas vulneráveis.	16
Tabela 8. Características de aplicações baseadas em VGI na gestão de riscos hidrológicos.	29
Tabela 9. Características do sistema proposto.	59
Tabela 10. Descrição da tabela InfoUsuario.....	61
Tabela 11. Descrição da tabela Colaboracoes.....	62
Tabela 12. Determinação dos critérios de avaliação da consistência dos dados.....	77
Tabela 13. Correlação espacial das informações coletadas.	78
Tabela 14. Considerações e recomendações sobre os requisitos do sistema.	88

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Cenário de inundações ribeirinhas de acordo com Tucci (2008).	8
Figura 2. Esquema conceitual de áreas de risco.....	12
Figura 3. Mapas de ameaça (A), vulnerabilidade (B) e riscos hidrológicos (C) no município de Rio Negrinho/SC.	13
Figura 4. Plataforma colaborativa baseada em VGI: Onde Fui Roubado.....	19
Figura 5. Interações entre SIG, participação pública e <i>internet</i>	21
Figura 6. Base do Haiti na plataforma OSM antes e após o terremoto de 2010.	25
Figura 7. Mapa de inundação da cidade de Eilenburg por modelagem hidráulica-hidrológica (A) e mapa elaborado por Poser e Dransch (2010) utilizando VGI (B). ..	28
Figura 8. Gráfico de distribuição temporal do número de aplicações analisadas.....	33
Figura 9. Distribuição temporal e espacial das aplicações analisadas	34
Figura 10. Gráfico de distribuição das aplicações em relação ao atributo Escala.....	35
Figura 11. Gráfico de distribuição das aplicações em relação ao atributo forma de colaboração.....	36
Figura 12. Gráfico de distribuição das aplicações em relação ao atributo recurso de georreferenciamento.	37
Figura 13. Gráfico de distribuição das aplicações em relação ao atributo fase de gestão.	37
Figura 14. Fluxograma da metodologia utilizada na pesquisa.....	45
Figura 15. Interface do sistema: telas de apresentação e <i>login</i>	50
Figura 16. Interface do sistema: funções iniciais e mapa de colaborações realizadas.	51
Figura 17. Interface do sistema: tela inicial de colaboração.....	52
Figura 18. Interface do sistema: recursos de georreferenciamento das informações.	53
Figura 19. Interface do sistema: funções de registro de ocorrências.	54
Figura 20. Função para o envio de fotografias sobre a altura da inundação.....	55
Figura 21. Interface do sistema: registro de ocorrência de danos causados por inundações.....	56
Figura 22. Interface do sistema: coleta de informações de vulnerabilidade.	57
Figura 23. Interface do sistema: finalização da colaboração.....	58

Figura 24. Modelo de banco de dados do sistema proposto.....	61
Figura 25. Diagrama de fluxo de dados: acesso ao sistema e cadastro de usuários.	63
Figura 26. Diagrama de Fluxo de Dados: adicionar informação colaborativa no sistema.....	64
Figura 27. Treinamento com estudantes do ensino médio.....	67
Figura 28. Gráfico de colaborações realizadas pelos usuários.	68
Figura 29. Gráfico de distribuição dos usuários pelo número de colaborações realizadas.....	69
Figura 30. Distribuição do número de colaborações por dia de campanha.....	69
Figura 31. Mapas de distribuição das colaborações realizadas.	72
Figura 32. Mapa de distribuição das colaborações por bairro.	73
Figura 33. Mapa de colaborações sobrepostas.....	74
Figura 34. Gráfico de distribuição das colaborações por recurso de georreferenciamento.	75
Figura 35. Gráfico de distribuição de informações não respondidas pelos usuários.	79
Figura 36. Gráfico de distribuição da consistência das informações sobre pontos atingidos pela inundação.....	80
Figura 37. Mapa hipsométrico da área de estudo e pontos atingidos pela inundação classificados como consistentes e parcialmente consistentes.	81
Figura 38. Mapa de informações sobre pontos atingidos pela inundação classificados por grau de consistência.	82
Figura 39. Conversão da altura da inundação coletada em cota de inundação.....	83
Figura 40. Gráfico de distribuição da consistência das informações sobre cotas de inundação.....	84
Figura 41. Mapa de informações sobre cotas de inundação classificadas pelo grau de consistência.....	85
Figura 42. Consistência das cotas de inundação no bairro do Alto do Cruzeiro.	86
Figura 43. Consistência das cotas de inundação na ponte (BR-324).....	87

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

API	Application Programming Interface
BIRD	Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento
CEPED	Centro de Estudos Pesquisas sobre Desastres
COBRADE	Classificação e Codificação Brasileira de Desastres
EIRD	Estratégia Interionacional para a Redução de Riscos de Desastres
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ONU	Organização das Nações Unidas
OSM	Open Street Map
PDDU	Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano
PNPDC	Política Nacional de Proteção e Defesa Civil
PPGIS	Public Participation Geographic InformationSystem
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
UNHCR	United Nations High Commissioner for Refugees
VGI	Volunteered Geographic Information

1 INTRODUÇÃO

Todos os anos mais de 200 milhões de pessoas no planeta estão envolvidas com algum tipo de desastre (EIRD/ONU, 2007). Segundo o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais, Volume Bahia (UFSC, 2011), entre os anos de 1991 e 2010 foram registradas aproximadamente 2.900 ocorrências de desastres naturais no Estado da Bahia, com crescimento de 16,60% entre os anos de 1991 e 2010. Embora a maioria dessas ocorrências no Estado esteja relacionada com os danos causados pela seca e estiagem (UFSC, 2011), os principais desastres naturais encontrados nas cidades brasileiras, sobretudo nas metrópoles, dizem respeito a deslizamentos de encostas e inundações (BRASIL, 2007).

No ano de 2011, a Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro foi alvo de um dos maiores desastres naturais relacionados ao movimento de massas e enxurradas no Brasil, o qual acarretou em 947 vítimas fatais, 300 desaparecimentos, mais de 50.000 desabrigados e atingindo aproximadamente 1 milhão de pessoas (DOURADO, ARRAES, e SILVA, 2012). Da mesma forma, no Estado da Bahia, a enxurrada ocorrida na sede municipal de Lajedinho (em 08 de dezembro de 2013) resultou na morte de 17 pessoas e aproximadamente 300 famílias desabrigadas (BRANDÃO *et al.*, 2014), além da destruição de estabelecimentos comerciais, órgãos públicos e outros equipamentos urbanos.

Considerando suas devidas proporções, ambos os desastres apresentam características similares, sobretudo em relação a imprevisibilidade dos índices de precipitação pluviométrica que ocasionaram as catástrofes. Nesse aspecto o Alto Comissariado das Nações Unidas para Refugiados (United Nations High Commissioner for Refugees – UNHCR) alerta para o fato de que o atual modo de produção socioeconômico insustentável tem acentuado as mudanças climáticas e respectivos desastres em todo o planeta (UNHCR, 2009).

Os prejuízos causados pelos desastres naturais, sobretudo os danos relativos à vida humana, demonstram a importância de trabalhos voltados para a temática, na qual têm aumentado recentemente o número de pesquisas relacionadas ao uso de geotecnologias aplicadas na gestão de riscos e desastres. Entre algumas outras ferramentas, o mapeamento de áreas de riscos é essencial para a gestão de desastres, sobretudo no que diz respeito à prevenção e ao planejamento de ações futuras, visando reduzir as ameaças e vulnerabilidades, e assim contribuir para a

qualidade de vida e segurança da população. O conhecimento sócio ambiental do território e de suas áreas de riscos é fundamental para garantir a efetividade das políticas públicas de defesa civil, minimizando os riscos de desastres e respectivos danos ocasionados.

Entretanto, por vezes o mapeamento de áreas de riscos não tem sido realizado por municípios brasileiros, sobretudo por aqueles de pequeno porte, devido à indisponibilidade de dados cartográficos ou de recursos técnicos e financeiros necessários para a sua elaboração. Nesse sentido, a utilização de informações espaciais fornecidas pela população, denominadas Informações Geográficas Voluntárias (GOODCHILD, 2007), tem demonstrado a eficiência de sistemas concebidos para a sua coleta em variados temas, incluindo a gestão de riscos. Em situações de crise, como no terremoto do Haiti em 2010, essas informações espaciais fornecidas pela população possibilitam a realização de mapeamentos em massa, num curto período de tempo, com baixo custo e abrangendo informações que não são consideradas pelas cartografia convencional (GOODCHILD, 2007; ELWOOD, 2008). Assim, atualmente o número de aplicações relacionadas às Informações Geográficas Voluntárias têm crescido em todo o planeta, para a coleta de informações colaborativas para diversos fins, principalmente para a gestão de riscos e desastres. A partir dessas aplicações tem sido possível reduzir os custos na coleta de informações geográficas, e também, obter informações diferenciadas, e promover a participação social.

Por outro lado, por ser uma temática relativamente nova, muitos conceitos e abordagens ainda encontram-se em fase de consolidação, sendo necessário manter os esforços em explorar as suas possibilidades de aplicação. Assim, a base da presente pesquisa consiste na investigação e compreensão dos elementos expostos com o objetivo de realizar a concepção de um sistema que possa contribuir para o mapeamento colaborativo de áreas de riscos hidrológicos, visando a sua realização com baixo custo e de forma participativa, conforme estipulado a seguir nos objetivos da pesquisa.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Realizar a concepção de um sistema voltado para a aquisição de informações geográficas voluntárias relacionadas a riscos hidrológicos, visando contribuir para a construção de ferramentas participativas de mapeamento de áreas de riscos.

1.1.2 Objetivos Específicos

a) Sistematizar arcabouço teórico-metodológico sobre a aplicação de informações geográficas voluntárias na gestão de riscos, sobretudo no mapeamento de áreas de riscos hidrológicos;

b) Identificar aspectos que devem ser considerados na concepção de sistemas voltados para a coleta de informações Geográficas Voluntárias;

c) Apresentar a arquitetura de um sistema de mapeamento colaborativo de áreas de riscos hidrológicos;

d) Analisar a viabilidade de utilização de Informações Geográficas Voluntárias no mapeamento de áreas de riscos hidrológicos;

e) Contribuir para a difusão de ferramentas participativas na gestão de riscos de desastres.

f) Motivar o uso de ferramentas de VGI em ações educacionais que envolvem a participação cidadã na gestão do território.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Desastres hidrológicos

2.1.1 Considerações sobre desastres e riscos hidrológicos

De acordo com as definições da Estratégia Internacional para a Redução de Desastres (EIRD/ONU, 2004), Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres (CEPED) (UFSC, 2014) e Instrução Normativa nº 01, de 24 de agosto de 2012 do Ministério da Integração (INSTRUÇÃO NORMATIVA, 2012), apresentadas na tabela 1, os desastres são definidos como: conjunto de impactos negativos causados por eventos adversos (ameaças), naturais ou antrópicos, ocorridos sobre uma região vulneravelmente exposta e com baixa capacidade de prevenção ou resposta, acarretando em danos e prejuízos sociais, ambientais e/ou econômicos.

Tabela 1. Definições de desastre.

Definição	Referência
Uma séria interrupção no funcionamento de uma comunidade ou sociedade que ocasiona perdas humanas e/ou importantes perdas materiais, econômicas e ambientais; que excedem a capacidade de uma comunidade ou a sociedade afetada de fazer frente à situação mediante o uso de seus próprios recursos. É resultante da combinação de ameaças, vulnerabilidade e insuficiente capacidade de reduzir as consequências negativas e potenciais do risco.	EIRD ONU (2004)
Resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem sobre um cenário vulnerável, causando grave perturbação ao funcionamento de uma comunidade ou sociedade envolvendo extensivas perdas e danos humanos, materiais, econômicos ou ambientais, que excede a sua capacidade de lidar com o problema usando meios próprios.	Instrução Normativa (2012)
Resultado de eventos que provocam intensas alterações na sociedade, pondo em risco a vida humana, o meio ambiente e os bens materiais das pessoas e do país. Estão relacionados à combinação de fatores como ameaças e vulnerabilidades, que expõe determinadas populações ao risco de esses fenômenos ocorrerem.	UFSC (2014)

Fonte: O autor.

Sobre as definições apresentadas na tabela 1, o conceito elaborado pela Estratégia Internacional para a Redução de Desastres (EIRD) tem sido adotado pelos principais instrumentos voltados para a redução dos desastres em escala global, como o Marco da Ação de Hyogo e Marco de Sendai. A definição de desastre utilizada pela EIRD enfatiza que a capacidade de lidar com as ameaças e vulnerabilidades é essencial para a redução dos danos e prejuízos causados por desastres. Esta definição se apresenta de forma complementar ao conceito utilizado pelo CEPED (UFSC, 2014), o qual se restringe à relação entre ameaças e vulnerabilidades na determinação de desastres.

Por outro lado é possível perceber a utilização do conceito definido pela EIRD na Instrução Normativa nº 01, de 24 de agosto de 2012 do Ministério da Integração, a qual estabelece os procedimentos e critérios para a decretação de situação de emergência ou estado de calamidade pública em situações de crise. A inclusão do fator capacidade pela instrução normativa demonstra que o Brasil tem considerado as diretrizes da EIRD para a gestão de desastres no país, e por isso, também, a definição estabelecida pela EIRD é tomada para o trabalho como ponto de partida para o entendimento dos desastres.

O conceito de risco, por sua vez, expressa a probabilidade de ocorrência de um desastre, e ao longo das décadas variados conceitos lhe foram atribuídos. Inicialmente o seu conceito foi definido pelas ciências naturais, quando a análise de riscos era restrita ao estudo dos fenômenos naturais, causadores de desastres. Posteriormente a sua definição passou a ser explicada também pelas ciências aplicadas e ciências sociais, quando os aspectos socioeconômicos passaram a ser considerados (MASRKEY, 1998).

Embora existam diversos conceitos para o termo risco, atualmente há um consenso sobre a sua definição como pode ser visto na tabela 2. De acordo com as definições apresentadas, o risco é considerado como uma medida de probabilidade de ocorrência de danos sociais, econômicos ou ambientais em decorrência de uma ameaça sucedida sobre uma área vulnerável; ou, como já foi mencionado de forma simplificada, o risco é a probabilidade de ocorrência de um desastre (MANSILLA, 2000; BRASIL, 2007; CASTRO, 2009; EIRD/ONU).

Tabela 2. Conceitos de risco.

Conceito de Risco	Referência
A probabilidade de que expressa uma ameaça particular em um sistema com uma determinada vulnerabilidade, considerando a implementação de ações preventivas e medidas de mitigação.	Mansilla (2000)
Relação entre a possibilidade de ocorrência de um dado processo ou fenômeno e a magnitude de danos ou consequências sociais e/ou econômicas sobre um dado elemento, grupo ou comunidade.	Ministério das Cidades (BRASIL, 2007)
Probabilidade de consequências prejudiciais ou perdas esperadas (óbitos, doenças, agravos, danos às propriedades e dos meios de subsistência, interrupção das atividades econômicas ou degradação ambiental); resultado de interações entre ameaças naturais ou tecnológicas e condições de vulnerabilidade.	EIRD/ONU
1. Medida de dano potencial ou prejuízo econômico expressa em termos de probabilidade estatística de ocorrência e de intensidade ou grandeza das consequências previsíveis. 2. Probabilidade de ocorrência de um acidente ou evento adverso, relacionado com a intensidade dos danos ou perdas, resultantes dos mesmos. 3. Probabilidade de danos potenciais dentro de um período especificado de tempo e/ou de ciclos operacionais. 4. Fatores estabelecidos, mediante estudos sistematizados, que envolvem uma probabilidade significativa de ocorrência de um acidente ou desastre.	Castro (2009)

Fonte: O autor.

Uma vez que o risco é considerado uma medida de probabilidade, passível de mensuração, o CEPED (UFSC, 2014), Guimarães, Guerreiro e Peixoto (2008) e o Ministério das Cidades (BRASIL, 2006) apresentam equações que visam definir matematicamente o conceito de risco (Tabela 3). A partir das equações é possível perceber como a combinação de uma ameaça/perigo sobre um ambiente vulnerável contribui para o aumento do risco, enquanto que a capacidade de intervir sobre esses fatores atua como elemento redutor na probabilidade de ocorrência de um desastre.

Tabela 3. Definições matemáticas de risco.

Equação	Referência
$Risco = (Ameaça \times Vulnerabilidade)$	UFSC (2014)
$Risco = f \left\{ \frac{Ameaça \times Vulnerabilidade}{Capacidade} \right\}$ Onde f significa função.	Guimarães, Guerreiro e Peixoto (2008)
$R = P(fA) * C(fV) * g^{-1}$ Onde um determinado nível de risco R representa a probabilidade P de ocorrer um fenômeno físico (ou perigo) A , em local e intervalo de tempo específicos e com características determinadas (localização, dimensões, processos e materiais envolvidos, velocidade e trajetória); causando consequências C (às pessoas, bens e/ou ao ambiente), em função da vulnerabilidade V dos elementos expostos; podendo ser modificado pelo grau de gerenciamento g .	Ministério das Cidades (BRASIL, 2006)

Fonte: O autor.

Em todos os conceitos apresentados, os desastres, assim como o risco, são caracterizados a partir dos elementos: a) ameaça, que representa o evento adverso que pode causar o desastre; b) vulnerabilidade, ou o grau de exposição de uma determinada região em relação à ameaça; c) capacidade de eliminação ou de redução dos impactos negativos causados por catástrofes; d) danos e prejuízos sociais, ambientais ou econômicos causados pela ocorrência do evento adverso sobre uma área vulnerável e d) capacidade de ação perante os riscos (EIRD/ONU, 2004; INSTRUÇÃO NORMATIVA, 2012; UFSC, 2014).

As tipologias de desastres e riscos estão diretamente relacionadas com o tipo de ameaça, de forma que os desastres e riscos hidrológicos são caracterizados pela presença de ameaças de natureza hidrológica. A Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE) define que os desastres hidrológicos estão relacionados aos danos causados por fluxos de água superiores à capacidade da infraestrutura de drenagem (alagamentos) ou de corpos hídricos naturais (inundações), podendo ser agravados quando ocorrem com alta velocidade de escoamento (enxurradas).

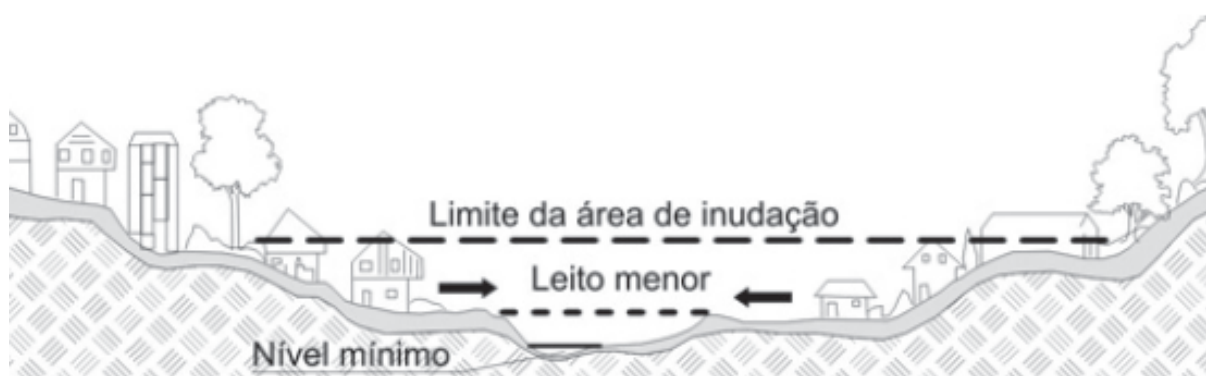
Tabela 4. Subdivisões e definições de ameaças hidrológicas segundo a COBRADE.

Inundações	Enxurradas	Alagamentos
Submersão de áreas fora dos limites normais de um curso de água em zonas que normalmente não se encontram submersas. O transbordamento ocorre de modo gradual, geralmente ocasionado por chuvas prolongadas em áreas de planície.	Escoamento superficial de alta velocidade e energia, provocado por chuvas intensas e concentradas, normalmente em pequenas bacias de relevo acidentado. Caracterizada pela elevação súbita das vazões de determinada drenagem e transbordamento brusco da calha fluvial. Apresenta grande poder destrutivo.	Extrapolação da capacidade de escoamento de sistemas de drenagem urbana e consequente acúmulo de água em ruas, calçadas ou outras infraestruturas urbanas, em decorrência de precipitações intensas.

Fonte: Adaptado de COBRADE.

Tucci (2005) utiliza a expressão inundações ribeirinhas para caracterizar ameaças hidrológicas e se refere apenas ao transbordamento de cursos hídricos naturais, não considerando os eventos associados exclusivamente à drenagem urbana construída, como o alagamento de bueiros, vias e calçadas. Para o autor, as inundações que se configuram como ameaças ocorrem quando o corpo hídrico se eleva, em decorrência de chuvas intensas, para cotas superiores ao seu leito natural (menor) e atinge áreas ocupadas (Figura 1).

Figura 1. Cenário de inundações ribeirinhas de acordo com Tucci (2008).



Fonte: Adaptado de Tucci (2008).

Para Goerl e Kobiyama (2005) e o CEPED (UFSC, 2004) o termo inundações é utilizado apenas para caracterizar ameaças hidrológicas, subdivididas em inundações graduais e bruscas. Semelhante às inundações ribeirinhas em seu leito menor (TUCCI, 2005), as inundações graduais se referem ao transbordamento do corpo hídrico em sua planície natural de inundação, ainda que sejam áreas que permaneçam secas em determinados períodos.

Já as inundações bruscas, de maneira análoga as inundações ribeirinhas no leito maior, extrapolam a planície natural de inundação dos corpos hídricos e geralmente estão associadas a elevados índices pluviométricos (UFSC, 2004; GOERL e KOBAYAMA, 2005). Estas podem causar danos de grandes proporções, sobretudo quando ocorrem em cotas elevadas de inundação e alta velocidade de escoamento (UFSC, 2004; TUCCI, 2005; GOERL e KOBAYAMA, 2005).

Segundo Cançado (2009), os danos causados por inundações em áreas urbanas podem ser classificados em tangíveis ou intangíveis, e diretos ou indiretos. O primeiro critério de classificação envolve a análise dos danos em relação à possibilidade de serem mensurados em valores monetários. Os danos tangíveis são aqueles passíveis de mensuração, como danos em edificações, móveis, eletrodomésticos, estoque de estabelecimentos comerciais e outros. Por sua vez, os danos intangíveis não podem ser mensurados em valores monetários, como ocorrência de vítimas fatais e feridos, destruição de bens de valor histórico cultural ou objetos de valor afetivo. A autora menciona que tradicionalmente, na gestão de riscos é enfatizada a necessidade de evitar ou reduzir os danos intangíveis, sobretudo em relação à ocorrência de vítimas fatais ou de feridos.

Os danos diretos são descritos como sendo aqueles nos quais existe contato físico entre os elementos afetados e a inundação, como a destruição de bens materiais, feridos, vítimas fatais, contágio de doenças e outros. Por sua vez, os danos indiretos correspondem às consequências da inundação que podem ser percebidas na dinâmica urbana, como a interrupção de serviços e perturbações no cotidiano da população, ou de forma individual como alterações no estado psicológico (CANÇADO 2009). Os principais danos causados por inundações e suas respectivas classificações são apresentados na tabela 5.

Tabela 5. Tipos de danos decorrentes de inundações em áreas urbanas.

Tipos		Danos
DANOS TANGÍVEIS	DIRETOS	Danos físicos aos domicílios: construção e conteúdo das residências.
		Danos físicos ao comércio e serviços: construção e conteúdo (mobiliário, estoques, mercadorias em exposição, etc.).
		Danos físicos aos equipamentos e plantas industriais.
		Danos físicos à infraestrutura
	INDIRETOS	Custos de limpeza, alojamento e medicamentos. Realocação do tempo e dos gastos na reconstrução. Perda de renda
		Lucros cessantes, perda de informações e base de dados. Custos adicionais de criação de novas rotinas operacionais pelas empresas. Efeitos multiplicadores dos danos nos setores econômicos interconectados.
		Interrupção da produção, perda de produção, receita e, quando for o caso, de exportação. Efeitos multiplicadores dos danos nos setores econômicos interconectados.
		Perturbações, paralisações e congestionamento nos serviços, custos adicionais de transporte, efeitos multiplicadores dos danos sobre outras áreas.
DANOS INTANGÍVEIS	DIRETOS	Ferimentos e perda de vida humana.
		Doenças pelo contato com a água, como resfriados e infecções.
		Perda de objetos de valor sentimental.
		Perda de patrimônio histórico ou cultural.
		Perda de animais de estimação.
	INDIRETOS	Estados psicológicos de stress e ansiedade
		Danos de longo prazo à saúde.
		Falta de motivação para o trabalho.
		Inconvenientes de interrupção e perturbações nas atividades econômicas, meios de transporte e comunicação.
		Perturbação no cotidiano dos moradores.

Fonte: Adaptado de Cançado (2009).

A incidência de desastres naturais em áreas urbanas no Brasil tem sido recorrente, principalmente, em decorrência do acelerado processo de urbanização e concentração populacional em grandes metrópoles (ROLNIK, 2001). Segundo Rolnik (2011), este modelo de urbanização, o qual denomina urbanização de risco, promove o acesso desigual ao solo, sobretudo para fins habitacionais, potencializando a ocupação de áreas riscos como encostas e margens de rios principalmente por populações de baixa renda.

No Brasil, entre 1995 e 2014 foram registradas aproximadamente 9 mil ocorrências de desastres hidrológicos, que juntas 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. Em relação ao estado da Bahia, os danos e prejuízos causados por desastres hidrológicos entre os anos de 1995 e 2014 chegam a 2,8 bilhões de reais, ocasionados em 322 ocorrências de desastres registrados no período (UFSC, 2016).

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 (TUCCI, 2007), destaca-se o mapeamento de áreas de riscos hidrológicos, tema central desta dissertação, discutido na subseção a seguir.

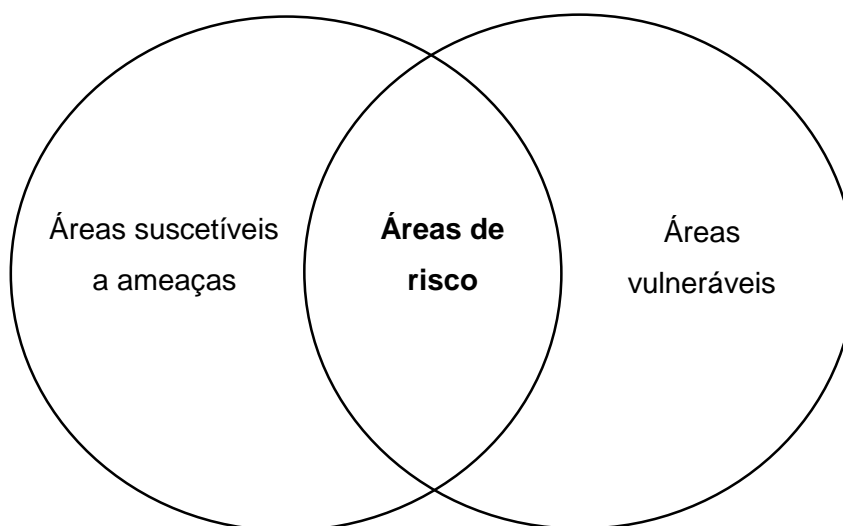
2.1.2 Mapeamento de áreas de riscos hidrológicos

O uso da cartografia na gestão de riscos tem sido um recurso explorado desde antes da difusão de tecnologias digitais (MASKREY 1998), como os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), sendo realizados até então através da superposição de mapas analógicos. Como exemplo de uso da cartografia analógica na análise de riscos, o autor cita a metodologia desenvolvida por McHarg (MCHARG *apud* MASKREY, 1998) no zoneamento de regiões inundáveis e na elaboração do Plano de Proteção Sísmica da Região Metropolitana de Lima (Peru) em 1982.

De modo geral, os mapas de riscos apresentam a localização de áreas onde existe a probabilidade de ocorrência de desastres, possibilitando o planejamento e

execução de medidas que evitem ou reduzam os impactos negativos causados por catástrofes (TUCCI, 2007; ECKHARDT, 2008; HORA, 2009; SAUERESSIG, 2012; BRASIL, 2004; BRASIL, 2007; GOERL, KOBAYAMA e PELLERIN, 2012; UFSC, 2014). Assim, levando em consideração os conceitos sobre riscos e desastres apresentados anteriormente, as áreas de riscos são aquelas consideradas suscetíveis à ocorrência de fenômenos causadores de desastres e ao mesmo tempo vulneráveis em relação aos impactos desses fenômenos; ou seja, são áreas onde existe a probabilidade de incidência de uma ameaça sobre uma área vulnerável, podendo acarretar em danos sociais, ambientais ou econômicos (figura 2).

Figura 2. Esquema conceitual de áreas de risco.



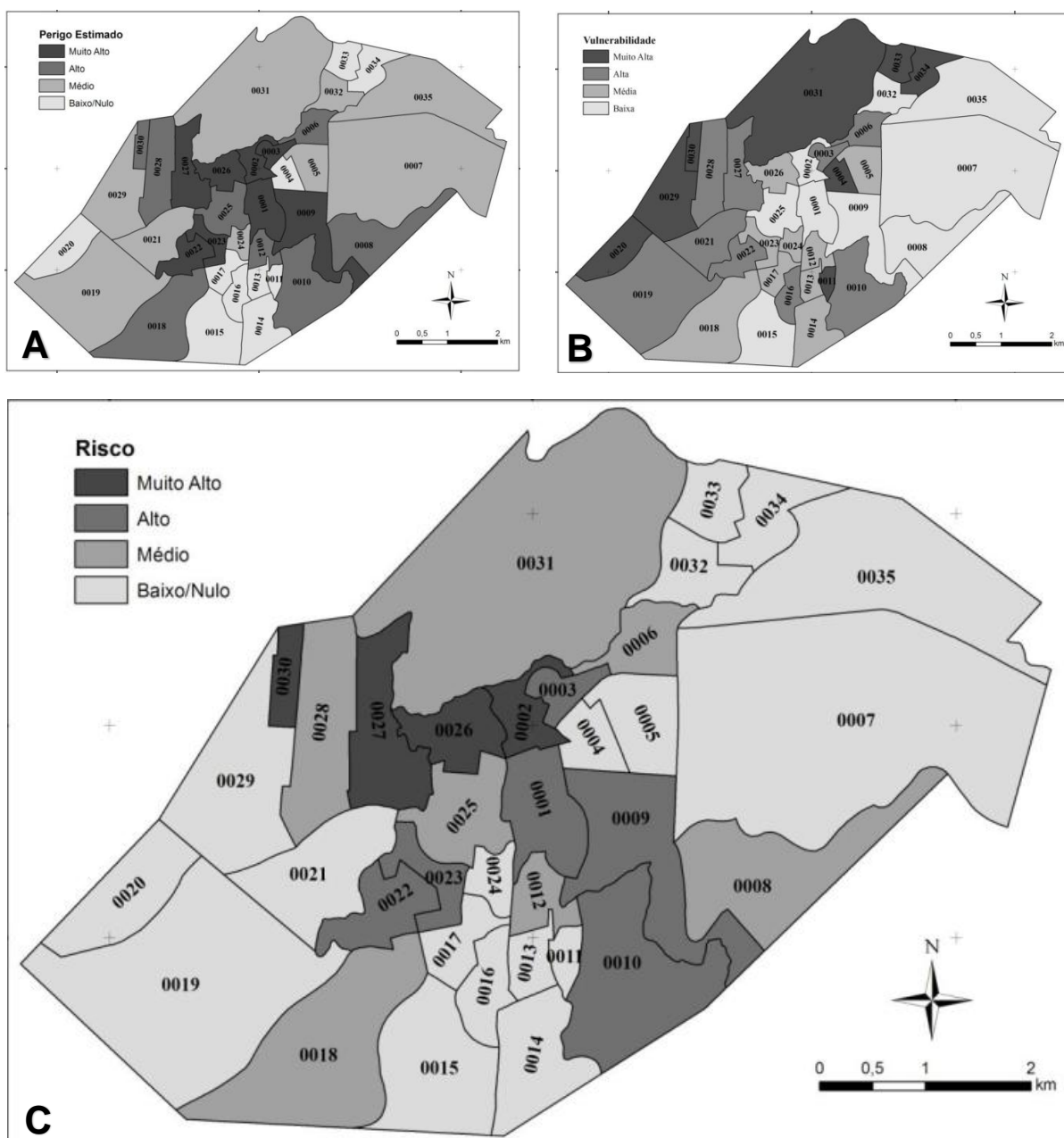
Fonte: O autor.

De maneira simplificada, para a elaboração de mapas de riscos hidrológicos, inicialmente é necessário identificar espacialmente as áreas que podem ser atingidas por eventos hidrológicos como inundações e enchentes, constituindo o mapa de ameaça/suscetibilidade, e realizar o mapeamento de áreas vulneráveis, que consiste no mapa de vulnerabilidade. A partir da interposição desses mapas é possível realizar o mapeamento preliminar de áreas riscos, identificando áreas onde existe sobreposição espacial das ameaças e vulnerabilidades. (BRASIL, 2004; BRASIL, 2007).

Entretanto, esses mapas preliminares permitem localizar apenas de forma categórica as áreas onde existem riscos (áreas de riscos x áreas sem riscos), não sendo possível diferenciá-las em função do nível de riscos existente em cada uma

delas. A identificação espacial do grau risco existente em diferentes áreas (Figura 3) é fundamental para o conhecimento dos locais com maior grau de risco, contribuindo para o planejamento de intervenções, sobretudo na priorização de investimentos em prevenção/mitigação ou antecipação nas ações de resposta e socorro em caso de desastres (TUCCI, 2007; BRASIL 2007; GOERL, KOBİYAMA e PELLERIN, 2012).

Figura 3. Mapas de ameaça (A), vulnerabilidade (B) e riscos hidrológicos (C) no município de Rio Negro/SC.



Fonte: Adaptado de Goerl, Kobiyama e Pellerin (2012).

O Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento (BIRD) tem estimulado diversos países, incluindo o Brasil, na elaboração de mapas de riscos, sendo estabelecido como condicionante para a obtenção de crédito junto à instituição (BAHIA, 2013). A metodologia recomendada pelo BIRD para o mapeamento de áreas de áreas de riscos hidrológicos consiste na realização de modelagens hidrológicas para a delimitação de áreas suscetíveis a inundações considerando 03 cenários: inundações decorrentes de chuvas com tempo de retorno de 10 anos; inundações decorrentes de chuvas com tempo de retorno de 25 anos; e inundações decorrentes de chuvas com tempo de retorno de 50 anos (BAHIA, 2013). A vulnerabilidade é analisada a partir da identificação de áreas onde a população possui renda média abaixo de um salário mínimo (vulnerabilidade social), e valor monetário dos imóveis potencialmente afetados pelas inundações (vulnerabilidade patrimonial).

Por fim, o grau de risco é determinado em função dos cenários de inundações. As áreas com maior risco são aquelas potencialmente expostas a inundações com tempo de retorno de 10 anos, enquanto o cenário de inundações com tempo de retorno de 25 anos é considerado de médio risco, e como baixo risco são consideradas as áreas potencialmente expostas apenas às inundações com tempo de retorno de 50 anos (BAHIA, 2013).

O documento “Capacitação em Mapeamento e Gerenciamento de Risco” (BRASIL, 2004) determina que para o mapeamento de áreas de riscos hidrológicos é necessário identificar espacialmente as áreas que se constituem como cenários de enchentes e inundações na área urbana, priorizando a identificação da vulnerabilidade em áreas ocupadas por assentamentos precários. De acordo com o método apresentado é possível determinar as áreas suscetíveis a ameaças a partir do mapeamento do registro de ocorrências de enchentes e inundações, obtidas por meio de pesquisa dirigida realizada com a população e órgãos municipais relacionados à defesa civil.

Em seguida as ocorrências são mapeadas e caracterizadas de acordo com intensidade (cota de inundação, velocidade de escoamento e capacidade de transporte de material sólido) e frequência (inundações recorrentes ou extraordinárias), visando assim estabelecer o grau de ameaça das áreas mapeadas. Por sua vez, o mapa de vulnerabilidade consiste no mapeamento de áreas ocupadas por assentamentos precários, identificando as áreas vulneráveis como alta ou baixa vulnerabilidade. Para a elaboração do mapa de riscos além de efetuar o cruzamento

dos mapas de ameaça e vulnerabilidade, são estipulados parâmetros (Tabela 6) para a determinação do grau de risco.

Tabela 6. Matriz para determinação do grau de riscos hidrológicos em áreas urbanas.

	Intensidade do evento	Frequência do evento	Vulnerabilidade da população
Risco muito alto	alta	recorrente	alta
Risco alto	alta	extraordinária	alta
	alta	recorrente	baixa
	média	recorrente	alta
Risco médio	alta	extraordinária	baixa
	média	extraordinária	alta
	média	recorrente	baixa
	baixa	recorrente	alta
Risco baixo	média	extraordinária	baixa
	baixa	extraordinária	alta
	baixa	recorrente	baixa
	baixa	extraordinária	baixa

Fonte: Adaptado de Brasil (2004).

Embora exista um consenso na literatura sobre o mapeamento de áreas de riscos a partir da identificação de áreas onde existe a sobreposição de ameaças e vulnerabilidades, percebem-se diferenciações entre os métodos utilizados para a sua construção (TUCCI, 2007; ECKHARDT, 2008; HORA, 2009; SAUERESSIG, 2012; BRASIL, 2004; BRASIL, 2007; GOERL, KOBAYAMA e PELLERIN, 2012; UFSC, 2014).

Em relação ao mapa de ameaças, os métodos utilizados para a delimitação de áreas inundáveis variam entre: a) modelagem hidráulico-hidrológica, que envolve a análise de inundações a partir da profundidade, vazão, velocidade de escoamento e frequência (tempo de retorno) (TUCCI, 2007); b) processamento de dados secundários em SIG, como redes de drenagem, altimetria e declividade extraídos de SRTM, e utilizados para a delimitação de áreas inundáveis e estimativas da velocidade de escoamento; e c) análise de dados sobre inundações já ocorridas, obtidas por meio de pesquisa de campo e registros de ocorrências, possibilitando a identificação de áreas inundáveis e intensidade dos eventos a partir (BRASIL, 2004; BRASIL, 2007; SAUERESSIG, 2012; GOERL, KOBAYAMA e PELLERIN, 2012).

No que diz respeito aos mapas de vulnerabilidade também são observados diferentes métodos na sua elaboração, especificamente na seleção das variáveis utilizadas para a sua construção. Entretanto, percebe-se a basicamente a utilização de variáveis que mensuram a vulnerabilidade social, a partir da quantificação do número de pessoas potencialmente expostas as inundações e sua respectiva renda e a vulnerabilidade das edificações, relacionada com a probabilidade de ocorrências de vítimas fatais e de feridos em decorrência de edificações destruídas. Além das variáveis mencionadas, também são analisadas informações sobre idade, grau de escolaridade e outros dados que visam mensurar o grau de exposição da população aos impactos de inundações conforme demonstrado na tabela 7.

Tabela 7. Variáveis utilizadas no mapeamento de áreas vulneráveis.

Variáveis de vulnerabilidade	Referências
População	[03], [07], [08], [10], [11]
Renda da população	[01], [07], [08], [10], [11]
Idade da população	[07], [10], [11]
Grau de escolaridade	[07], [10], [11]
População com deficiências motoras e cognitivas	[07], [11]
Número de edificações	[03], [07], [11]
Padrão construtivo das edificações	[01], [03], [04], [07], [08], [11]
Estado de conservação das edificações	[01], [03], [04], [07], [08], [11]
Nota: [01] Tucci (2007); [02] Eckhardt (2008); [03] Hora (2009); [04] Saueressig (2012); [05] Grzelak e Kwinta (2013); [06] Ozkan e Tarhan (2016); [07] Brasil (2004); [08] BRASIL (2007); [09] Poser e Dransh (2010); [10] Goerl, Kobiyama e Pellerin (2012); [11] UFSC (2014).	

Fonte: O autor.

Percebe-se que independente do método utilizado, os mapas de riscos hidrológicos devem possibilitar a identificação espacial de áreas onde existe a probabilidade de ocorrência de desastres por inundações e a mensuração dos riscos em cada uma dessas áreas. Para isso, independente das variáveis utilizadas, o grau de ameaça é identificado espacialmente em função da intensidade e frequência dos eventos hidrológicos, enquanto que a vulnerabilidade, assim como o risco propriamente dito, deve ser representada espacialmente em função da probabilidade de ocorrência de danos relacionados à vida humana.

Em relação à aplicação e utilidade desses mapas é necessário ter em mente que a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (BRASIL, 2012) abrange ações voltadas para: a) mitigação, abrangendo ações realizadas para a redução dos riscos e das consequências causadas por desastres, como planejamento de uso do solo, instalação de infraestrutura como contenções, canalização de corpos hídricos, sistemas de drenagem e outras; b) preparação, que consiste em ações de monitoramento, sistemas de alertas, planos emergenciais e treinamentos; c) resposta, ou medidas de socorro e assistência às vítimas e áreas atingidas; e d) recuperação, contemplando ações de reconstrução, reassentamento da população atingida e demais ações necessárias para o restabelecimento das áreas atingidas. Por isso a nova Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNDPC), através da Lei Federal Nº 12.608/2012, incluiu pela primeira vez no país a obrigatoriedade do mapeamento de áreas de riscos para os municípios incluídos no cadastro nacional de municípios suscetíveis ocorrência de inundações bruscas.

Mapear áreas de riscos é essencial em todas as fases da gestão de desastres, contribuindo para: mitigação, sendo necessário para o ordenamento do uso do solo e identificação de áreas que necessitam de infraestruturas para a redução dos riscos; na preparação, identificando os locais que demandam monitoramento, implantação de sistemas de alerta e planos emergenciais; na resposta aos desastres, uma vez que são conhecidas as áreas onde potencialmente ocorreram os maiores impactos; e também na recuperação de áreas atingidas por desastres, sendo utilizado no planejamento das ações de recuperação, principalmente no reassentamento da população afetada.

Entretanto, o mapeamento de áreas de riscos hidrológicos envolve a coleta e análise de variados tipos de informações espaciais, as quais nem sempre estão disponíveis. Posto isso, a próxima seção desta revisão bibliográfica aborda como o conceito de informações geográficas voluntárias tem contribuído para a obtenção de dados espaciais na gestão de riscos e desastres hidrológicos.

2.2 Informações Geográficas Voluntárias (VGI)

Kamel Boulos (2005) observou as iniciativas do *Google Maps* e *MSN Virtual Earth* na ampla divulgação *online* de informações geográficas de todo o planeta através de imagens de satélite e mapas rodoviários, que contribuíram para a utilização de mapas pela população na rede mundial de computadores. Além de disponibilizar informações geográficas, essas aplicações também forneceram aos usuários da *internet* a possibilidade de criar mapas *online* a partir do envolvimento de múltiplos usuários, incluindo pessoas que não possuem conhecimentos específicos em cartografia. Nesse sentido o autor utiliza a expressão *Wikificação* dos SIG para caracterizar a produção de mapas e de informações geográficas através da colaboração de usuários na *internet*, fazendo analogia à plataforma *Wikipedia*. Desde então observa-se a disseminação de recursos voltados para a utilização e produção de informações geográficas na *internet*, independentes do conhecimento dos usuários em cartografia, como a adição de atributos geográficos em fotos e demais conteúdo disponibilizado em redes sociais (*Facebook, Flickr, Twitter*) e *sites* em geral.

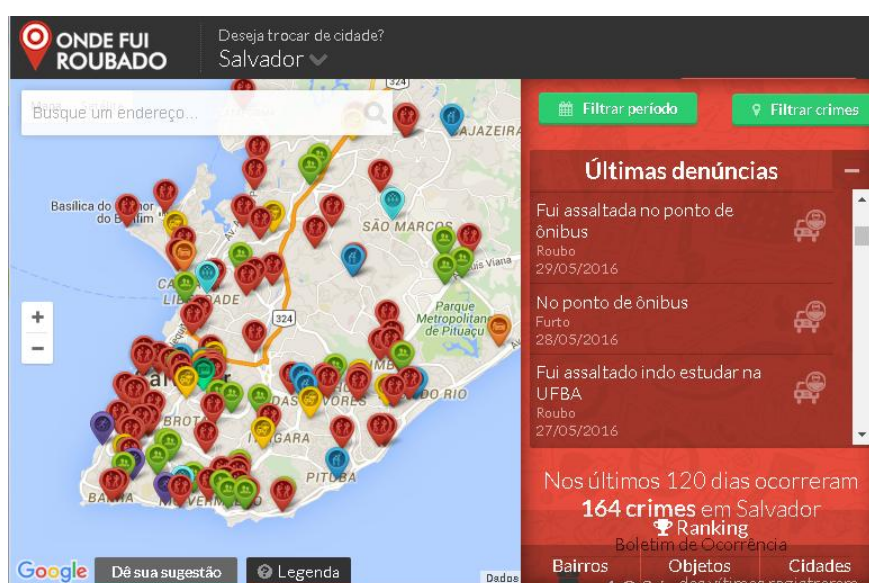
Da mesma forma, Goodchild (2007) menciona o papel desempenhado pelas plataformas *Google Earth* e *Google Maps* na popularização dos mapas e na disseminação de informações geográficas colaborativas por usuários comuns da *internet*. Para isso, o autor discute sobre as iniciativas dos *sites Wikimapia* e *Open Street Map* (OSM), que se propõem a mapear o planeta de forma colaborativa, com a contribuição voluntária dos usuários. Nesse aspecto o autor observa a disponibilidade de recursos tecnológicos que facilitam a produção de informações geográficas por esses usuários, como a vetorização *online* de informações geográficas a partir de imagens de satélite, obtenção de coordenadas geográficas de forma automatizada por *smartphones*, e adição de *geotags*, que consistem em informações sobre nome de ruas e outras referências espaciais que permitem localizar as informações compartilhadas.

Considerando não só a elaboração de mapas de forma colaborativa, Goodchild (2007) conceitua os dados cartográficos produzidos por usuários comuns da *internet* como Informações Geográficas Voluntárias, ou *Volunteered Geographic Information* (VGI). O autor coloca como principal contribuição da temática, a possibilidade da população em atuar como sensores humanos que captam diversas informações em seu cotidiano e as transmite através de computadores e dispositivos móveis (*tablets*

e *smartphones*), possibilitando a coleta de informações em massa e de forma rápida. A localização dessas informações, que irá atribuir o seu caráter geográfico (MAGUIRE, 2001), pode ser realizada através da adição de atributos de localização (nome da rua, bairro, cidade, estado, país), ou a partir de coordenadas geográficas fornecidas automaticamente pelos dispositivos móveis, e também por meio de mapas interativos (GOODCHILD, 2007; SUI, 2008; ELWOOD, 2008; COLEMAN, GEORGIADOU e LABONTE, 2009; ESMAIL, NAESERI e ESMAIL, 2013; SHELTON *et al.*, 2014; BRAVO e SLUTER, 2015).

São apresentadas como exemplos de aplicações baseadas em VGI: a) “Waze”, que consiste num sistema no qual é possível colaborar e obter informações sobre trânsito em tempo real, de modo que as informações compartilhadas possibilitam o planejamento de rotas considerando a velocidade das vias, congestionamento, ocorrência de acidentes e outras informações (SOUSA, 2012); b) “Open Street Map” e “Wikimapia”, que possuem o objetivo de construir uma base de dados cartográfica de todo o planeta a partir da colaboração de usuários voluntários que vetorizam feições geométricas utilizando imagens de satélite, e adicionam atributos de acordo com os seus conhecimentos sobre o lugar (GOODCHILD, 2007); e c) A aplicação “Onde fui Roubado” (figura 4), concebida para que os usuários realizem registros de assaltos, roubos e furtos, informando o local da ocorrência, atributos textuais sobre objetos subtraídos, modo de ação dos infratores e outras informações (BRITO *et al.*, 2014).

Figura 4. Plataforma colaborativa baseada em VGI: Onde Fui Roubado.



Fonte: <http://www.ondefuiroubado.com.br>.

O primeiro fator determinante para o surgimento dessas iniciativas colaborativas foi a disseminação dos mapas *online* a partir de 1995, período que Peterson (2005) nomeia como “Uma década de mapas e da *internet*”. Peterson (2005) constatou que a taxa de crescimento dos mapas *online* no período foi superior a própria *internet*. Embora o autor não estivesse discutindo sobre o caráter colaborativo dos mapas, pode-se dizer que neste período os mapas se popularizaram e passaram ser utilizados por cidadãos em geral, contribuindo para a familiarização desses usuários com a cartografia *online* (PETERSON, 2005).

O segundo fator foi mudança no formato da *internet*, que passou de uma estrutura de comunicação unidirecional, em que o usuário era apenas consumidor das informações disponibilizadas, para uma plataforma de comunicação na qual os usuários consomem e também produzem informações, interagindo com os *sites* e também com outros usuários da rede (O'REILLY, 2005; GOODCHILD, 2007; SIEBER, 2007; SUI, 2008; ELWOOD, 2008; SEGARAN, 2008). De acordo com Segaran (2008), este novo caráter interativo da *internet*, nomeado Web 2.0 (O'REILLY, 2005; SEGARAN, 2008), possibilitou a criação de sites voltados para a colaboração dos usuários como o *Wikipedia* e outras plataformas baseadas no conceito de inteligência coletiva, ou *crowdsourcing* na língua inglesa.

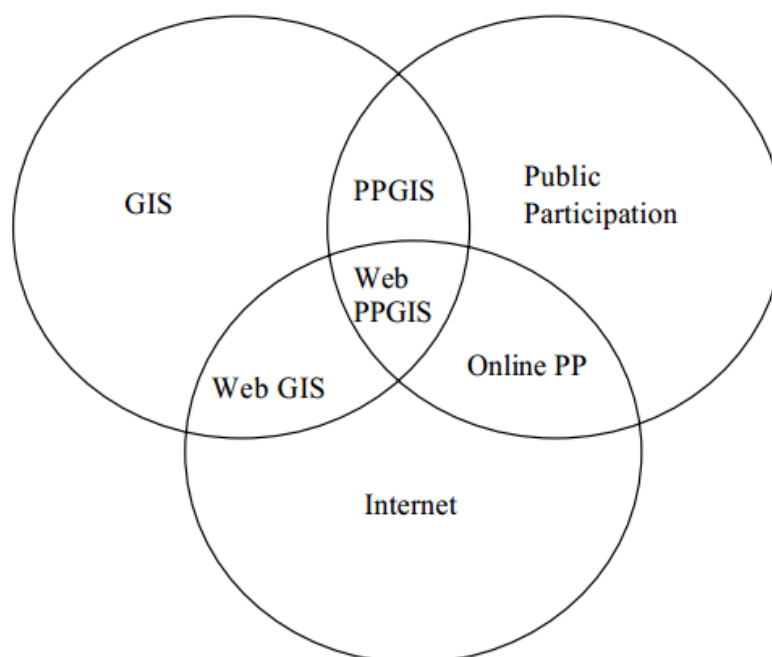
Em suma, as iniciativas envolvendo VGI surgiram a partir da combinação entre a popularização dos mapas na *online* e da própria *internet* (PETERSON, 2005), surgimento da Web 2.0, e pelo crescimento das plataformas *crowdsourcing* (GOODCHILD, 2007; SIEBER, 2007; SUI, 2008; ELWOOD, 2008). Da mesma forma, deve ser mencionado também o avanço das tecnologias de comunicação que atualmente possibilitam a conexão móvel com a *internet*, favorecendo o compartilhamento de informações em tempo real, e pela possibilidade de localizar informações de forma automatizada através de receptores GPS disponíveis em *smartphones* e *tablets* (GOODCHILD, 2007; SUI, 2008; ELWOOD, 2008; COLEMAN, GEORGIADOU e LABONTE, 2009; SHELTON *et al.* 2014; ESMAIL, NAESERI e ESMAIL, 2013; BRAVO e SLUTER, 2015).

Na gestão de riscos e desastres, Neal (NEAL *apud* LIU e PALEN, 2010) considera que os modelos tradicionais de análise possuem limitações no que diz respeito à generalização obtida nos resultados e no desconhecimento dos elementos relacionados às particularidades de cada região e da população afetada. Assim, as aplicações baseadas em VGI podem ser inseridas também no que Turner (2006)

define como Neogeografia, se referindo a um conjunto de técnicas e ferramentas utilizadas na disseminação de informações geográficas pela população, promovendo a participação popular em processos que envolvem informações geográficas, principalmente, no planejamento de ações governamentais (TURNER, 2006; SUI, 2008; ELWOOD, 2008; GOODCHILD, 2009).

Nesse contexto da neogeografia, Tang e Water (2005), Kemp (2008) Coleman, Georgiadou e Labonte (2009), Chingombe *et al.* (2014) e outros autores utilizam o termo “SIG de Participação Pública” (*Public Participation GIS – PPGIS*) para definir aplicações de SIG baseadas em metodologias participativas e que abrangem informações fornecidas pela população. Tang e Water (2005) ampliam essa definição para Web PPGIS quando essas aplicações são realizadas através de aplicações SIG Web. As interações entre os SIG, *internet* e participação pública podem ser melhor compreendidas na figura 5.

Figura 5. Interações entre SIG, participação pública e *internet*.



Fonte: Tang e Water (2005).

Por outro lado, Sieber (2007) enfatiza que muitas vezes, as informações utilizadas em aplicações baseadas em VGI são compartilhadas pelos usuários em suas redes sociais apenas para fins de interatividade, e que os produtores dessas informações não estão necessariamente conscientes ou interessados em suas contribuições nesse contexto. Por isso, em relação ao conceito de VGI, a autora

considera como a produção de informações geográficas por usuários da *internet*, independente da sua participação, consciência ou interesse sobre as contribuições nas aplicações (SIEBER, 2007).

Da mesma forma, Haklay (2013) aponta que as práticas realizadas até então não promoveram o caráter participativo e democrático das informações geográficas voluntárias no contexto da neogeografia, pois mesmo em aplicações nas quais o processo colaborativo é consciente, o envolvimento dos usuários tem sido resumido ao compartilhamento de informações, e não consideram a sua participação no processo de consolidação dos resultados ou nas decisões que serão tomadas a partir da sua colaboração (HAKLAY, 2013).

É possível observar os múltiplos conceitos, aplicações e reflexões que abrangem as informações geográficas voluntárias, e por isso, diversas terminologias têm surgido para caracterizar aplicações que envolvem VGI, como: mapas colaborativos (RIBEIRO e LIMA, 2011; SOUSA, 2012; HIRATA *et al.*, 2013; BRITO *et al.*, 2014), *crowdsourcing geoespatial* (HEIPKE, 2010; GOODCHILD e GLENNON, 2010; LIU, 2014), *crowd-mapping* (LIU, 2014), *geowiki* (SEE *et al.*, 2015), *WikiGIS* (KAMEL BOULOS, 2005; ROCHE *et al.*, 2012), geocolaboração (SCHAFER, GANOE e CARROL, 2007; SIGALA, 2012) e outras expressões semelhantes, que surgem na medida em que se aprofundam os levantamentos bibliográficos sobre o tema.

Entretanto, esta revisão não visa chegar a uma conclusão sobre um conceito ou nomenclatura universal para as aplicações que envolvem VGI. Porque, mesmo havendo múltiplos entendimentos desta temática relativamente nova, observa-se um consenso na sua compreensão, no que se refere a obtenção e utilização de informações geográficas produzidas por usuários através de aplicativos disponibilizados na web, e que não necessariamente possuem conhecimentos em cartografia. Além disso, o volume de trabalhos já apresentados sobre o tema e suas contribuições, principalmente na gestão de riscos e desastres, demonstra que o mais importante a ser realizado nesse momento é compreender o uso dessas aplicações, buscando soluções para as suas limitações e para a consolidação e reconhecimento das informações geográficas voluntárias como um ramo da cartografia moderna.

2.2.1 Contribuições de VGI na gestão de riscos

Em situações de riscos e desastres, as informações espaciais podem auxiliar na análise e mapeamento de áreas de riscos, planejamento de rotas de evacuação, identificação de áreas afetadas, locais de socorro, e em todas as demais ações praticadas na gestão de risco, sendo imprescindíveis para a redução de impactos causados pelos desastres (MASKREY, 1998; GOODCHILD, 2006). Assim, a informação geográfica, por ser o insumo básico da cartografia digital ou analógica, torna-se fundamental na análise de riscos e em trabalhos de qualquer natureza que envolva análises espaciais (MAGUIRE, 2001; GATRELL, 2001).

Entretanto, Goodchild (2007) e Goodchild e Glennon (2010) apontam que um dos principais problemas encontrados em situações de desastre é a indisponibilidade de dados espaciais da área atingida. Os autores enfatizam que para o planejamento de ações emergenciais, as informações geográficas necessárias devem estar disponíveis de imediato. Mesmo em áreas onde há informações geográficas disponíveis, é necessário que as informações estejam atualizadas em relação ao período de ocorrência do desastre, e em alguns casos essa atualização deve ser realizada em tempo real (GOODCHILD, 2007; GOODCHILD e GLENNON, 2010).

Sobre o aspecto da obtenção de informações geográficas, Goodchild (2007), Castelein *et al.* (2010), Parker (2012) e Esmail, Naeser e Esmail (2013) mencionam que desde o surgimento da cartografia até as duas últimas décadas, este processo foi realizado através de técnicas convencionais de mapeamento, executado por empresas especializadas e agências governamentais. Assim, regiões que possuem limitações de recursos tecnológicos ou financeiros, e em regiões não consideradas de interesse pelos produtores oficiais de dados cartográficos, as informações geográficas estiveram ausentes nas bases de dados dessas localidades, impossibilitando a realização de análises fundamentais para a gestão do território (GOODCHILD, 2007; CASTELEIN, *et al.*, 2010; PARKER, 2012; ESMAIL, NAESERI e ESMAIL, 2013).

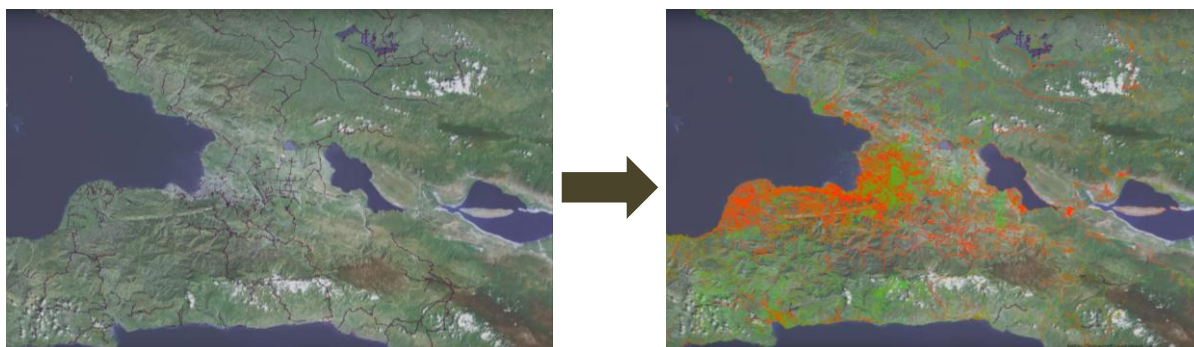
Nesse contexto, surgiu uma série de iniciativas voltadas para a obtenção de informações geográficas a partir da contribuição voluntária da população e que demonstraram resultados positivos em relação aos fatores expostos anteriormente, utilizando para isso a *internet* como base das suas ações e possibilitando a realização de mapeamentos em massa (GOODCHILD, 2007; SIEBER, 2007; SUI, 2008; ELWOOD, 2008).

Em 2010, quando um terremoto atingiu o Haiti, as equipes de socorro necessitaram de informações como caminhos, abrigos, áreas atingidas e outras informações geográficas que não constavam nas bases de dados oficiais, sendo possível observar as consequências negativas acarretadas pela inexistência ou insuficiência de dados cartográficos em situações de crise (ZOOK *et al.*, 2010; CROOKS e WISE, 2013; SHELTON *et al.*, 2014). No Haiti, as iniciativas baseadas em VGI agregaram centenas de voluntários, incluindo cidadãos comuns e organizações internacionais, e em poucas horas mapearam as informações necessárias a partir de imagens de satélites atualizadas da região e contribuíram para a redução dos impactos causados pelo terremoto em todo o país (ZOOK *et al.*, 2010; CROOKS e WISE, 2013; SHELTON *et al.*, 2014).

Zook *et al.* (2010) analisaram essas as aplicações de VGI surgidas no Haiti em 2010, e que foram cruciais para a prestação de socorro e outras ações de resposta. Através dessas aplicações, que envolveram voluntários de variados perfis e países, foi possível realizar o mapeamento rápido e com grande volume de informações sobre áreas afetadas, localização de vítimas, e rotas disponíveis para prestação de socorro. Assim os autores mencionam o potencial dessas aplicações e situações de crise, sobretudo em localidades onde as bases cartográficas oficiais são insuficientes e desatualizadas, e que ao mesmo tempo não possuem recursos financeiros e técnicos para a realização de mapeamentos de urgência.

Entre as aplicações originadas no Haiti, destaca-se o trabalho realizado pelo grupo de voluntários denominado *Humanitarian Open Street Map Team*. Utilizando a plataforma *Open Street Map* (OSM), o grupo realizou o treinamento de moradores do Haiti para identificar espacialmente informações necessárias para a prestação de socorro às vítimas, e de maneira organizada distribuiu tarefas específicas para os colaboradores, incluindo voluntários de outros lugares do planeta. Os resultados obtidos pela iniciativa, apresentados na figura 6, foram fundamentais para o atendimento da população afetada. Desde então, essas iniciativas originadas no Haiti têm sido mencionadas por diversos autores como o principal marco temporal das aplicações baseadas em VGI na gestão de riscos e desastres, e que impulsionaram também uma série trabalhos relacionados em outros lugares do planeta.

Figura 6. Base do Haiti na plataforma OSM antes e após o terremoto de 2010.



Fonte: Adaptado de Humanitarian OSM Team (2010)

Visando compreender o desenvolvimento de aplicações baseadas em VGI na gestão de desastres, Horita *et al.* (2013) realizaram uma revisão bibliográfica estruturada de trabalhos científicos relacionados ao tema, confirmando a importância e viabilidade dessas aplicações. Ao analisar 21 trabalhos publicados em periódicos internacionais, os autores identificaram o desenvolvimento das primeiras aplicações no ano de 2005, e um crescimento desse número no período entre 2010 e 2012, estando relacionado ao desenvolvimento e utilização dessas aplicações no Haiti em 2010. Os autores também identificaram a utilização predominante de redes sociais e de dispositivos móveis para o compartilhamento e obtenção das informações, e a necessidade de aplicações voltadas para a fase pré-desastre, tendo em vista que a maioria dos trabalhos analisados foi desenvolvida para a fase de resposta.

O trabalho realizado por Roche, Propeck-Zimmermann e Mericskay (2011) trata de uma análise geral de VGI na gestão de crises, embora os autores utilizem o termo *GeoWeb* para definir as aplicações. Os autores mencionam o mapa dinâmico e interativo da BBC desenvolvido para a divulgação de alertas nas enchentes que atingiram a Inglaterra em 2008; as aplicações desenvolvidas no Haiti em 2010, citando o *Open Street Map*, *Google's Crisis Response*, *Haiti Crisis Map*, *ESRI's Haiti Earthquake Map*, e o *Virtual Disaster Viewer*.

Em relação ao Furacão Katrina, que também ocasionou inundações em algumas regiões dos Estados Unidos, os autores citam o desenvolvimento da plataforma *Scipionus (New Orleans)* e *Ushahidi*, que em duas semanas recebeu mais de 3.000 colaborações. Também são mencionadas soluções baseadas em VGI para o Terremoto *Christchurch*, na Nova Zelândia, em que foram utilizados o *Ushahidi* e o

ESRI's Earthquake Incident Viewer, utilizando informações do *twitter*, *flickr*, e *youtube* (ROCHE, PROPECK-ZIMMERMANN e MERICKSKAY, 2011).

Shelton *et al.* (2014) abordam a utilização de dados coletados do *twitter* na gestão de desastres, tendo como área de estudo a costa leste dos Estados Unidos, atingida pelo Furacão Sandy em outubro de 2012. Utilizando recursos de mineração de dados, os autores coletaram postagens do *twitter* em todo o país e analisaram a correlação espacial entre a localização das postagens e as áreas atingidas, analisando também os padrões de concentração. Como conclusões, os autores consideram que as mídias sociais podem ser utilizadas na gestão de desastres, principalmente no mapeamento de áreas atingidas e que necessitam de apoio, e confirmam a hipótese de que as postagens tendem a ser realizadas com maior confiabilidade e concentração nas áreas diretamente atingidas pela catástrofe.

Por outro lado, os autores também comentam o fato de que o levantamento de mídia social não pode ser considerado como um mapeamento com total cobertura, pois algumas regiões são impossibilitadas de realizar postagens por diferentes causas. Entre os fatores que impossibilitam o compartilhamento de VGI pode ser considerado que a população de determinadas áreas não possui equipamentos ou acesso à *internet*, e também situações nas quais a infraestrutura de comunicação foi afetada pelo desastre, impossibilitando a realização de postagens (SHELTON *et al.*, 2014).

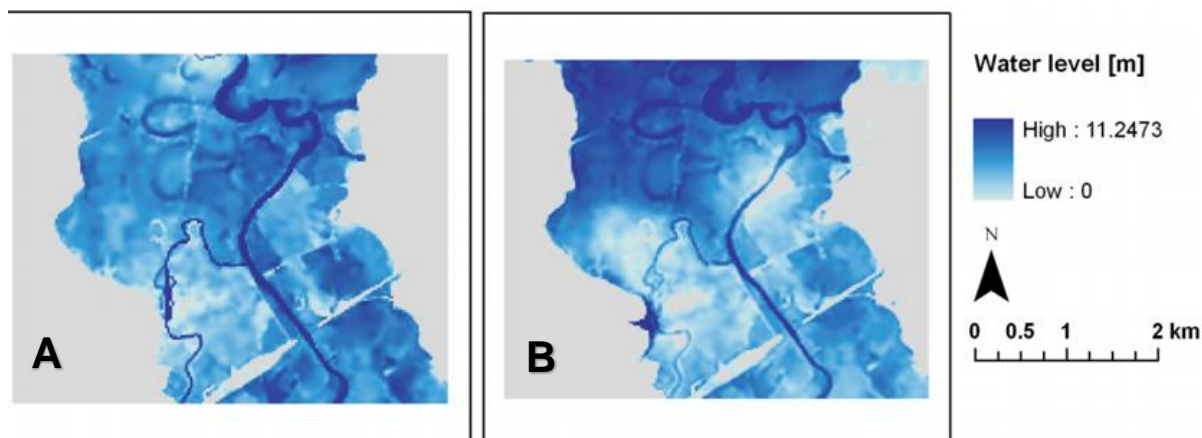
Albuquerque *et al.* (2015) buscam avaliar a combinação de informações oficiais e postagens do *twitter* obtidas na forma de VGI na gestão de desastres hidrológicos. Os autores utilizam como área de estudo a bacia do Rio Elba (Estado Saxônico, Alemanha), a qual foi atingida por uma enchente de grandes proporções entre os dias 30 de maio e 03 de junho de 2013. No estudo, os autores utilizam a *API Twitter*, a qual permite a coleta de postagens dos usuários a partir da sua localização, seja por coordenadas geográficas quando a postagem é feita a partir de dispositivos móveis com GPS, ou por atributos de localização (rua, bairro) adicionados a postagem. Assim, os autores coletaram postagens que continham *hashtags* relacionadas com o desastre nas imediações do Rio Elba, e buscaram comprovar a hipótese de que os moradores das áreas diretamente afetadas por desastres tendem a gerar informações mais precisas e de utilidade pública, enquanto que a população das áreas não atingidas fornecem informações secundárias sobre o fenômeno.

Para o teste da hipótese, os autores realizaram a comparação entre um mapa de áreas atingidas elaborado através de informações oficiais, com o mapa obtido através da análise das postagens do *Twitter*. A partir da análise dos dados, os autores concluíram que os moradores de áreas diretamente atingidas fornecem informações mais precisas sobre o fenômeno, e demonstraram a importância das informações geográficas voluntárias no gerenciamento de riscos e desastres.

Especificamente para o mapeamento de áreas de riscos hidrológicos, Fazeli *et al.* (2015) enfatizam o potencial das informações geográficas voluntárias em relação as técnicas convencionais de modelagem hidráulico-hidrológica, que utilizam ferramentas de alto custo na obtenção de dados e na contratação de profissionais especialistas para a sua execução. Segundo os autores, esses custos podem ser ampliados se considerarmos a necessidade de atualização constante dos mapas de riscos, enquanto que as informações geográficas voluntárias podem ser obtidas com frequência, e até mesmo em tempo real. Por outro lado, Fazeli *et al.* (2015) e outros autores mencionam que muitos estudos relacionados a VGI têm colocado as suas limitações, sobretudo no que diz respeito à credibilidade das informações compartilhadas e motivação dos colaboradores (KAMEL BOULOS *et al.*, 2011; FAZELI *et al.*, 2015; HUNG, KALANTARI e RAJABIFARD, 2016).

Poser e Drancsh (2010) buscam demonstrar a possibilidade de utilização de VGI na gestão de riscos e desastres, especificamente para a estimativa de áreas inundadas, níveis de cheia, e danos materiais. Para isso, as autoras utilizaram dados colaborativos fornecidos por 1.700 moradores das áreas atingidas pela enchente ocorrida em Eilenburg (Alemanha), os quais informaram o endereço e nível alcançado pela água em suas residências. Em seguida as informações foram georreferenciadas através de geocodificação (conversão de endereço em coordenadas geográficas). Utilizando métodos de geoestatística as autoras elaboraram o mapa de área inundável da cidade. Para avaliar a qualidade dos resultados obtidos, as autoras comparam o mapa de inundação elaborado através de informações colaborativas, com os mapas de inundação desenvolvidos por órgãos governamentais utilizando técnicas convencionais de modelagem hidrológica, obtendo resultados semelhantes e confirmando a sua possibilidade de aplicação, conforme pode ser visto na figura 7.

Figura 7. Mapa de inundação da cidade de Eilenburg por modelagem hidráulica-hidrológica (A) e mapa elaborado por Poser e Dransch (2010) utilizando VGI (B).



Fonte: Adaptado de Poser e Dransch (2010)

A comparação dos resultados obtidos por meio de dados colaborativos em relação ao modelo hidráulico-hidrológico resultou num desvio padrão de 0.76m, e sobre isso, as autoras mencionam que a coleta de dados apenas com moradores de áreas atingidas influenciou nos resultados. Ainda assim, os resultados são considerados satisfatórios para o mapeamento de áreas de riscos hidrológicos tendo em vista que, dependendo do modelo utilizado, uma modelagem hidráulico-hidrológica convencional pode gerar um desvio padrão superior ao valor obtido pelas autoras, entre 0.82 - 0.88m (POSER e DRANSCH, 2010).

Embora o método utilizado por Poser e Dransch (2010) ainda seja considerado como empírico, o trabalho demonstrou a possibilidade de elaborar mapas de inundação utilizando VGI, obtendo resultados compatíveis com os métodos tradicionais. Assim, as aplicações apresentadas demonstram a viabilidade e importância de trabalhos voltados para a temática, desde que sejam consideradas as limitações existentes, sobretudo na motivação e confiabilidade dos dados fornecidos pelos usuários.

2.2.2 Características de sistemas voltados para a coleta de VGI

Para a compreensão do estado da arte no que se refere ao desenvolvimento de aplicações baseadas em VGI na gestão de riscos hidrológicos, a tabela 8 apresenta a caracterização de 35 aplicações desenvolvidas em variadas localidades do planeta.

Tabela 8. Características de aplicações baseadas em VGI na gestão de riscos hidrológicos.

País	Ano	Escala		Forma de Colaboração		Recurso de Georrefenciamento			Fase de Gestão		Referências
		Local	Regional	Direta	Indireta	GPS	Geocodificação	SIGWEB	Pré - Desastre	Pós - Desastre	
Estados Unidos	2005	X	X	X				X		X	Crutcher e Zook (2009), Roche, Propeck-Zimmermann e Mericskay (2011)
Inglaterra	2007	X		X				X		X	Roche, Propeck-Zimmermann e Mericskay (2011)
Alemanha	2009	X			X		X			X	Poser e Dransch (2010)
Haiti	2010	X		X				X		X	Liu (2014), Roche, Propeck-Zimmermann e Mericskay (2011)
Haiti	2010	X		X		X	X	X		X	Liu (2014), Kamel Boulos <i>et al.</i> (2011), Roche, Propeck-Zimmermann e Mericskay (2011)
Haiti	2010	X		X		X	X	X		X	Liu (2014)
Haiti	2010	X		X				X		X	Roche, Propeck-Zimmermann e Mericskay (2011)
Haiti	2010	X	X	X	X	X	X	X		X	Roche, Propeck-Zimmermann e Mericskay (2011)

Continuação

País	Ano	Escala		Forma de Colaboração		Recurso de Georreferenciamento			Fase de Gestão		Referências
		Local	Regional	Direta	Indireta	GPS	Geocodificação	SIGWEB	Pré - Desastre	Pós - Desastre	
Haiti	2010	X		X		X	X	X		X	Roche, Propeck-Zimmermann e Mericskay (2011)
Reino Unido	2010	X			X	X	X	X		X	Longueville <i>et al.</i> (2010)
Belize	2010	X		X		X			X		Dyke <i>et al.</i> (2010)
Reino Unido	2011	X	X		X	X	X			X	Schade <i>et al.</i> (2011)
Tailândia	2011	X		X		X	X	X		X	Kamel Boulos <i>et al.</i> (2011)
Nova Zelândia	2011	X		X		X	X	X		X	Roche, Propeck-Zimmermann e Mericskay (2011)
Nova Zelândia	2011	X		X	X	X	X	X		X	Roche, Propeck-Zimmermann e Mericskay (2011)
Australia	2011	X		X		X	X	X		X	Koswatte, Mcdougall e Liu (2014), Hung, Kalantari, e Rajabifard (2016)
Reino Unido	2012	X	X	X				X	X	X	Evers <i>et al.</i> (2012)
Alemanha	2012	X	X	X				X	X	X	Evers <i>et al.</i> (2012)

Continuação

País	Ano	Escala		Forma de Colaboração		Recurso de Georrefenciamento			Fase de Gestão		Referências
		Local	Regional	Direta	Indireta	GPS	Geocodificação	SIGWEB	Pré - Desastre	Pós - Desastre	
Filipinas	2012	X			X	X	X			X	Liu (2014)
Estados Unidos	2012	X			X	X	X			X	Shelton <i>et al.</i> (2014)
Holanda	2012	X		X				X	X		Rijcken, Stijnen e Slootjes (2012)
Alemanha	2013	X	X		X	X	X			X	Albuquerque <i>et al.</i> (2015), Herfort <i>et al.</i> (2014)
Latvia	2013	X		X		X	X	X	X		Merkuryeva <i>et al.</i> (2015), Alabyan <i>et al.</i> (2016)
Índia	2013	X		X		X		X		X	Krishna Murthy <i>et al.</i> (2014)
Global	2014		X	X				X		X	Wan <i>et al.</i> (2014)
França	2014	X		X				X		X	Bimonte <i>et al.</i> (2014)
Brasil	2014	X		X		X	X	X	X		Degrossi <i>et al.</i> (2014), Horita <i>et al.</i> (2015), Moreira, Degrossi e Albuquerque (2015)
Itália	2014	X		X	X	X	X		X	X	Foresti, Farinosi e Vernier (2014)

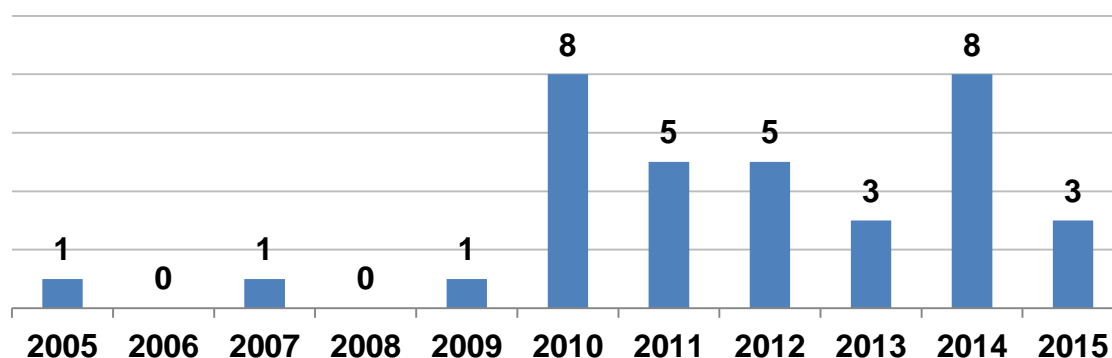
Fim

País	Ano	Escala		Forma de Colaboração		Recurso de Georrefenciamento			Fase de Gestão		Referências
		Local	Regional	Direta	Indireta	GPS	Geocodificação	SIGWEB	Pré - Desastre	Pós - Desastre	
Reino Unido	2014	X		X				X		X	Kunwar, Simini e Johansson (2014)
Alemanha	2014	X		X		X		X	X		Schelhorn <i>et al.</i> (2014)
Áustria	2014	X		X				X	X		Dorn, Vetter e Höfle (2014)
Brasil	2014	X		X				X	X		Souza <i>et al.</i> (2014)
Áustria	2015	X		X				X	X		Klonner <i>et al.</i> (2015)
Alemanha	2015	X			X	X	X			X	Peters e Albuquerque (2015)
Brasil	2015	X		X		X	X	X		X	Hirata <i>et al.</i> (2015)

Fonte: O autor.

Analisando a tabela 8 é possível observar que a aplicação de VGI na gestão de riscos hidrológicos é algo recente, com os primeiros trabalhos desenvolvidos de forma dispersa em 2005, 2007 e 2009, e o aumento das aplicações a partir do ano de 2010 (Figura 8). A primeira aplicação identificada na pesquisa, denominada *Scipionus*, foi desenvolvida em 2005 durante a ocorrência do Furacão Katrina nos Estados Unidos com o objetivo de compartilhar informações sobre a situação da área atingida, sendo desenvolvida antes mesmo da difusão do conceito de VGI (CRUTCHER e ZOOK, 2009; ROCHE, PROPECK-ZIMMERMANN e MERICKSKAY, 2011).

Figura 8. Gráfico de distribuição temporal do número de aplicações analisadas.



Fonte: O autor.

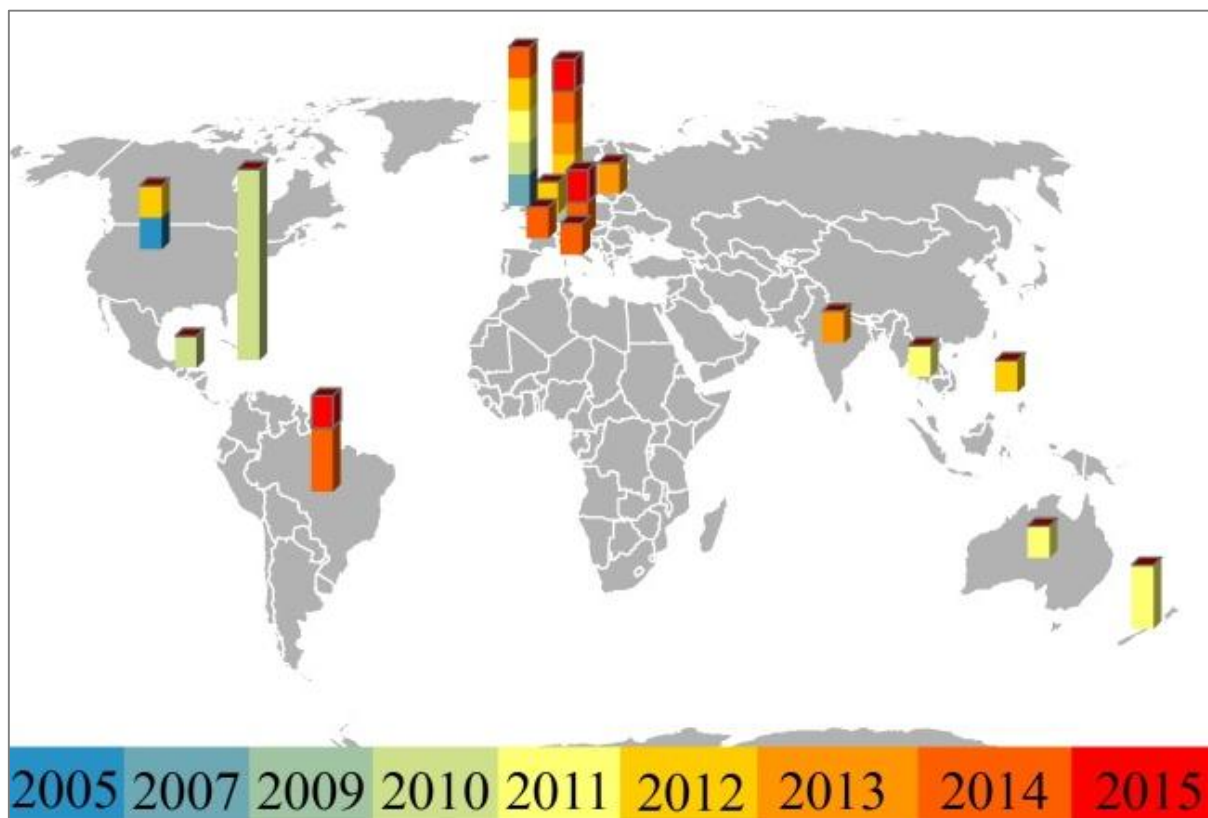
A iniciativa do projeto *Scipionus* foi realizada por um morador da região afetada pelo furacão quando o mesmo percebeu a necessidade de obter informações que estivessem localizadas em um mapa, facilitando o conhecimento dos usuários sobre a situação das áreas atingidas pelo furacão (CRUTCHER e ZOOK, 2009; ROCHE, PROPECK-ZIMMERMANN e MERICKSKAY, 2011). De maneira semelhante, a aplicação *Live Flood Warning Map*, desenvolvida pelo canal BBC, teve como objetivo o compartilhamento de informações localizadas sobre as áreas afetadas pelas inundações que ocorreram na Inglaterra em 2007 (ROCHE, PROPECK-ZIMMERMANN e MERICKSKAY, 2011). Percebe-se que, por terem sido desenvolvidas antes da difusão e consolidação dos conceitos relacionados à VGI, essas aplicações carecem de recursos voltados para a interatividade, credibilidade e direcionamento das colaborações.

A partir da caracterização dos trabalhos apresentados na tabela 8 percebe-se a relação entre o desenvolvimento de aplicações em momentos de desastres de grande magnitude, como as iniciativas encontradas nos Estados Unidos (Furacão Katrina em 2005), Haiti (terremoto ocorrido em 2010), Nova Zelândia (terremoto de 2011), Tailândia (inundações ocorridas em 2011) e Costa Leste dos Estados Unidos (Furacão Sandy em 2012). Embora em alguns casos, o fenômeno natural causador dos desastres tenham sido terremotos e furacões, estes também causaram inundações e as aplicações analisadas foram desenvolvidas também para os impactos causados pelos eventos hidrológicos.

Nesse sentido, Liu (2014) e Roche, Propeck-Zimmermann e MericksKay (2011) mencionam as iniciativas originadas em 2010 no Haiti como o principal impulso para

o desenvolvimento de aplicações de VGI na gestão de riscos. A distribuição temporal (ano) e espacial (países) das aplicações desenvolvidas apresentada na figura 9, além de reafirmar o Haiti como marco do VGI na gestão de riscos hidrológicos, permite afirmar que o ano de 2014 representou de fato a consolidação dessas aplicações, quando houve o maior número de trabalhos desenvolvidos em diferentes países.

Figura 9. Distribuição temporal e espacial das aplicações analisadas



Fonte: O autor.

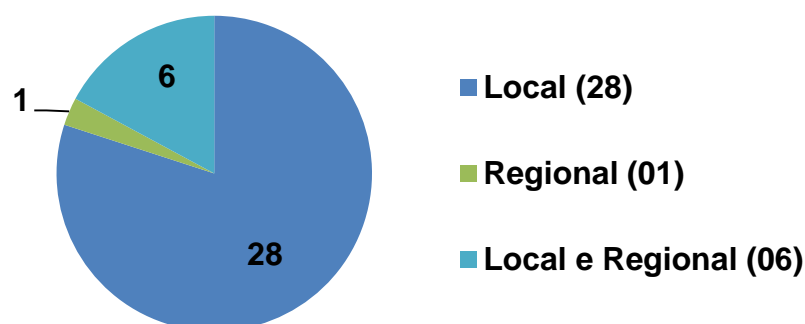
Enquanto que em 2010, entre as 08 aplicações desenvolvidas no ano, 06 concentraram-se no Haiti, em 2014 foram desenvolvidas 08 aplicações em 06 países. Sobre o número reduzido de aplicações no ano de 2015 em relação ao ano de 2014 deve-se considerar o período de desenvolvimento desta pesquisa e a possibilidade de projetos ainda não publicados.

No Brasil, foram encontradas as iniciativas recentes do Observatório Cidadão de Enchentes, desenvolvido para o monitoramento de enchentes e emissão de alertas na cidade de São Carlos/SP (DEGROSSI *et al.*, 2014; HORITA *et al.*, 2015; MOREIRA, DEGROSSI e ALBUQUERQUE, 2015); o projeto ClickOnMap, aplicado na gestão de riscos hidrológicos em áreas inundáveis do pantanal brasileiro (SOUZA *et*

al., 2014); e a plataforma de mapeamento colaborativo de pontos de alagamento na cidade de São Paulo/SP (HIRATA *et al.*, 2015).

Em relação à escala das informações colaboradas, existe uma concentração de aplicações que utilizam a escala local, capazes de identificar espacialmente informações localizadas em uma edificação, rua ou bairro (figura 10). Porém, vale salientar que as informações obtidas nessa escala também podem ser utilizadas em escalas regionais, desde que sejam realizados tratamentos nos dados, como a generalização cartográfica.

Figura 10. Gráfico de distribuição das aplicações em relação ao atributo Escala.



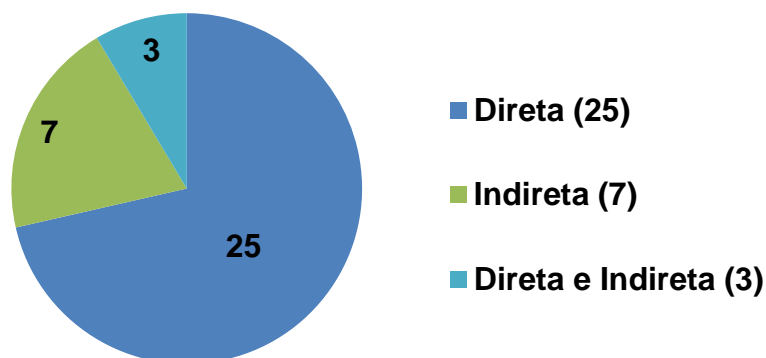
Fonte: O autor.

Assim é possível considerar o destaque para o desenvolvimento de aplicações com maior precisão espacial das informações, visto que o processo de tomada de decisão em gestão de desastres, sobretudo após a incidência da ameaça, exige o conhecimento espacial do território em maior escala. Entre os trabalhos levantados nesta revisão de literatura, a única aplicação que utilizou apenas informações na escala regional foi desenvolvido por Wan *et al.* (2014), tendo como objetivo a construção de um banco de dados georreferenciado de desastres hidrológicos ocorridos em todo o planeta a partir da colaboração dos usuários, e também de informações oficiais.

Em relação à forma de colaboração, percebe-se a predominância de aplicações em que os usuários estão conscientes da sua colaboração, realizando ações diretamente na plataforma (figura 11). Nesse aspecto as aplicações de VGI na gestão de riscos hidrológicos têm caminhado em direção aos princípios da neogeografia (TURNER, 2006), promovendo e buscando o engajamento dos seus colaboradores. Mas por outro lado, a participação dos usuários ainda tem sido resumida na

colaboração de informações, sem a participação efetiva da população na gestão dos riscos e desastres.

Figura 11. Gráfico de distribuição das aplicações em relação ao atributo forma de colaboração.

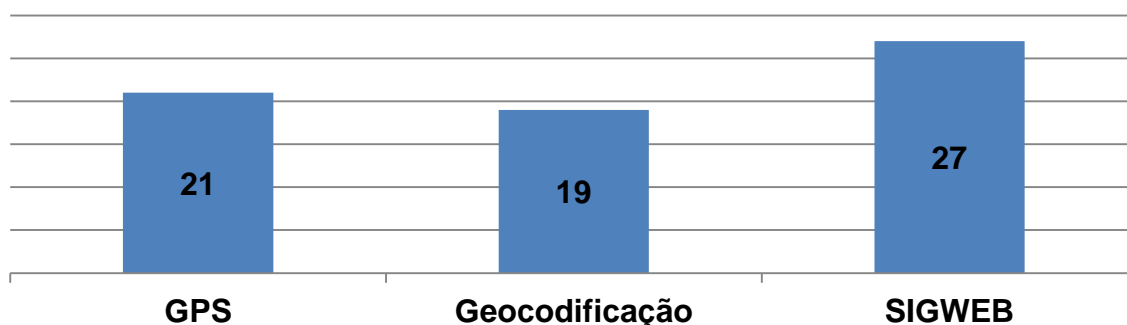


Fonte: O autor.

Com exceção de Poser e Dransch (2010), que realizaram entrevistas telefônicas para a obtenção de dados, as aplicações baseadas em colaborações indiretas utilizaram informações compartilhadas em redes sociais como *Twitter* e *Flickr*. Nesse sentido, as redes sociais têm contribuído para a realização de aplicações baseadas em VGI devido à abundância de informações compartilhadas e disponibilidade de recursos de mineração de dados que possibilitam a coleta de informações específicas por meio de atributos como *hashtags* (LONGUEVILLE *et al.*, 2010; SCHADE *et al.*, 2011; HERFORT *et al.*, 2014; LIU, 2014; SHELTON *et al.*, 2014; ALBUQUERQUE *et al.*, 2015; PETERS e ALBUQUERQUE, 2015).

As aplicações apresentadas na tabela 8 demonstram uma tendência ao desenvolvimento de aplicações híbridas em relação aos recursos de georreferenciamento das informações, e utilização de tecnologias digitais como telefones móveis e computadores (figura 12). O recurso de geocodificação amplia o número de usuários capazes de compartilhar informações considerando que exige um menor domínio de funções como manuseio de receptores GPS ou mapas interativos digitais (SIGWEB). Sobre esta característica, as aplicações baseadas em VGI devem considerar o potencial da geocodificação e da toponímia (TUAN, 2012) para ampliar o espectro de colaboradores que não possuem conhecimentos específicos no manejo de dispositivos eletrônicos, mas que são capazes de localizar informações a partir da toponímia.

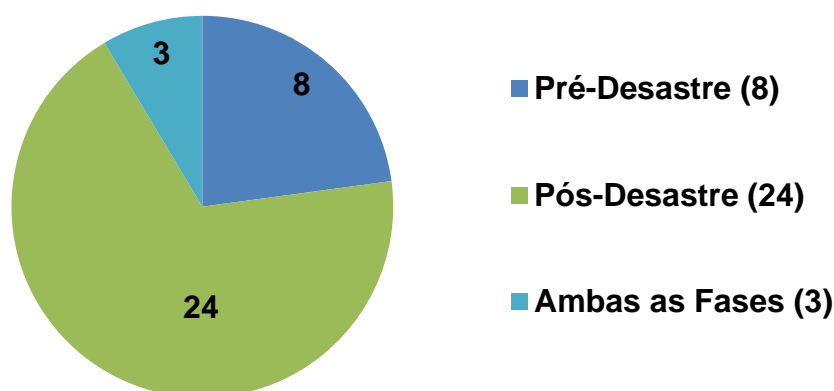
Figura 12. Gráfico de distribuição das aplicações em relação ao atributo recurso de georreferenciamento.



Fonte: O autor.

É possível observar também a concentração de trabalhos voltados para a fase pós-desastre, sobretudo para o compartilhamento de pontos de alerta e de áreas atingidas. Mesmo nas aplicações voltadas para a emissão de alertas, que pode ser considerado como pré-desastre, nessas aplicações as colaborações são realizadas após a incidência da ameaça. Estes fatores explicitam a predominância de aplicações baseadas em VGI para a fase pós-desastre e demonstram a necessidade de trabalhos voltados para prevenção e mitigação (figura 13).

Figura 13. Gráfico de distribuição das aplicações em relação ao atributo fase de gestão.



Fonte: O autor.

Porém, considerando que a gestão de riscos é composta por etapas organizadas na forma de ciclo, as informações obtidas nas fases pós-desastre podem ser utilizadas posteriormente para a mitigação de riscos. Nesse sentido, pontos de alerta e locais de socorro compartilhados na forma de VGI em situações de crise

podem ser utilizados após o desastre para a elaboração de mapas de áreas de riscos e planejamento de ações mitigadoras para eventos futuros (FAZELI *et al.*, 2015).

Em relação à motivação dos usuários é observado que em situações de crise, ela é impulsionada pelo sentimento de solidariedade em função dos danos ocorridos e da necessidade urgente de ações de socorro e recuperação. Por outro lado, aplicações baseadas em VGI voltadas para a fase pré-desastre precisam considerar com maior atenção o desenvolvimento de mecanismos para a motivação dos usuários.

Além da motivação, Kamel Boulos *et al.* (2011), Schade *et al.* (2011) e Bimonte *et al.* (2014) mencionam o fator da credibilidade das informações compartilhadas como o principal desafio no desenvolvimento de aplicações baseadas em VGI na gestão de riscos. Sobre isso, as aplicações inseridas na fase pós-desastre demandam urgência na coleta de informações, reduzindo a capacidade de validação das informações compartilhadas, mas por outro lado possuem maior motivação no compartilhamento de dados pelos usuários. Já as aplicações voltadas para mitigação de riscos fornecem maior tempo para validação das informações, mas precisam de uma maior atenção às estratégias de motivação dos colaboradores.

Assim é possível perceber a relevância e aplicabilidade de pesquisas voltadas para a utilização de VGI no mapeamento de riscos hidrológicos, e também para outros fins. As aplicações baseadas em VGI podem contribuir para a obtenção de informações geográficas com baixo custo, atualização contínua, com ampla cobertura geográfica e em grande volume de dados. Além disso, essas aplicações possibilitam o mapeamento de informações específicas sobre um determinado lugar e da sua população, indo além do mapeamento sistemático convencional (GOODCHILD, 2007; SUI, 2008; ELWOOD, 2008; LIU e PALEN, 2010; ESMAIL, NAESERI e ESMAIL, 2013). Entretanto, para isso, se torna necessário considerar os aspectos técnicos e científicos necessários para o seu desenvolvimento e a disponibilização de recursos de colaboração que superem as suas limitações, sendo esse o escopo desta pesquisa.

3 METODOLOGIA

O método utilizado para a concepção do sistema foi baseado nos princípios de desenvolvimento de *software* propostos por Sommerville (2003), no qual a concepção de sistemas envolve basicamente a análise de requisitos, ou em outras palavras, a definição das funcionalidades e demais características que irão compor a aplicação (SOMMERVILLE, 2003). Segundo o autor, a partir de revisão de literatura, análise de trabalhos correlatos e consulta aos potenciais usuários é possível definir todas as funções e características de um sistema, garantindo que a aplicação desenvolvida atenda aos objetivos propostos (SOMMERVILLE, 2003).

Para isso, inicialmente, foi necessário compreender os principais elementos relacionados aos objetivos do sistema (mapeamento colaborativo de áreas de riscos hidrológicos) e os aspectos que devem ser considerados para a sua concepção. Esta etapa, denominada por Sommerville (2003) como compreensão do domínio, foi realizada na seção 02. Revisão Bibliográfica. Na subseção 2.1 Riscos e desastres hidrológicos foi possível compreender os elementos que envolvem o mapeamento de áreas de riscos hidrológicos; enquanto que a subseção 2.2 Informações Geográficas Voluntárias (VGI) possibilitou a análise de trabalhos correlatos e a compreensão dos aspectos que devem ser considerados na concepção de sistemas voltados para a coleta de VGI, como potencialidades a serem exploradas e limitações que devem ser contornadas.

A partir da compreensão do domínio foi realizada a concepção do sistema, que consiste no levantamento de requisitos (funcionalidades) e estruturação do modelo de sistema (modelo conceitual de funcionamento), ambos ainda em caráter conceitual e baseados em elementos identificados na revisão de literatura. Para a concepção do sistema também foram consultados especialistas nas áreas de SIG e mapeamento de áreas de riscos, considerando o parecer das bancas examinadoras do projeto de pesquisa e relatório de qualificação.

Posteriormente foi desenvolvido um protótipo para ser aplicado em um estudo de caso, com o intuito de realizar testes com potenciais usuários e avaliar a concepção do aplicativo. Os testes foram realizados com 37 participantes, e foram analisados a motivação dos usuários em relação a participação no estudo de caso e qualidade das informações colaboradas. Com base nos resultados obtidos no estudo foi realizada a

validação de alguns requisitos definidos na concepção e foi possível obter também novos requisitos, não previstos durante a etapa de concepção inicial.

3.1 Concepção do sistema

3.1.1 Levantamento de requisitos

Como mencionado anteriormente, a concepção de um sistema consiste basicamente na definição das suas funcionalidades e demais elementos necessários para o seu funcionamento e utilização, consistindo na lista de requisitos (SOMMERVILLE, 2003). Para a definição dos requisitos do sistema proposto foram levantados, a partir da compreensão do domínio, questionamentos norteadores acerca do funcionamento e utilização do sistema em relação ao que se considerou necessário para atingir seus objetivos. Assim, essas questões apresentadas e justificadas abaixo possibilitaram o levantamento de requisitos do sistema.

a) Quem são os usuários do sistema?

Segundo Schimiguel, Baranauskas e Medeiros (2005), o perfil do usuário é o principal fator na definição de funcionalidades e características de um SIG. Mesmo em aplicações projetadas para serem utilizadas por diversos perfis de usuários, é necessário selecionar pelo menos um grupo de usuários principais para o qual o sistema seja mais adequado, obtendo assim melhores índices de usabilidade. Em relação ao aspecto da usabilidade, a definição do perfil de usuários principais é fundamental também para o desenvolvimento da interface e definição dos tipos de dispositivos para os quais o sistema será concebido (exemplo: computador, *smartphone*, *tablet*).

No que diz respeito aos sistemas colaborativos, Sousa (2012) menciona que o principal aspecto motivador é que os participantes devem ter um interesse em comum. Nesse sentido, a definição dos usuários principais pode considerar grupos que já estão familiarizados com o tema em questão, ou usuários que possuam interesse e disponibilidade para conhecer as iniciativas e participar. Além do interesse em comum, é importante que os usuários possam participar de tarefas pré-estabelecidas e realizar colaborações dentro de um contexto pré-definido. Segundo Sousa (2012, p. 155), “não há efetividade em deixar a comunidade à solta, sem planejamento de ações. É necessário traçar um certo roteiro para as atividades”.

E assim, para a definição dos usuários do sistema buscou-se identificar um grupo que tenha afinidade com dispositivos eletrônicos, potencial interesse sobre o tema (mapeamento de áreas de riscos hidrológicos) e disponibilidade para realizar tarefas pré-determinadas.

b) Quais informações serão fornecidas pelos usuários e armazenadas no sistema na forma de VGI?

Neste item foram selecionadas entre as informações geográficas utilizadas no mapeamento de áreas de riscos hidrológicos, apresentadas na revisão bibliográfica, aquelas que são possíveis de serem informadas pela população, através do seu conhecimento sobre o lugar. Em relação a esse critério, foram excluídas as informações que dependem de equipamentos técnicos ou conhecimentos específicos que não estão relacionados com o cotidiano dos colaboradores. Em seguida, foram priorizadas informações que não estão presentes em bases de dados com cobertura nacional ou que possibilitam a elaboração de mapas de riscos hidrológicos com informações mais detalhadas em relação aos métodos convencionais.

E assim foi possível selecionar quais informações são fornecidas pelo usuário e armazenadas no sistema na forma de VGI, sendo apresentada também a aplicabilidade das mesmas no mapeamento de áreas de riscos hidrológicos.

c) Quais as funcionalidades são necessárias para o funcionamento do sistema?

Sobre a coleta de informações geográficas voluntárias, Goodchild (2007), Poser e Dransch (2010), Haklay (2010), Castelein *et al.* (2010), Fazeli *et al.* (2015), e outros autores mencionam que a confiabilidade das informações colaboradas é o principal desafio dessas iniciativas, tendo em vista que os colaboradores em sua maioria não são especialistas. Sendo assim, para que seja possível utilizar VGI levando em consideração a confiabilidade das informações é necessário implantar mecanismos capazes de reduzir os erros durante as colaborações, e também ferramentas que possibilitem a detecção de erros pós-coleta (GOODCHILD, 2007; POSER e DRANSCH, 2010; HAKLAY, 2010; CASTELEIN *et al.*, 2010; FAZELI *et al.*, 2015).

Nesse sentido foram definidas, a partir de trabalhos correlatos, funcionalidades voltadas para reduzir a possibilidade de erros durante a utilização do sistema pelos usuários e mecanismos que contribuam para a avaliação da qualidade dos dados na fase pós-coleta. Além de funções implantadas para a confiabilidade dos dados,

buscou-se identificar recursos que potencializem a motivação dos usuários, armazenamento das informações e funções complementares necessárias para o funcionamento do sistema.

Para a definição das funcionalidades do sistema foi utilizada a técnica de prototipagem, que consiste num método de desenvolvimento de *softwares* no qual o sistema é concebido e desenvolvido de modo simultâneo (SOMMERVILLE, 2003). A partir dos requisitos concebidos de forma mais consistente, o sistema é construído de modo que seja possível visualizar a sua interface e funcionamento. Dessa forma, além de possibilitar a realização de testes, a técnica de prototipagem ajuda na especificação de requisitos concebidos até então de forma conceitual, e identificação de funcionalidades não previstas.

Como resultados desta etapa têm-se a lista de requisitos especificados na concepção do sistema devidamente caracterizados, sendo discutidos os aspectos levados em consideração para a sua definição.

3.1.2 Estruturação do modelo de sistema

Visando complementar a apresentação do sistema proposto, foi realizada a estruturação do modelo de sistema, que consiste na sua representação conceitual, sobretudo em relação à modelagem do seu funcionamento. Para isso foram elaborados diagramas de fluxo de dados do sistema proposto. Os Diagramas de Fluxo de Dados apresentam, na forma de fluxograma, o caminho percorrido pelos dados coletados pelos usuários do sistema desde a sua coleta ao seu armazenamento, e as interações que ocorrem entre sistema, usuário e dados coletados durante a utilização do aplicativo.

E assim, conclui-se a concepção do sistema de modo que os resultados apresentados possibilitam a compreensão do sistema proposto e dos aspectos considerados para a sua formulação. Os resultados desta etapa possibilitam que desenvolvedores e demais profissionais relacionados a criação de *software* possam realizar a construção do sistema e contribuem também para a elaboração de sistemas correlatos.

3.2 Estudo de caso: testes com usuários

O estudo de caso foi realizado no município baiano de Riachão do Jacuípe. Além da disponibilidade e interesse dos convidados em participar da pesquisa, a área urbana da cidade foi atingida em janeiro de 2016 por uma inundação brusca que colocou o município em situação de calamidade pública. Dessa forma, as informações sobre o evento podem ser consideradas recentes e a informação colaborativa obtida dos participantes estaria, a princípio, baseada na experiência vivida pelos colaboradores de forma direta ou indireta.

O estudo de caso teve como objetivo avaliar a concepção do sistema, sendo verificado se a sua utilização por potenciais usuários possibilitou que seus objetivos fossem alcançados, e de que modo os requisitos especificados interferiram nos resultados obtidos. Neste aspecto, consideraram-se como objetivos que o conjunto de dados fornecidos pelos usuários possibilitasse a análise de riscos hidrológicos da área de estudo, sendo observada a cobertura espacial e consistência dos dados. Da mesma forma, como foi mencionado na revisão bibliográfica, os fatores da motivação dos usuários e confiabilidade dos dados são os principais desafios encontrados no desenvolvimento de sistemas voltados para a coleta de VGI, e por isso, também, o estudo de caso teve como foco principal avaliar os requisitos relacionados com esses dois elementos.

É necessário salientar que não foi possível implantar no protótipo todas as funcionalidades especificadas na concepção, tendo em vista que no processo de desenvolvimento de *softwares* são encontradas dificuldades que inviabilizam, por diversas causas, a execução de determinados requisitos (SOMMERVILLE, 2003). A limitação encontrada no desenvolvimento do protótipo foi a necessidade de uma equipe de suporte que atue especificamente no desenvolvimento de *softwares*, não estando relacionada com falhas na concepção do sistema proposto. Assim buscou-se identificar, quando possível, como os requisitos disponíveis no protótipo interferiram nos resultados obtidos no estudo de caso, da mesma forma foram observadas as interferências causadas pela não implantação de determinadas funcionalidades.

Para a realização dos testes, um grupo de potenciais usuários foi convidado para participar das atividades, e após definidos os participantes foi realizada a apresentação do sistema e treinamento dos usuários. No treinamento os participantes foram instruídos sobre a utilização do sistema e orientados para a realização de uma

campanha de testes. Na campanha, foi solicitado que cada usuário utilizasse o protótipo e inserisse informações colaborativas 10 (dez) vezes, no mínimo, num período de 10 dias.

O estabelecimento de um número mínimo de colaborações teve como objetivo avaliar o aspecto da motivação dos usuários, sendo possível observar após o término da campanha o número de colaborações obtidas em relação ao previsto ($10 \cdot N$, onde N = número de participantes). O número de colaborações obtidas na campanha possibilitou também avaliar a motivação dos participantes individualmente, sendo identificados os usuários que atingiram, ou extrapolaram, a meta estabelecida e aqueles cujo número de colaborações foi abaixo do mínimo solicitado.

A avaliação dos demais requisitos foi realizada nos seguintes momentos: a) durante os treinamentos, quando foram observadas as principais dúvidas e questionamentos dos usuários; b) através de questionários aplicados após a conclusão da campanha de testes visando obter o *feedback* dos usuários sobre a utilização do sistema; e c) a partir da análise da qualidade dos dados coletados em relação a cobertura espacial da área de estudo e consistência.

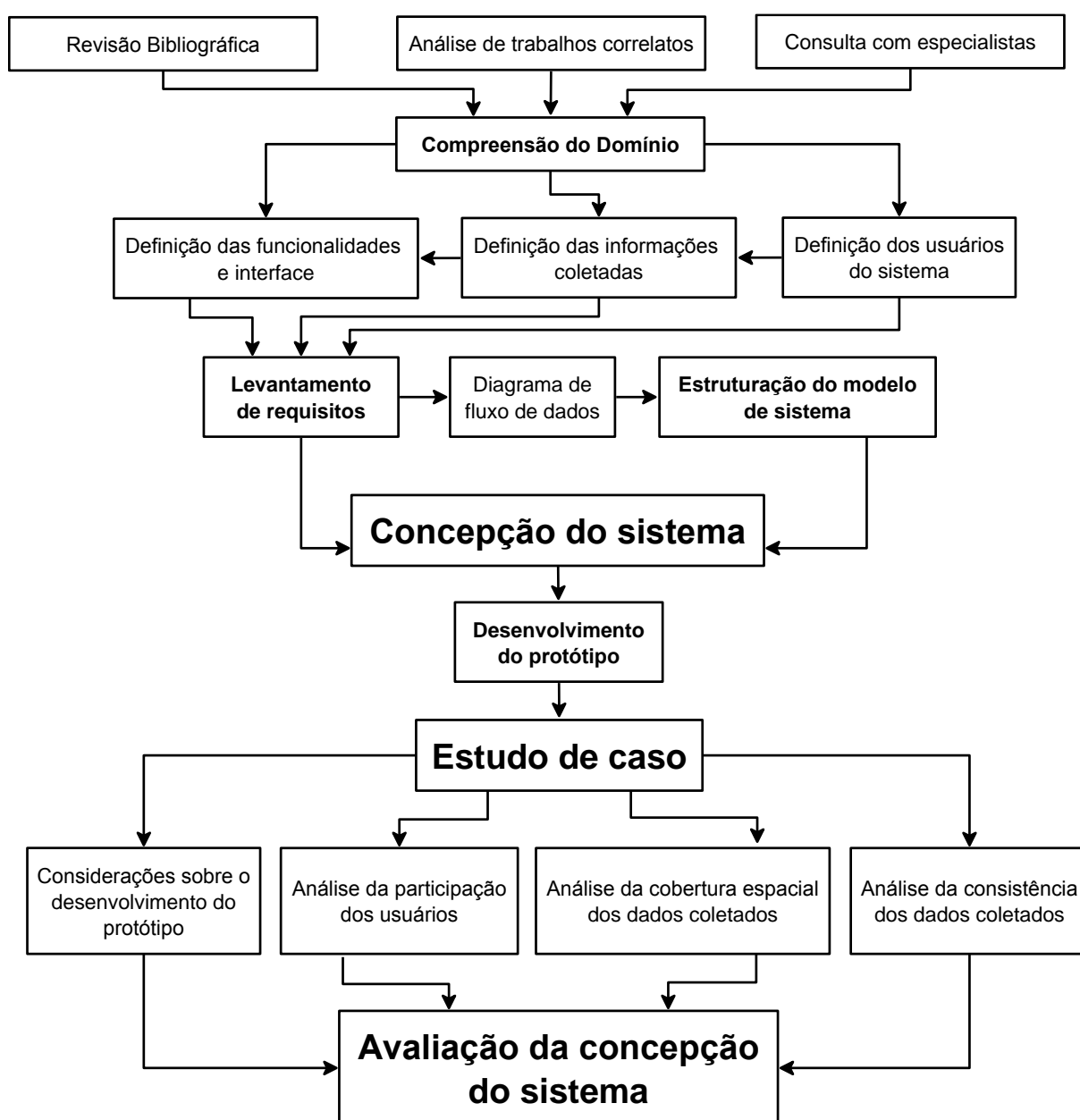
Sobre a aplicação de questionários, é necessário mencionar que inicialmente foi prevista a realização de grupos focais com os participantes, de forma que fosse possível realizar uma análise com informações mais detalhadas sobre a experiência dos usuários na utilização do sistema. Entretanto, por problemas relacionados à disponibilidade de tempo dos participantes, não foi possível realizar grupos focais, e por isso optou-se pela aplicação de questionários. Também vale salientar que não foi necessário submeter esta pesquisa ao comitê de ética da UFBA, pois o estudo de caso, incluindo as entrevistas, trata apenas sobre a utilização do sistema, não expondo os participantes a eventuais riscos de saúde e não sendo coletadas informações pessoais dos mesmos. Dessa forma a pesquisa não se enquadra nas resoluções nº 196 de outubro de 1996, nº466 de dezembro de 2012 e nº510 de abril de 2016, as quais tratam sobre os parâmetros e procedimentos necessários para a análise prévia de pesquisas pelo comitê de ética da instituição.

Para a avaliação da cobertura espacial dos dados coletados foi observado se os usuários realizaram colaborações sobre as principais áreas de riscos hidrológicos existentes na área de estudo, independente da sua consistência, e se houve áreas não mapeadas pelos usuários. Por sua vez, a análise da consistência dos dados foi realizada a partir das funcionalidades implementadas no sistema, e por isso, embora

tratem de aspectos metodológicos, os recursos e parâmetros utilizados são apresentados nos resultados.

Por fim, a partir dos resultados do estudo de caso foi possível avaliar a concepção do sistema, analisando o desempenho dos requisitos especificados. Também foram identificadas funcionalidades que não estavam previstas no trabalho. Uma vez que, alguns requisitos da concepção não foram implementados no protótipo, foi avaliado se a ausência dessas funções influenciou nos resultados obtidos.

Figura 14. Fluxograma da metodologia utilizada na pesquisa.



Fonte: O autor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Sistema proposto

4.1.1 *Usuários do sistema*

Na definição dos usuários principais do sistema percebeu-se uma carência de estudos que abordam a identificação de grupos mais adequados para a utilização de aplicativos baseados em VGI. Entretanto, no estudo realizado por Chingombe *et al.* (2014) no distrito de Muzarabani (Zimbabwe), os autores constataram que os mapas colaborativos de enchentes produzidos por estudantes de ensino médio foram mais consistentes que os mapas elaborados por técnicos e por moradores adultos do distrito (CHINGOMBE *et al.*, 2014). Assim, estudantes de ensino médio foram definidos como usuários principais, pois, além de uma maior proximidade e afinidade com o uso de dispositivos eletrônicos, favorecendo o aspecto da usabilidade, os estudantes são agentes potenciais de multiplicação na percepção de risco e na participação cidadã na gestão do território, objetivo esse que ferramentas como a aqui proposta também visa atender.

A utilização do sistema por estudantes de ensino médio possibilita a sua aplicação no contexto escolar, contribuindo também para a mobilização, confiabilidade e motivação dos usuários. Em relação ao aspecto da motivação, o uso do sistema no contexto de uma atividade escolar potencializa o envolvimento dos estudantes a partir de treinamentos e oficinas de mobilização, campanhas de coleta em períodos determinados e definição de tarefas pré-estabelecidas. No que diz respeito a confiabilidade, a possibilidade de realizar treinamentos e oficinas durante as aulas contribui para que os estudantes sejam capacitados para a utilização do sistema e forneçam informações mais confiáveis, além de que os professores podem acompanhar o desenvolvimento das atividades e fornecer orientações sempre que necessário.

Se necessário, para ampliar a motivação e a confiabilidade, os alunos podem ser avaliados pelos professores de acordo com o número e qualidade das informações produzidas, de forma que o desempenho de cada participante seja revertido em nota e sendo esse o retorno material obtido pelos estudantes.

Para a utilização do sistema no contexto escolar inicialmente é necessário estabelecer contato com diretores, coordenadores e professores de escolas de ensino médio para a apresentação do aplicativo e propor a sua utilização como atividade

escolar. Da mesma forma, é importante que os professores sejam envolvidos e participem desde o planejamento até a realização das oficinas, treinamentos, campanhas e demais atividades.

Importante mencionar que o uso do sistema não se limita a este grupo, de modo que os estudantes de ensino médio são os usuários e colaboradores principais, e também responsáveis pela disseminação do sistema com a população em geral. Por fim, o uso do aplicativo no contexto escolar pode se constituir como uma atividade educativa sobre percepção de riscos de jovens e adolescentes, ampliando a relevância da sua aplicação no contexto proposto.

4.1.2 Informações sobre ameaça fornecidas pelos usuários e coletadas pelo sistema na forma de VGI

Os usuários do sistema poderão fornecer na forma de VGI registros de ocorrências de inundações na cidade onde residem, informando pontos de inundação, altura atingida pela água e danos causados. Tendo em vista que essas informações estão armazenadas na memória de moradores que vivenciaram inundações, considerou-se que a população é capaz de responder onde, quando e em qual intensidade ocorreram os eventos hidrológicos na cidade.

A coleta de registros de ocorrência de inundações pode contribuir amplamente no mapeamento de áreas de riscos hidrológicos, seja para a elaboração de mapas de inundação (BRASIL, 2004; POSER e DRANSH, 2010), mapeamento preliminar de áreas de riscos hidrológicos (BRASIL, 2004) ou validação e calibração de modelos hidráulico-hidrológicos (TUCCI, 2007; ECKHARDT, 2008).

Nesse aspecto o sistema foi concebido visando a utilização de registros de ocorrência para reproduzir o método desenvolvido por Poser e Dransch (2010), o qual demonstrou a possibilidade de elaboração de mapas de inundação utilizando registros de ocorrência coletados na forma de VGI. Para isso, o sistema possibilita apenas a inserção de informações sobre uma inundação específica, como descrito abaixo:

Na inundação ocorrida na cidade de Riachão do Jacuípe em janeiro de 2016:

Informação 1: Quais os locais atingidos pela inundação?

Informação 2: Qual a altura atingida pela água nesses locais?

Informação 3: Quais os locais onde a inundação acarretou em vítimas fatais ou feridos?

Informação 4: Quais os locais onde a inundação causou danos em móveis e eletrodomésticos?

Informação 5: Quais os locais onde a inundação causou a destruição de construções (casas, pontes, praças)?

Assim o conjunto de dados coletados pelos usuários possibilita a delimitação de áreas inundáveis em relação a um evento específico a partir de modelagem em SIG evitando a coleta de informações temporalmente dispersas. Entretanto, considerando a importância de obter dados de diferentes épocas, podem ser realizadas campanhas individuais para a coleta de informações sobre inundações ocorridas em decorrência de chuvas com tempo de retorno de 5 anos (coleta 1), 10 anos (coleta 2), 25 anos (coleta 3), 50 anos (coleta 4) e 100 anos (coleta 5).

4.1.3 Informações de vulnerabilidade fornecidas pelos usuários e coletadas pelo sistema na forma de VGI

Em relação às informações de vulnerabilidade, o sistema possibilita que os usuários realizem o mapeamento colaborativo de áreas onde residem pessoas com menor capacidade de reação diante de eventos hidrológicos (crianças, idosos, portadores de deficiências e desabrigados). Nesse quesito foi percebido que a população é capaz de fornecer outras informações de vulnerabilidade na forma de VGI, principalmente, no que diz respeito às condições e características socioeconômicas da população (idade, renda, escolaridade).

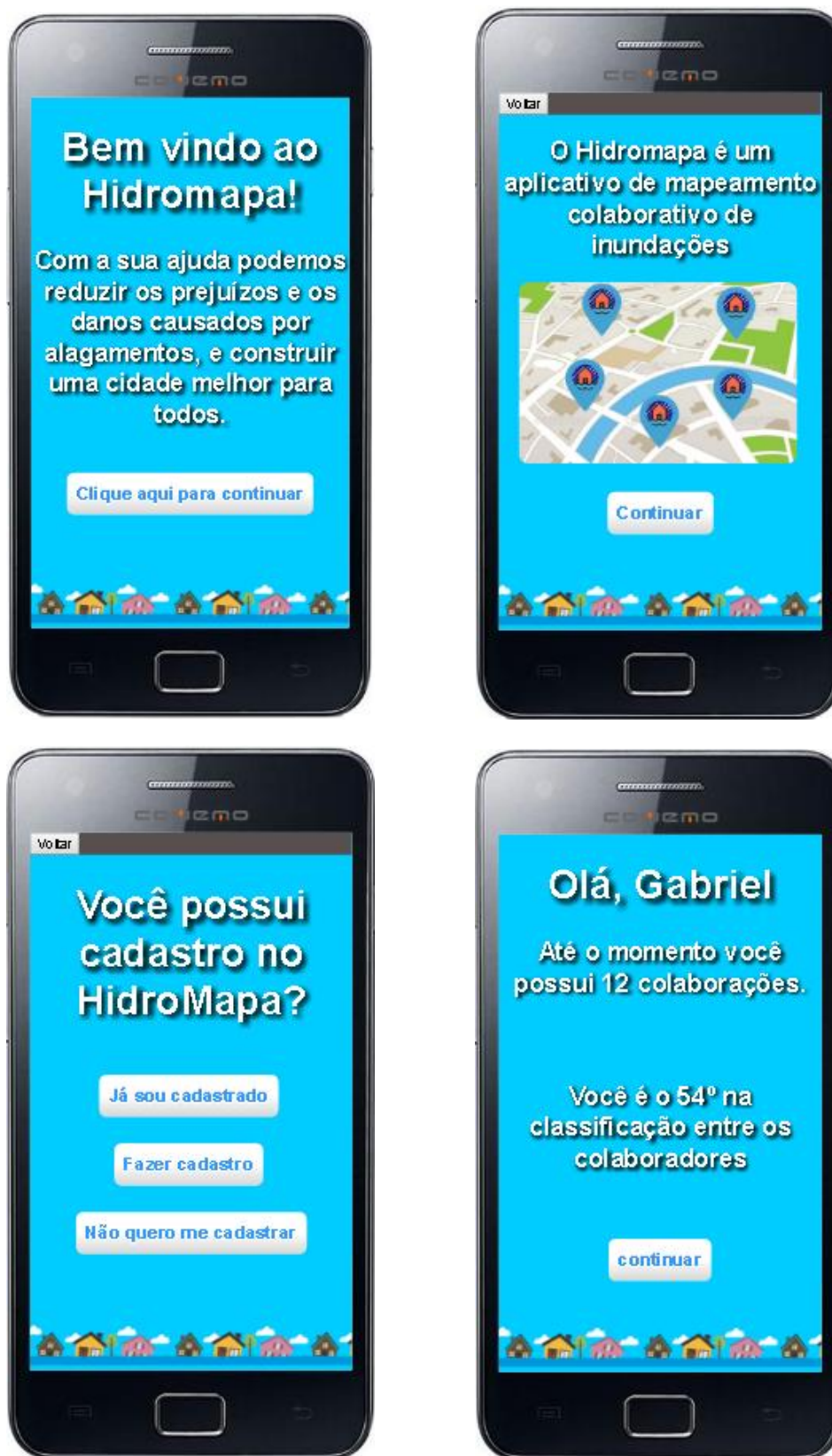
Entretanto, visando evitar que o processo de colaboração no sistema seja extenso, foram priorizadas e selecionadas a coleta de informações sobre a população com mobilidade reduzida e potenciais desabrigados, por serem informações que contribuem para a análise das áreas onde reside a população mais vulnerável aos impactos de inundações. A partir do processamento dessas informações em SIG é possível identificar espacialmente as áreas onde residem pessoas mais vulneráveis em relação a probabilidade de ocorrência de feridos e vítimas fatais, e também os locais onde a população irá demandar abrigos e outros recursos em caso de ocorrência de eventos hidrológicos adversos.

4.1.4 Interface e funcionalidades do sistema

Para a concepção e desenvolvimento da interface foi adotado o modelo de interface minimalista, no qual as atividades realizadas pelos usuários são distribuídas em etapas, de forma que em cada tela são apresentadas, para o usuário, apenas as ferramentas necessárias para o cumprimento de cada etapa (HAKLAY e ZAFIRI, 2009; MENDONÇA e DELAZARI, 2012). Assim, a interface do sistema se apresenta de modo que o usuário consiga entender com mais facilidade o que ele deve executar em cada etapa e quais ferramentas deve utilizar para a sua execução. Outro aspecto importante nessas aplicações é a implantação de funcionalidades que forneçam dicas de uso aos usuários e o *feedback* das ações realizadas, como mensagens informando que a colaboração foi realizada com sucesso ou procedimentos que o usuário deve realizar para concluir a operação (MENDONÇA e DELAZARI, 2012).

Nas primeiras telas o sistema exibe uma breve apresentação e em seguida é solicitado que o usuário efetue *login*, ou acesse o sistema de forma não identificada (sem a necessidade de *login*). Se o usuário não for cadastrado e deseje realizar o acesso identificado, o sistema possui a função “fazer cadastro” na qual são solicitadas informações pessoais como nome completo, nome de usuário, data de nascimento e senha de acesso. Entretanto, o sistema pode ser utilizado sem a necessidade de cadastro e *login*, evitando restrições de acesso para usuários externos que não queiram se identificar.

O cadastro é obrigatório apenas para os usuários principais (estudantes de ensino médio envolvidos no projeto) e opcional para os usuários externos. Após o primeiro *login* em um dispositivo, as informações de acesso são armazenadas de modo que nos próximos acessos não seja necessário efetuar *login*. Assim, usuários cadastrados necessitam efetuar *login* apenas em situações nas quais o sistema não identifique dados de acesso salvos no dispositivo.

Figura 15. Interface do sistema: telas de apresentação e *login*.

Fonte: O autor.

No sistema, os usuários cadastrados possuem uma página de perfil na qual é possível visualizar e alterar as informações pessoais do cadastro, além de informações sobre a quantidade de colaborações já realizadas no aplicativo. Após efetuar *login* ou acesso não identificado, o usuário pode iniciar o processo de colaboração, visualizar as colaborações já realizadas por todos os usuários através de um mapa interativo, ou acessar o *ranking* de classificação. A página de classificação dos usuários apresenta em ordem decrescente a lista de usuários cadastrados em relação ao número de colaborações realizadas pelos mesmos, além do total de contribuições obtidas por usuários cadastrados e não cadastrados.

Figura 16. Interface do sistema: funções iniciais e mapa de colaborações realizadas.



Fonte: O autor.

Ao iniciar uma colaboração o sistema exibe uma mensagem induzindo o usuário a buscar em sua própria memória informações sobre a inundação ocorrida, sobretudo em relação a locais atingidos pela inundação na cidade. Da mesma forma, é apresentada uma foto do evento para auxiliar no processo de recordação e na compreensão do usuário sobre as informações que serão adicionadas no sistema (figura 17).

Figura 17. Interface do sistema: tela inicial de colaboração.



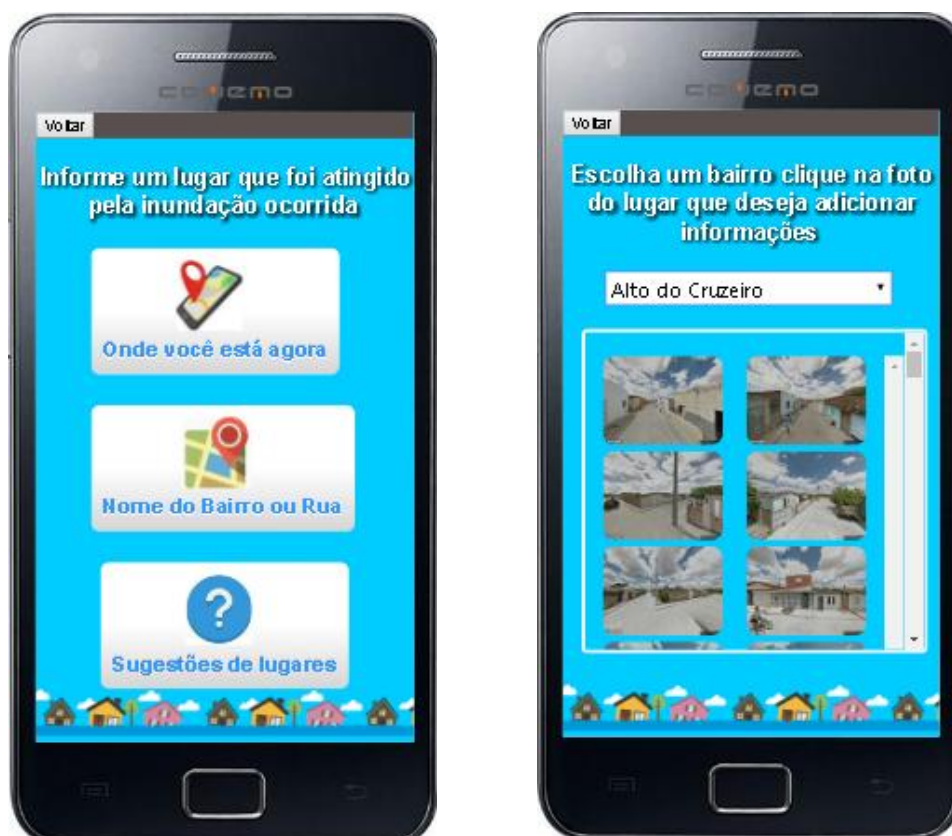
Fonte: O autor.

Uma vez que todas as informações colaboradas necessitam estar associadas a coordenadas geográficas para se constituírem como Informações Geográficas Voluntárias. Dessa forma, o sistema possui recursos para que o usuário realize o seu georreferenciamento, sendo essa a primeira etapa do processo colaborativo. Os usuários indicam os pontos da cidade sobre o qual estarão associadas informações como: a) se o local foi atingido pela inundação; b) qual a altura atingida da água; c) se houve danos; e d) se no local existem moradores com mobilidade reduzida ou potenciais desabrigados.

Para isso o usuário pode utilizar recursos de localização disponíveis em *smartphones*, que fornecem automaticamente as coordenadas geográficas do local indicado pelo usuário, ou recurso de geocodificação, no qual é possível identificar pontos a partir de buscas por bairro ou rua. Para informações georreferenciadas via GPS, o sistema identifica se no momento da colaboração o usuário estava utilizando o sistema em modo *offline*, conexão 3G/4G ou *WiFi*, contribuindo para avaliar a precisão do posicionamento. Além dessas funções, o usuário pode solicitar que o

sistema apresente sugestões de pontos aleatórios na cidade, visando fornecer uma alternativa para aqueles que no momento da colaboração não se recordam de pontos específicos para adicionar informações, ou em casos nos quais o usuário não está familiarizado com os recursos de GPS ou geocodificação.

Figura 18. Interface do sistema: recursos de georreferenciamento das informações.



Fonte: O autor.

Para auxiliar o usuário na identificação dos pontos, o sistema apresenta fotos do lugar sobre o qual serão adicionadas as demais informações, visando reduzir a possibilidade de erros no que diz respeito ao posicionamento. Além de auxiliar o usuário na confirmação sobre a localização das informações, a foto contribui para recordar o usuário sobre a situação do lugar no momento da inundação.

Para reduzir a possibilidade de erros dos usuários ao informar a altura da inundação, são utilizadas figuras ilustrativas que auxiliam na identificação dos níveis de cheia. Dessa forma é possível reduzir as possibilidades de erros tendo em vista que nem todos os usuários possuem noções métricas. Entretanto, além da figura ilustrativa, o sistema apresenta o valor informado pelo usuário em metros,

possibilitando que os usuários informem o nível de cheia através da figura ilustrativa ou por valores métricos.

Figura 19. Interface do sistema: funções de registro de ocorrências.

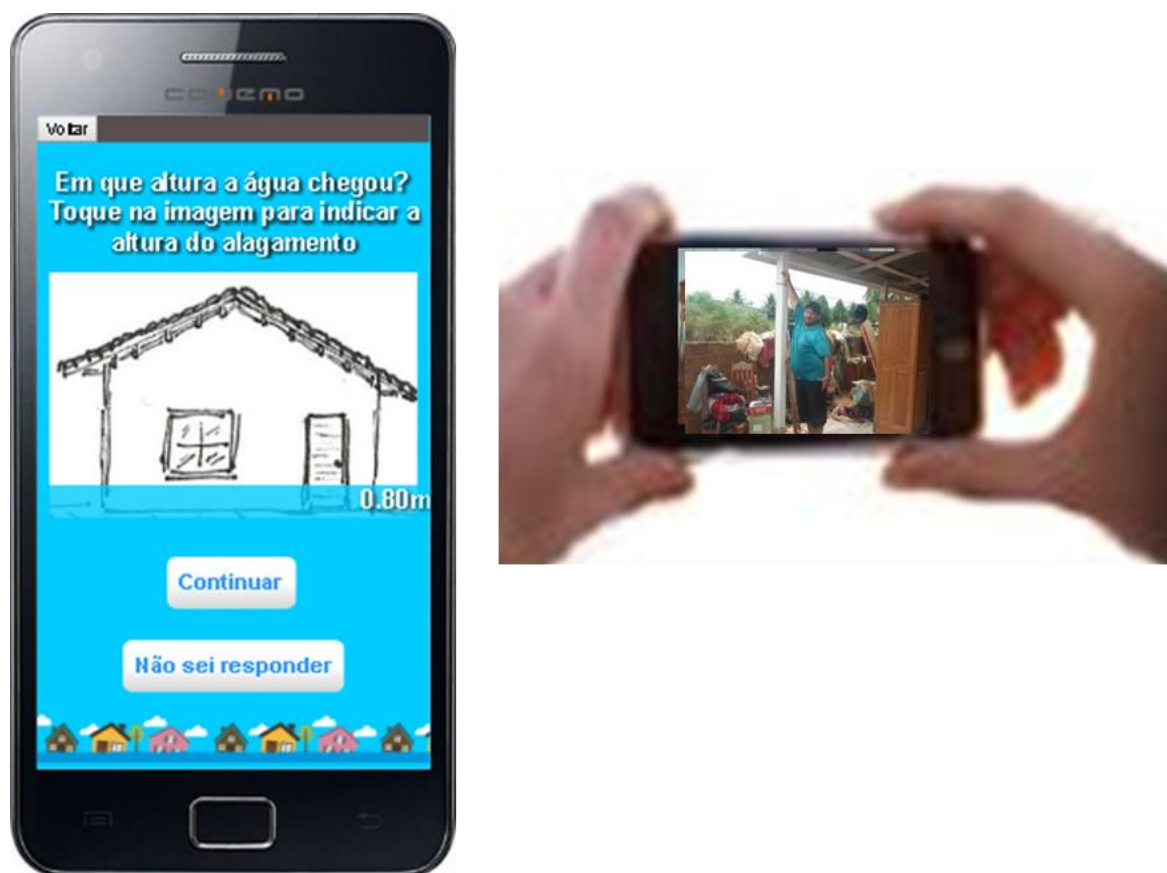


Fonte: O autor.

Levando em consideração a existência de usuários que desejam utilizar o aplicativo, mas que não sabem responder as informações solicitadas pelo sistema, a opção “não sei responder” foi incluída como resposta. A inclusão dessa opção para todas as perguntas tem como objetivo reduzir o número de informações inconsistentes.

Assim como são apresentados recursos para a minimização de erros durante a colaboração, o sistema possui funcionalidades que permitem a validação das informações colaboradas, como o registro de fotográfico dos níveis de água, possibilitando a comparação com os valores. A figura 20 apresenta uma situação em que ocorre uma inconsistência entre o nível de água informado no sistema e o registro fotográfico.

Figura 20. Função para o envio de fotografias sobre a altura da inundação.



Fonte: O autor.

Uma vez que o processo de validação através de fotografias é realizado de forma manual, impossibilita que o recurso seja utilizado para validar todas as informações, sobretudo para um grande volume de dados. Por outro lado, o recurso pode ser utilizado para avaliar uma amostra reduzida de informações colaboradas pelos usuários.

Em seguida, os usuários passam a informar se no local a inundação acarretou em vítimas fatais ou em feridos, danos em edificações ou em móveis e eletrodomésticos. Essas informações contribuem para a análise da intensidade da inundação em relação à capacidade de transporte de material sólido, de forma que locais onde foram registrados danos em edificações são considerados como pontos de maior grau de ameaça. As informações sobre a ocorrência de vítimas fatais apontam o grau de risco e também a vulnerabilidade da população que reside no local.

Figura 21. Interface do sistema: registro de ocorrência de danos causados por inundações.

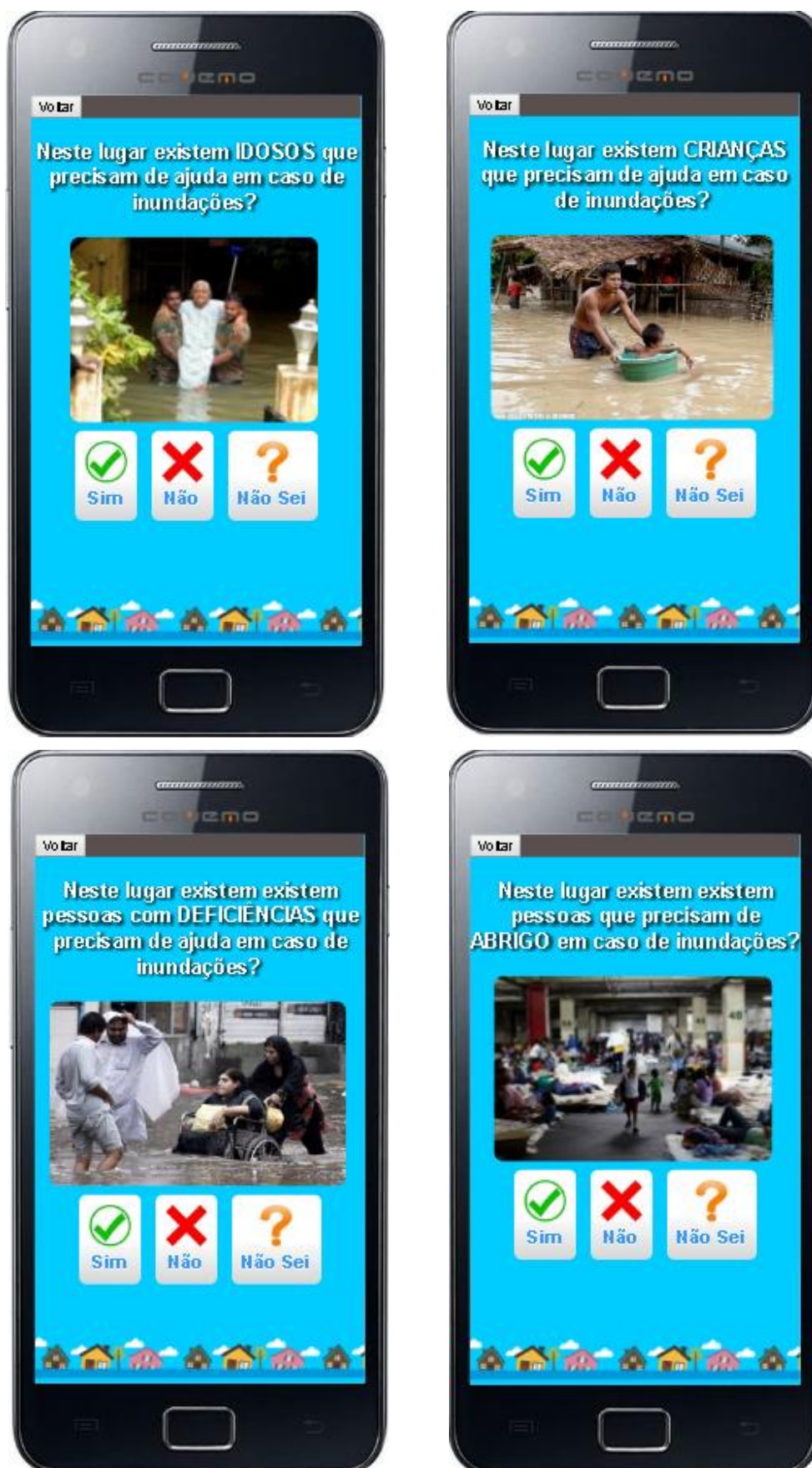


Fonte: O autor.

A combinação dessas três informações permite identificar os locais onde a inundação ocorreu com maior intensidade, e assim determinar o grau de ameaça e de risco combinando também as informações sobre o nível atingido pela inundação.

Informados os dados sobre a ameaça (pontos de inundação, altura atingida pela água e os danos), os usuários passam para a coleta de informações sobre a vulnerabilidade. Como já mencionado, é solicitado que os usuários informem se no local residem pessoas em maior grau de exposição aos impactos de inundações, adicionando informações sobre idosos, crianças, portadores de deficiências motoras e potenciais desabrigados em casos de inundação no local. Para auxiliar os usuários na coleta das informações, são utilizadas figuras ilustrativas que apresentam esses grupos de população vulnerável em situações de desastres hidrológicos, como pode ser visualizado na figura 22.

Figura 22. Interface do sistema: coleta de informações de vulnerabilidade.



Fonte: O autor.

Inseridas todas as informações solicitadas pelo sistema, o usuário recebe o *feedback* de que o processo de colaboração foi concluído e pode optar em continuar realizando novas colaborações ou encerrar a utilização do aplicativo. As informações coletadas são enviadas automaticamente para uma base de dados armazenada na *internet*, e quando o *smartphone* do usuário não estiver conectado à *internet*, o sistema armazena as informações no dispositivo e envia para a base de dados assim que a conexão for estabelecida.

Figura 23. Interface do sistema: finalização da colaboração.



Fonte: O autor.

Além de recursos que podem ser visualizados através da interface, o sistema prevê funcionalidades voltadas para o envio de tarefas específicas para os colaboradores, as quais são apresentadas para o usuário através de notificações no *smartphone*. Fazeli *et al.* (2015) mencionam que para resultados efetivos, é necessário que sejam fornecidas informações de toda a área estudada, e que muitas vezes as informações colaborativas se concentram em alguns pontos e são escassas em outros. Assim, ao identificar áreas com escassez de informações, o sistema envia tarefas para os usuários solicitando que sejam realizadas colaborações de lugares

específicos. O mesmo recurso pode ser utilizado para solicitar a validação de informações fornecidas por outros usuários.

Outro aspecto importante e que também não está diretamente relacionado com a interface do sistema, envolve a avaliação da qualidade das informações a partir de análises sistêmicas, comparando informações adicionadas por diferentes usuários e também por meio da reputação dos colaboradores. Entretanto, não foram realizados levantamentos e testes para o estabelecimento de pesos dos parâmetros de avaliação da reputação dos usuários, assim como não foi possível especificar requisitos relacionados à avaliação automática da qualidade dos dados, sendo essas lacunas encontradas durante o desenvolvimento do sistema proposto.

Por fim, a tabela 9 apresenta de forma sistematizada os requisitos e características do sistema proposto.

Tabela 9. Características do sistema proposto.

Visão Geral do sistema
Ferramenta de mapeamento colaborativo de áreas de riscos hidrológicos.
Objetivos do sistema
O sistema deve possibilitar que os usuários forneçam informações geográficas sobre registros de ocorrência de eventos hidrológicos e locais onde residem moradores expostos aos impactos de inundações, contribuindo para o mapeamento de áreas de riscos hidrológicos e para a participação social na gestão de desastres naturais.
Usuários do sistema
- Estudantes de ensino médio (usuários principais); - População em geral (usuários externos).
Dispositivos compatíveis
<i>Smartphones</i>
Funções do Sistema
- Cadastro de usuários; - Cadastro de informações sobre locais atingidos por inundações; - Cadastro de informações sobre o nível da inundação; - Envio de fotografia sobre o nível da inundação;

- Cadastro de informações sobre impactos causados por inundações (feridos e vítimas fatais);
- Cadastro de informações sobre impactos causados por inundações (danos em móveis e eletrodomésticos);
- Cadastro de informações sobre impactos causados por inundações (danos em edificações);
- Cadastro de informações sobre população vulnerável (idosos);
- Cadastro de informações sobre população vulnerável (crianças);
- Cadastro de informações sobre população vulnerável (deficientes físicos);
- Cadastro de informações sobre população vulnerável (potenciais desabrigados);
- Georreferenciamento de informações cadastradas via geocodificação;
- Georreferenciamento de cadastradas informações via GPS;
- Consulta de sugestões de pontos para o cadastro de informações;
- Envio de tarefas específicas pelo sistema para os usuários;
- Visualização em mapa das informações cadastradas;
- Visualização de *ranking* de usuários em relação ao número de colaborações realizadas.

Atributos do Sistema

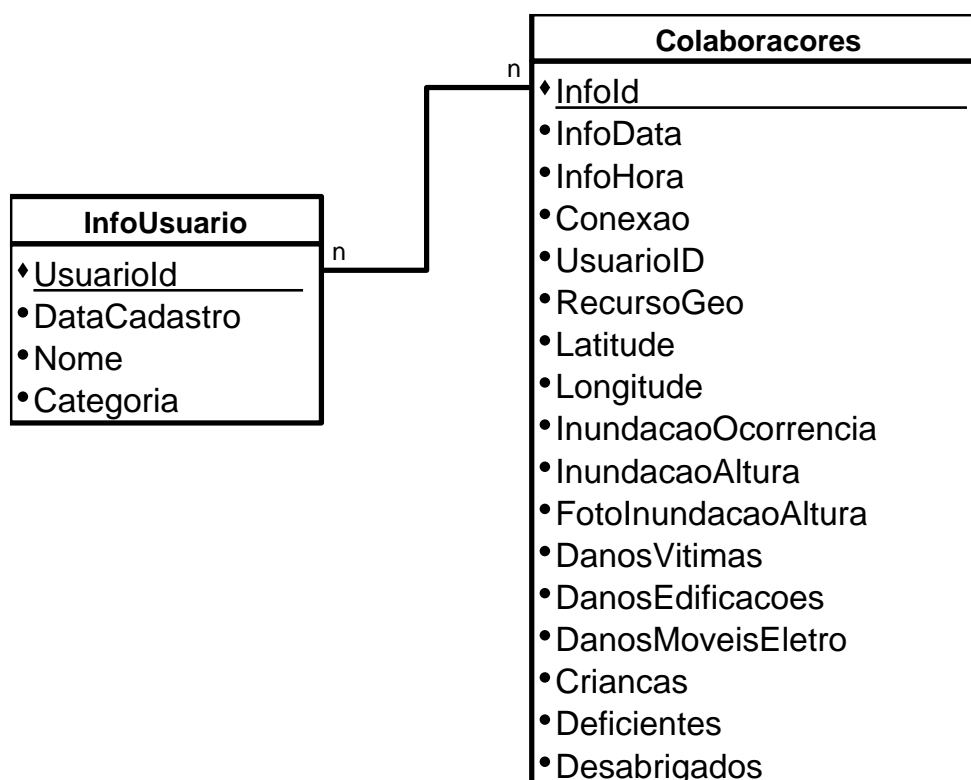
- Interface minimalista;
- Utilização de figuras ilustrativas e símbolos;
- Linguagem do texto adequada ao perfil do usuário;
- Operar em modo *off-line*.

Fonte: O autor.

4.1.5 Modelo do banco de dados

O modelo de banco de dados consiste na representação da estrutura de armazenamento das informações que compõem o sistema proposto, abrangendo tabelas com informações dos usuários e de dados colaborativos. A figura 24 apresenta a estrutura do modelo de banco de dados relacional do sistema, e a sua respectiva descrição pode ser visualizada nas tabelas a seguir (Tabelas 10 e 11).

Figura 24. Modelo de banco de dados do sistema proposto.



Fonte: O autor.

Tabela 10. Descrição da tabela InfoUsuario.

Visão geral da tabela: Armazena as informações sobre os usuários.	
Campos	Descrição
Usuariold	Identificador único do usuário.
DataCadastro	Data em que o usuário realizou o cadastro no sistema.
Nome	Nome do usuário.
Categoria	Identifica se o usuário é usuário principal (estudante de ensino médio envolvido no projeto) ou usuário externo (população).

Fonte: O autor.

Tabela 11. Descrição da tabela Colaboracoes.

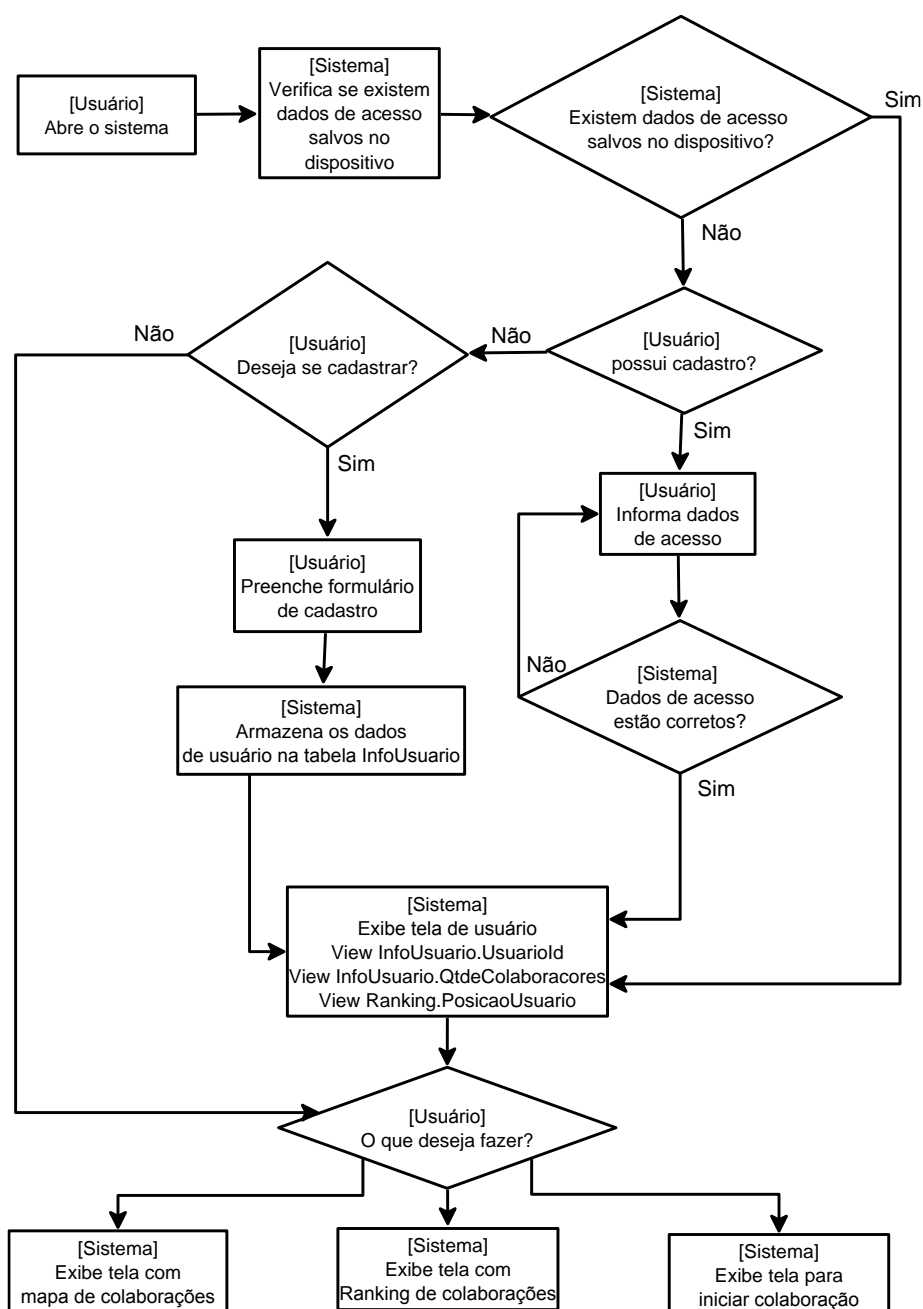
Visão geral da tabela: Armazena os dados fornecidos pelos usuários.	
Campos	Descrição
InfoID	Identificador único e insubstituível da colaboração.
InfoData	Data em que o usuário realizou a colaboração.
InfoHora	Hora em que o usuário realizou a colaboração.
Conexao	Identifica o tipo de conexão utilizada pelo usuário: “off-line”, conexão “3G/4G” ou “WiFi”.
Usuariold	Identifica o nome do usuário responsável pela colaboração. Para usuários não cadastrados o campo é preenchido com “usuário não cadastrado”
RecursoGeo	Identifica o recurso de georreferenciamento utilizado pelo usuário, podendo ser preenchido como “GPS”, “Geocodificação” ou “Sugestões”.
Latitude	Latitude das informações colaboradas (WGS84).
Longitude	Longitude das informações colaboradas (WGS84).
Inundacao Ocorrencia	Identifica se o local foi atingido pela inundação. Pode ser preenchido como “Sim”, “Não” ou “Usuário não soube responder”.
Inundacao Altura	Identifica o nível de água informado pelo usuário; Também pode ser preenchido como “Usuário não soube responder”.
Foto InundacaoAltura	Foto enviada pelo usuário, possibilitando a verificação das informações colaboradas sobre o nível de água atingido.
DanosVitimas	Identifica se no local houveram vítimas fatais ou feridos pela inundação. Pode ser preenchido como “Sim”, “Não” ou “Usuário não soube responder”.
DanosEdificacoes	Identifica se no local houveram danos em edificações. Pode ser preenchido como “Sim”, “Não” ou “Usuário não soube responder”.
DanosMoveisEleetro	Identifica se no local houveram danos em móveis e eletrodomésticos. Pode ser preenchido como “Sim”, “Não” ou “Usuário não soube responder”.
Idosos	Identifica a presença de idosos que residem no local. Pode ser preenchido como “Sim”, “Não” ou “Usuário não soube responder”.
Crianças	Identifica a presença de crianças que residem no local. Pode ser preenchido como “Sim”, “Não” ou “Usuário não soube responder”.
Deficientes	Identifica a presença de deficientes que residem no local. Pode ser preenchido como “Sim”, “Não” ou “Usuário não soube responder”.
Desabrigados	Identifica a presença de potenciais desabrigados que residem no local. Pode ser preenchido como “Sim”, “Não” ou “Usuário não soube responder”.

Fonte: O autor.

4.1.6 Diagramas de Fluxo de Dados

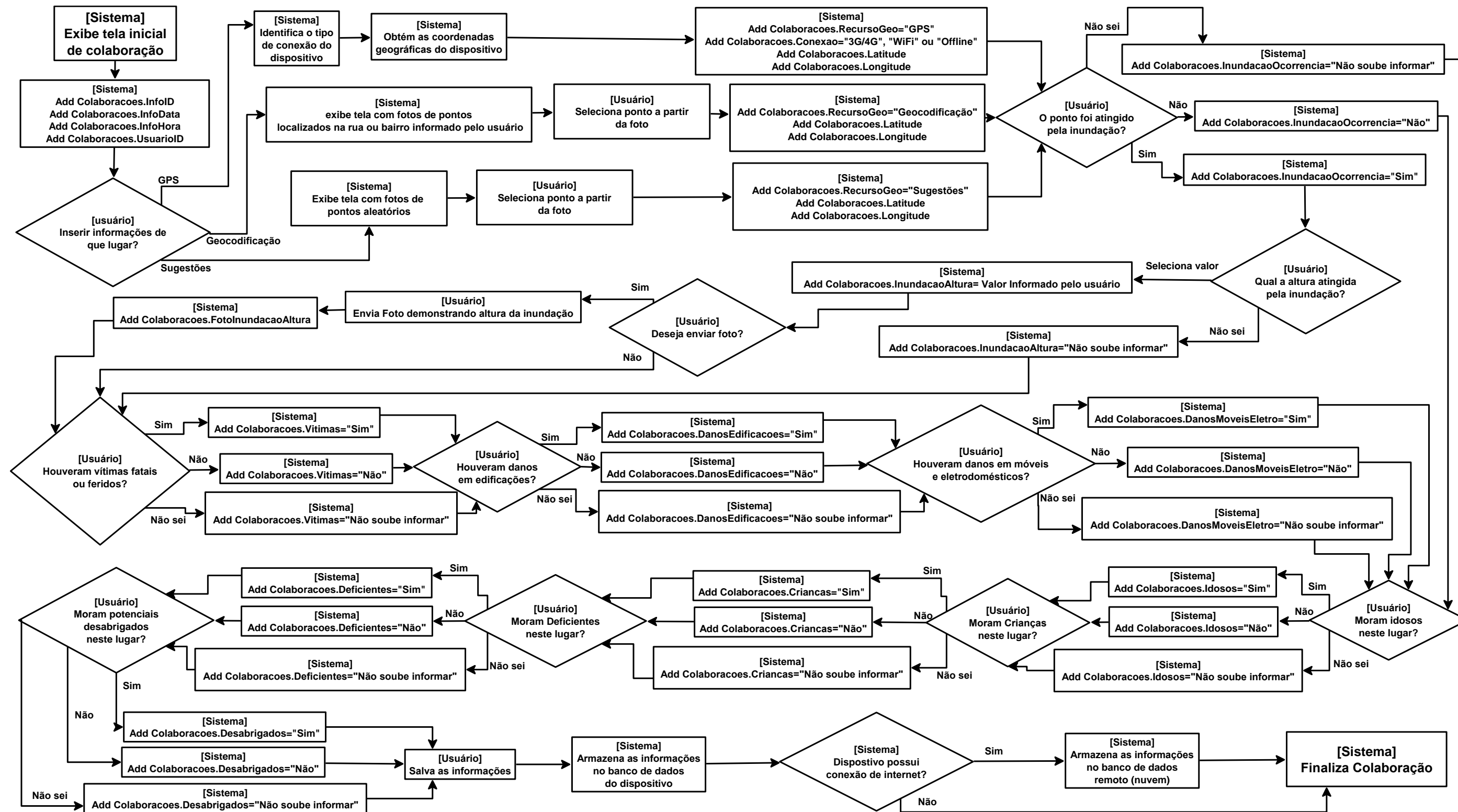
Os diagramas de fluxo de dados apresentados nas figuras 25 e 26, apresentam de forma conceitual o funcionamento do sistema, sendo possível observar o fluxo das informações e as interações que ocorrem entre o usuário e o aplicativo durante a sua utilização. A figura 25 representa as funções de acesso ao sistema e cadastro de usuários, enquanto que na figura 26 é possível visualizar o funcionamento do sistema durante a realização de colaborações.

Figura 25. Diagrama de fluxo de dados: acesso ao sistema e cadastro de usuários.



Fonte: O autor.

Figura 26. Diagrama de Fluxo de Dados: adicionar informação colaborativa no sistema.



Fonte: O autor.

4.2 Resultados do estudo de caso

O estudo de caso foi realizado no município de Riachão do Jacuípe/Bahia, com 37 estudantes de ensino médio do Colégio Estadual João Campos, distribuídos entre turmas de 1º, 2º e 3º ano, na disciplina de geografia. Desde o primeiro contato, os professores demonstraram interesse em participar do estudo de caso, indicando a viabilidade de aplicação do sistema no contexto escolar.

Os professores mencionaram a importância de inserir atividades práticas e inovadoras no contexto escolar, principalmente quando se trata de questões importantes para a cidade em que vivem e, conseqüentemente, para a própria qualidade de vida dos alunos. Da mesma forma, os professores mencionaram sobre o uso constante do celular pelos alunos e da necessidade de apresentar outras formas de utilização do aparelho que vão além de redes sociais, jogos e aplicativos de mensagens. Sobre esses pontos, a utilização do sistema no contexto escolar foi bem aceita pelos educadores, sobretudo pela inserção de atividades diferenciadas em relação ao ensino tradicional e que estão relacionadas com a prática da cidadania.

4.2.1 Considerações sobre o desenvolvimento do protótipo

Como já mencionado na metodologia, não foi possível implementar no protótipo todas as funcionalidades previstas na concepção do sistema, sobretudo pela necessidade de apoio técnico em programação de *softwares*. Sobre este aspecto pode-se afirmar que as dificuldades encontradas para o desenvolvimento do sistema não estão relacionadas a problemas de concepção, tendo em vista que as funcionalidades não implementadas já existem em sistemas similares, mas exigiam conhecimentos específicos de programação para a sua implementação, e que não foram possíveis nesse primeiro protótipo. Assim posto, não foram implementados os seguintes requisitos: a) utilização do sistema por usuários externos; b) visualização de *ranking* de usuários relativo ao número de colaborações; c) utilização do sistema em modo *off-line*; d) envio de tarefas específicas pelo sistema para os usuários; e d) envio de fotografias altura da inundação.

Em relação às funcionalidades implementadas foram encontradas dificuldades para implementar o recurso de georreferenciamento das informações via geocodificação, tendo em vista a escassez de bases cartográficas de logradouros e limites de bairros. Para a construção da base de dados de logradouros e bairros da

área de estudo foram utilizadas informações da base de face de logradouros elaborada pelo IBGE para o Censo Demográfico de 2010, base cartográfica do projeto *Open Street Map*, e informações da plataforma *Google Maps*. O mesmo problema foi encontrado em relação às fotografias das ruas, sendo utilizado a API *Google Street View*, que disponibiliza fotos georreferenciadas de ruas de maior parte dos municípios brasileiros.

Embora a API *Google Maps* e API *Google Street View*, forneçam recursos de geocodificação e imagens de ruas com ampla cobertura espacial no Brasil, essas ferramentas podem ser utilizadas apenas em modo *online*, impossibilitando o uso no sistema quando esse é utilizado *offline*. Além disso, a utilização dessas API's de forma gratuita está condicionada a limites de acesso, gerando restrições em relação ao número de pontos disponibilizados para os usuários. Entretanto, para a cidade de Riachão de Jacuípe foi possível disponibilizar pontos de toda a área de estudo sem que fossem ultrapassados os limites de uso.

Não foram encontradas dificuldades para implementar as demais funcionalidades no protótipo, sobretudo por se tratar de recursos já consolidados em sistemas similares. A principal dificuldade encontrada para o desenvolvimento do sistema está relacionada à disponibilidade da base de dados de logradouros, bairros e fotografias dos pontos. Essa limitação demonstra como a carência de bases cartográficas tem gerado dificuldades no desenvolvimento de trabalhos que utilizam informações geográficas, não apenas no sistema proposto. Nesse sentido o conceito de VGI pode ser aplicado para o desenvolvimento de sistemas voltados para a coleta de informações espaciais relacionadas ao cadastro de logradouros, referências espaciais (pontos notáveis), limites de bairros e, também, fotografias georreferenciadas.

4.2.2 Participação dos usuários

A participação dos usuários teve início nos treinamentos realizados em sala de aula (figura 27 e Anexo 1), nos quais o sistema foi inicialmente apresentado e em seguida os estudantes instalaram o aplicativo em seus dispositivos. Apenas 01 aluno não possuía telefone celular e em dois casos os alunos tinham aparelhos, mas não foi possível utilizar o aplicativo por problemas relacionados a resolução de tela, sendo

observado a necessidade de conceber o aplicativo de forma responsiva também para aparelhos com *display* de menores dimensões.

Figura 27. Treinamento com estudantes do ensino médio.

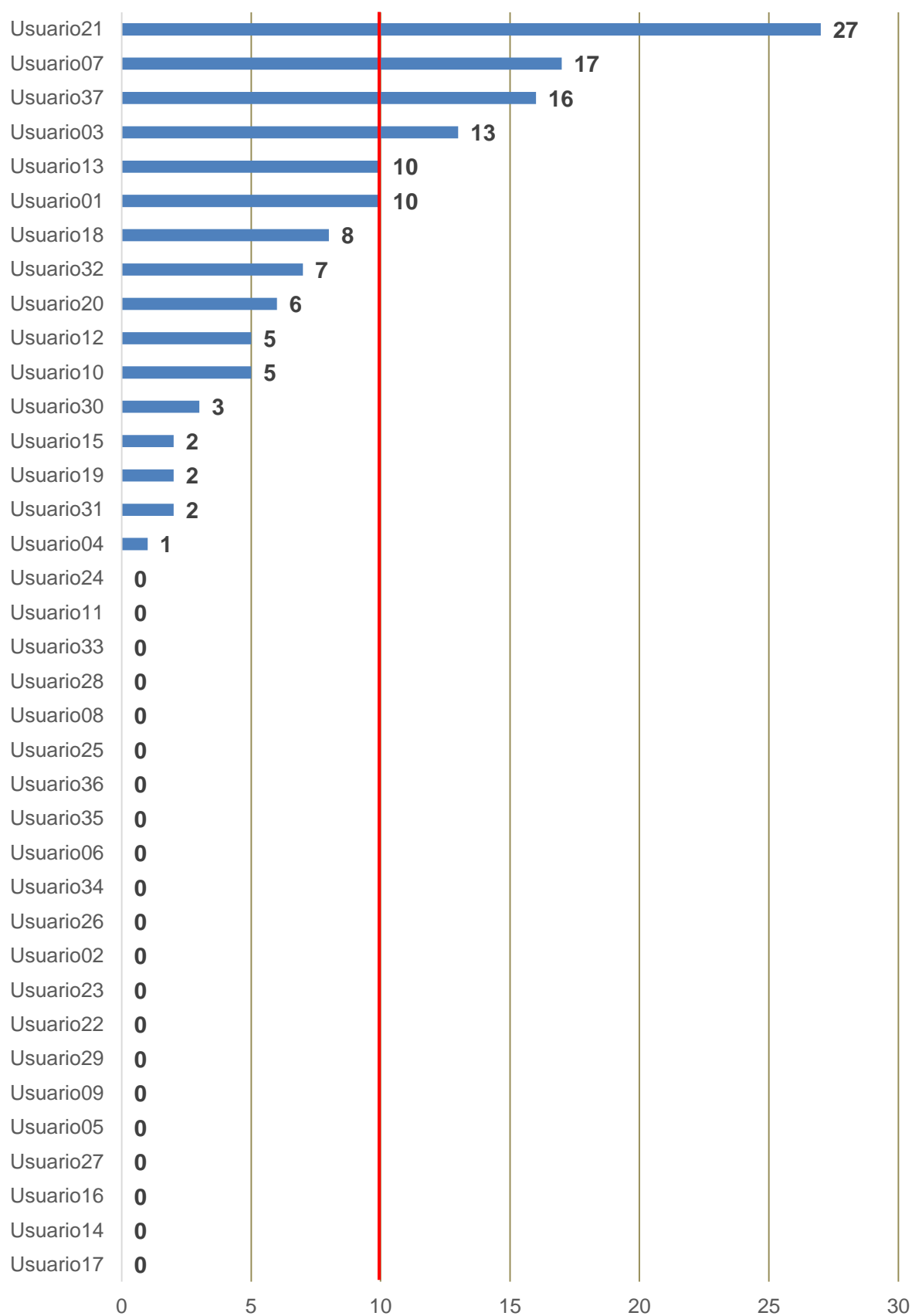


Fonte: O autor.

Nos treinamentos foi percebida a falta de interesse de alguns alunos que saíram da sala durante as atividades, e de outros alunos que perguntaram se podiam realizar as atividades do treinamento em outra ocasião. Em relação a motivação dos usuários, os problemas encontrados no estudo de caso foram relacionados ao fato de que as atividades foram realizadas na penúltima semana de aula. Embora as atividades estivessem programadas para o mês de setembro, por razões relacionadas a paralisações do colégio nesse período, a coleta de dados só foi possível no final de novembro, quando as aulas estavam próximas de serem encerradas.

Assim, pode-se considerar que este fator refletiu também no número de colaborações realizadas pelos usuários, que considerando a expectativa mínima de 370 dados colaborativos na campanha (10 colaborações * 37 alunos), foram coletadas apenas 134 informações (Figura 28).

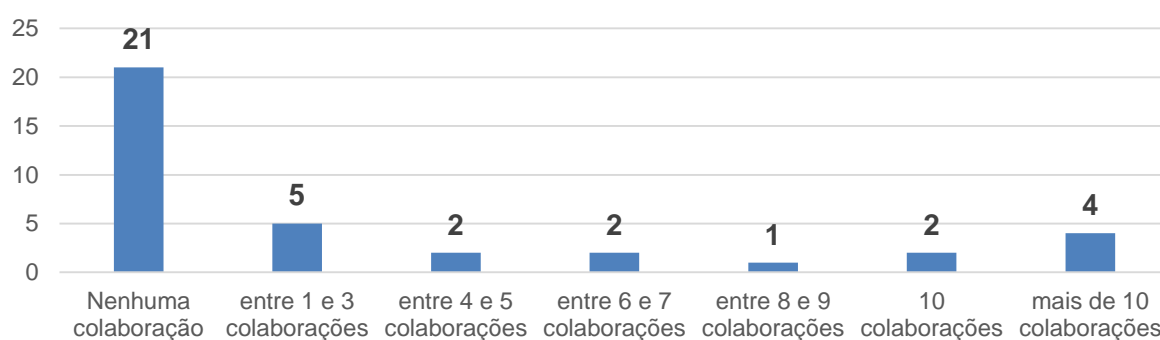
Figura 28. Gráfico de colaborações realizadas pelos usuários.



Fonte: O autor.

Como pode ser visto de forma mais clara na figura 29, 21 alunos (57%) não realizaram nenhuma colaboração no aplicativo, enquanto apenas 06 alunos (16%) alcançaram ou extrapolaram o mínimo de colaborações solicitadas no estudo de caso, contribuindo com 65% das informações coletadas. A não realização dos grupos focais impossibilitou a compreensão aprofundada desses resultados, evidenciando a necessidade de investigar os fatores que interferiram na motivação dos participantes no estudo de caso.

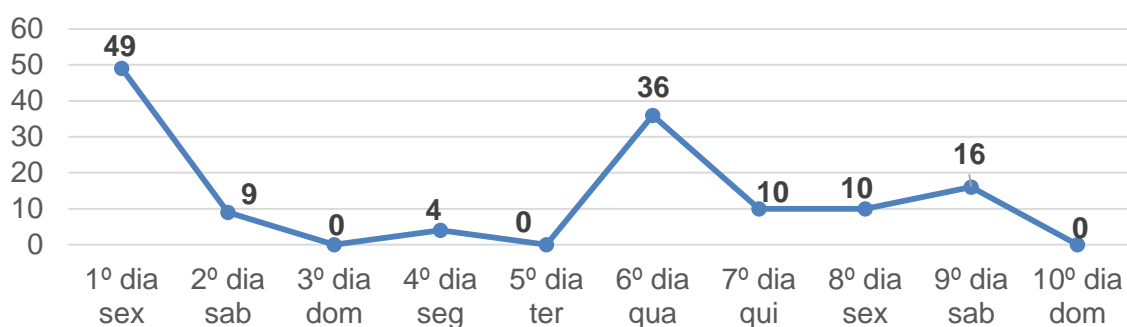
Figura 29. Gráfico de distribuição dos usuários pelo número de colaborações realizadas.



Fonte: O autor.

Como pode ser visualizado na figura 30, também foi observado que o maior número de colaborações foi realizado no 1º dia de campanha, indicando que o prazo definido foi extenso e que a definição de prazos curtos pode contribuir para a motivação dos usuários. Por outro lado, na mesma figura é possível observar um pico de colaborações no 6º dia de campanha em relação aos demais dias, sendo necessário realizar entrevistas específicas com os usuários para compreender os fatores que o ocasionaram.

Figura 30. Distribuição do número de colaborações por dia de campanha



Fonte: O autor.

Esses dados demonstram que o fator motivação é o principal problema encontrado em iniciativas relacionadas com VGI, embora para afirmar, seja necessário realizar outros estudos de caso com um maior número de escolas e estudantes participantes, incluindo a necessidade de analisar diferentes contextos (escolas públicas e particulares). Para a complementação desses resultados seria necessário realizar grupos focais após a campanha de coleta de dados, nos quais os participantes poderiam mencionar os fatores que interferiram na motivação, e também, a avaliação do protótipo.

Assim, em relação a motivação dos usuários no estudo de caso, percebeu-se o impacto sofrido pela realização das atividades na última semana de aula, e que o prazo de 10 dias estabelecido para a campanha de coleta pode ser reduzido ou dividido em mais de uma campanha. Além disso, foi identificada a necessidade de implementar ao sistema funcionalidades voltadas para a motivação dos usuários como o *ranking* de colaboradores e envio de tarefas diárias para os usuários.

Sobre a avaliação do sistema, durante os treinamentos foram mencionados os seguintes aspectos pelos alunos: a) a figura ilustrativa contribui como auxílio de referência métrica ao informar a altura da inundação; b) o protótipo necessitava de conexão com *internet* para funcionar, dificultando a sua utilização; c) o sistema solicita muitas informações, tornando o processo colaborativo extenso (o que pode ter interferido também na motivação); d) o sistema não solicita de forma clara as informações sobre vulnerabilidade (idosos, crianças, deficientes e desabrigados), gerando dúvidas sobre como fornecê-las; e e) fornecer aos usuários ferramentas para envio de fotos, embora estes requisitos tenham sido levantados na concepção, mas não foram inseridas no protótipo.

Através do questionário de avaliação do sistema foi possível obter o *feedback* dos usuários em relação aos pontos positivos do sistema, problemas encontrados na sua utilização e sugestões de melhorias, cujas respostas na íntegra podem ser visualizadas no anexo II. Como o questionário não foi obrigatório, assim como as colaborações, as respostas obtidas foram relacionadas a apenas 09 estudantes. Por outro lado, foram obtidas respostas dos estudantes que realizaram o maior número de colaborações, e que conseqüentemente poderiam avaliar o aplicativo com maior propriedade.

Entre os pontos avaliados de forma positiva estão a praticidade e o caráter intuitivo da interface do sistema; a possibilidade oferecida aos próprios moradores de

realizar mapeamentos de áreas de riscos de inundações da cidade; e as contribuições que os estudantes podem oferecer para a população atingida por desastres hidrológicos. Sobre estes aspectos pode-se dizer que a interface do sistema foi validada e que estudantes de ensino médio reconhecem a importância de participar e contribuir em questões importantes para a sua cidade, e que por vezes são restritas ao setor técnico. Da mesma forma percebe-se que a população se sente reconhecida ao participar de iniciativas relacionadas a VGI, e que nesse sentido o aplicativo pode contribuir para a inserção da população na gestão de desastres.

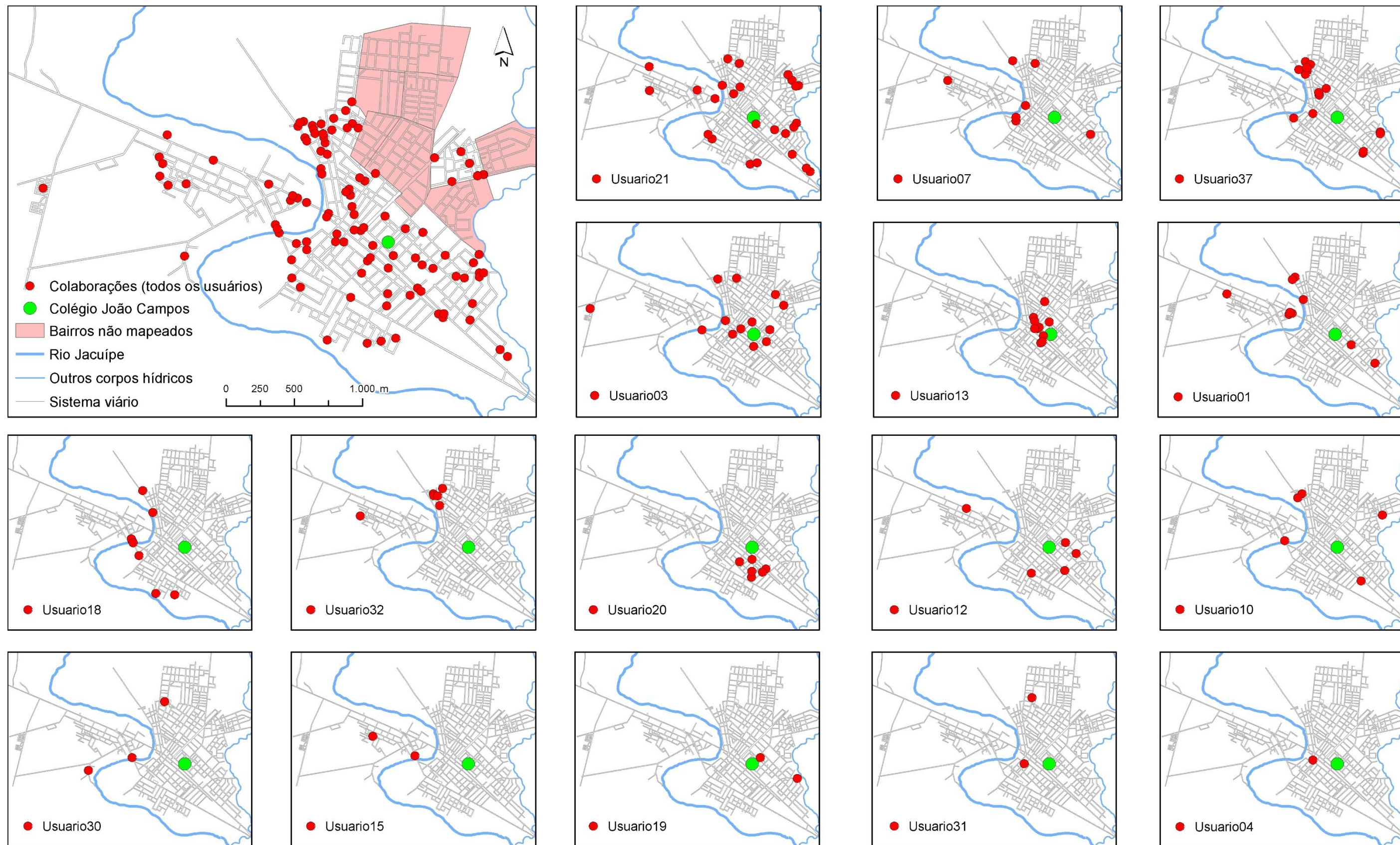
Por fim, as dificuldades encontradas na utilização do aplicativo, aspectos negativos e sugestões de melhorias mencionadas pelos usuários foram, novamente, a necessidade de utilizar o sistema em modo *offline*; e que as imagens do *Google Street View* estavam desatualizadas, dificultando a identificação dos pontos. Assim, na especificação de requisitos deve ser ressaltado que o sistema possa ser utilizado mesmo quando o dispositivo não possui conexão com *internet*, e sobre a concepção é necessário encontrar alternativas para solucionar os problemas encontrados com as imagens do *Google Street View*.

4.2.3 Cobertura espacial dos dados coletados

Os usuários realizaram colaborações distribuídas espacialmente em quase toda a área de estudo, com exceção de alguns bairros sobre os quais não foram adicionadas informações pelos estudantes. Ainda assim, de acordo com informações obtidas em campo, os bairros que não tiveram colaborações não foram atingidos pela inundação, e dessa forma pode-se considerar que foi possível levantar informações sobre as áreas de maior interesse na cidade.

A figura 31 apresenta a distribuição espacial das colaborações realizadas pelos usuários, em conjunto e individualmente, sendo percebido que os estudantes foram capazes de realizar colaborações em toda a cidade e que não houve um padrão de concentração das informações coletadas. Também é possível observar que não houve concentração de colaborações no entorno do Colégio João Campos, o qual não foi atingido pela inundação, e por fim, não foi analisada a relação entre a localização das informações colaboradas e a residência dos colaboradores.

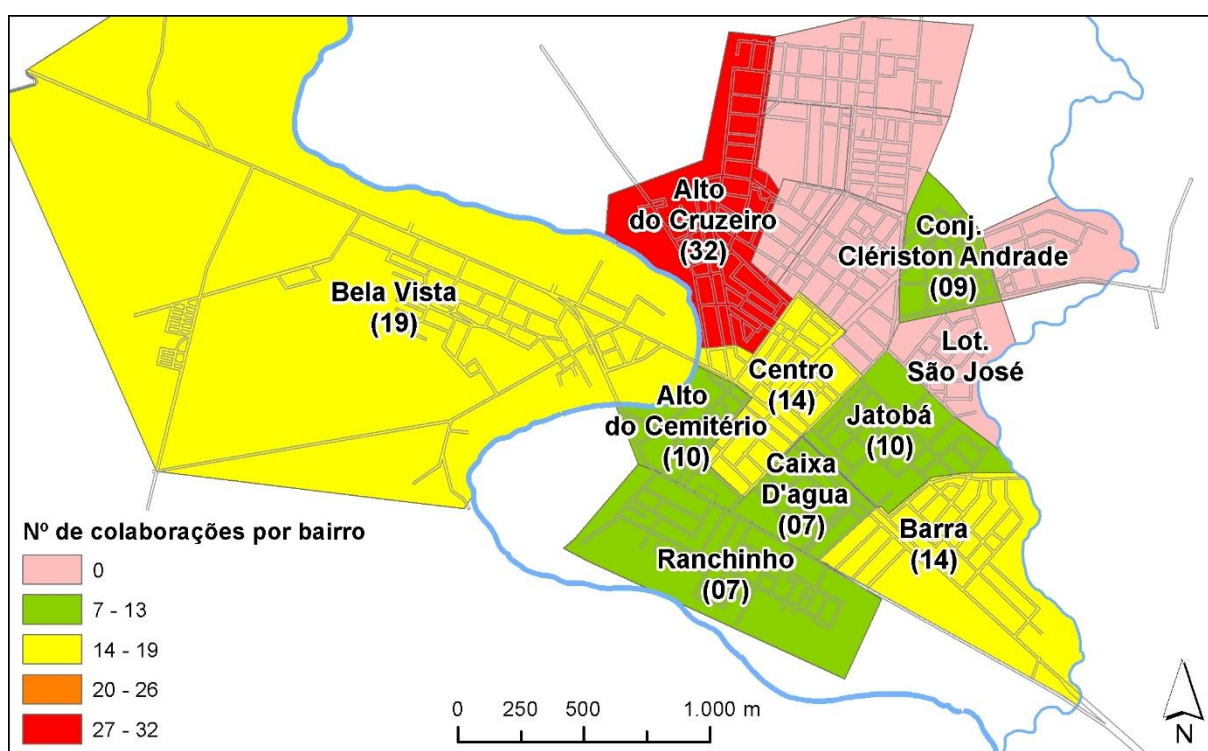
Figura 31. Mapas de distribuição das colaborações realizadas.



Fonte: O autor.

Os bairros com o maior número de colaborações foram Alto do Cruzeiro, Bela Vista, Barra e Centro, como pode ser visualizado na figura 32. Com exceção do Centro, todos os outros bairros citados foram atingidos pela inundação, principalmente o bairro do Alto do Cruzeiro, no qual a inundação acarretou em maiores danos de acordo com informações obtidas em campo. Com um número menor de colaborações, os bairros do Alto do Cemitério, Ranchinho e Jatobá também foram afetados pela inundação ocorrida em janeiro de 2016 (figura 32).

Figura 32. Mapa de distribuição das colaborações por bairro.



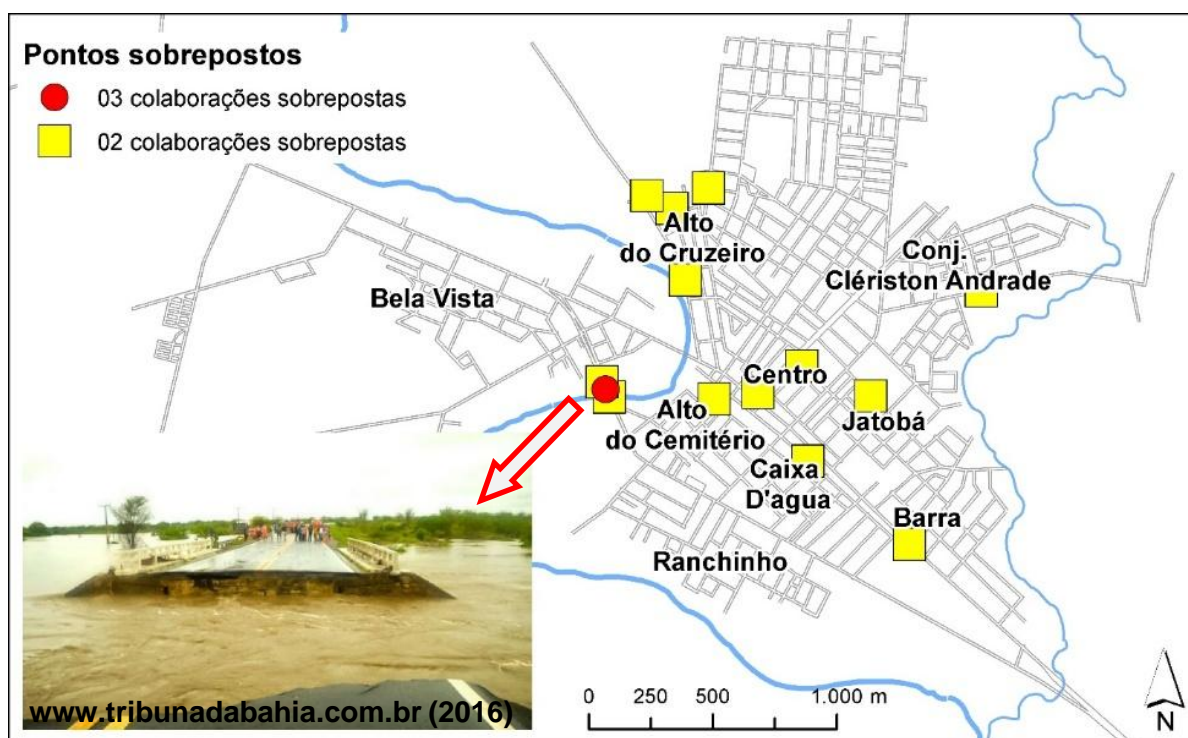
Fonte: O autor.

Por outro lado deve ser salientado que houve áreas não mapeadas pelos usuários, incluindo o bairro Loteamento São José, que também foi atingido pela inundação de acordo com informações obtidas em campo, indicando problemas de completeza da informação levantada pelo usuário. Assim recomenda-se a implementação de recursos voltados à cobertura espacial das informações, que garantam o levantamento de informações de toda a área de estudo.

Também foi observada a sobreposição de colaborações, quando o mesmo ponto foi informado por mais de um usuário. A sobreposição de informações, assim como a concentração de pontos próximos, representam os lugares que a maioria dos

usuários relacionou com a inundação ocorrida, sejam locais atingidos de forma mais severa ou pontos que não foram afetados pelo desastre (lugares seguros). A figura 33 apresenta os mapas de colaborações sobrepostas, nos quais é possível observar que há uma concentração de pontos no bairro do Alto do Cruzeiro, onde ocorreram os maiores danos pela inundação, e sobre a ponte que dá acesso à cidade, a qual foi destruída pelo evento.

Figura 33. Mapa de colaborações sobrepostas.



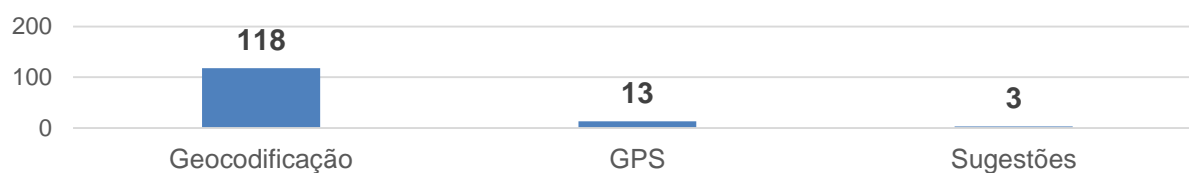
Fonte: O autor.

Além de representar os lugares que os usuários mais relacionam com a inundação, a sobreposição de informações colaboradas por diferentes usuários possibilita a avaliação da sua consistência. No sistema devem ser incluídas funcionalidades que identifiquem áreas não mapeadas pelos usuários, disponibilizando na tela de sugestões ou solicitando colaborações para os usuários a partir do envio de tarefas específicas. Para a utilização do sistema proposto em aplicações futuras recomenda-se o envolvimento de estudantes de várias escolas, incluindo também a possibilidade de testes com alunos do ensino fundamental, ampliando o número de colaboradores.

Assim, verificou-se que em relação a abrangência espacial das informações coletadas, a utilização do sistema por estudantes de ensino médio possibilitou que os objetivos do estudo de caso fossem alcançados, e gerou a especificação de novos requisitos para a concepção do aplicativo. Entretanto estes resultados dizem respeito apenas à cobertura espacial das informações, e não considera a sua consistência, analisada na próxima subseção.

O recurso de georreferenciamento mais utilizado foi geocodificação, responsável por 85% (118) das informações adicionadas pelos usuários, enquanto os recursos de georreferenciamento via GPS e Sugestões foram poucos explorados pelos usuários, como pode ser visto na figura 34. Neste aspecto seria necessário realizar grupos focais com os usuários para compreender os fatores que os levaram a utilizar massivamente o recurso de geocodificação.

Figura 34. Gráfico de distribuição das colaborações por recurso de georreferenciamento.



Fonte: O autor.

Assim como em aplicações correlatas, caracterizadas na revisão bibliográfica, foi percebido que o recurso de georreferenciamento de informações via geocodificação deve ser explorado em sistemas voltados para a coleta de VGI. O georreferenciamento de informações por meio do endereço é uma prática constante e tradicionalmente utilizada no contexto urbano quando se pretende informar a localização de algo, e por isso, os usuários possuem maior facilidade para utilizar o recurso. Nesse sentido também é importante considerar a inserção de recursos que possibilitem o georreferenciamento através de pontos notáveis como praças, estabelecimentos comerciais e outras referências espaciais que são utilizadas no cotidiano da população.

Entretanto, considerando a utilização do sistema no contexto escolar, deve ser incentivado o uso do recurso GPS principalmente para o levantamento de informações sobre lugares desconhecidos pelos alunos. Assim, além de possibilitar a coleta de mais informações através de pesquisas de campo, a utilização do recurso GPS pode

contribuir para o conhecimento territorial dos estudantes uma vez que serão incentivados a explorar e conhecer os efeitos da inundação em diferentes áreas da cidade. Sobre o recurso de sugestões, percebeu-se que ao invés de disponibilizar opções aleatórias de lugares, o sistema pode ofertar para os usuários pontos específicos, selecionados em função de critérios como áreas ainda não mapeadas pelos usuários e validação de informações já cadastradas.

4.2.4 Consistência das informações

Não foi possível especificar no sistema funcionalidades voltadas para a verificação da consistência dos dados, o que dificultou a realização desta etapa. Assim, utilizando estatística espacial buscou-se estabelecer um método para analisar de forma sistemática a consistência das informações coletadas, visando conceber novas funcionalidades voltadas para este quesito.

A análise da consistência dos dados foi realizada a partir da comparação entre informações sobrepostas (informações fornecidas por diferentes usuários sobre um mesmo ponto), e informações próximas nos raios 100 e 200 metros. O raio de validação das informações foi definido a partir do índice de Moran (CARVALHO, 1997), sendo identificadas para a área de estudo as distâncias de 100 e 200 metros, nas quais os dados possuem alta correlação espacial com índices a partir de 0,8. Para cada uma das distâncias definidas (sobrepostas, 100m e 200m), a validação das colaborações foi realizada a partir da diferença entre o número de informações que se assemelham a resposta do usuário e as divergências.

Para que uma informação sobreposta seja considerada como consistente é necessário que a diferença entre informações semelhantes e divergentes seja sempre igual ou maior que a média de colaborações realizadas de forma sobreposta no conjunto de dados. Ou seja, se em média cada ponto recebeu informações de 5 usuários, somente é considerada como consistente as informações cujas diferenças entre semelhanças e divergências seja igual ou superior a 5. Caso o número de colaborações semelhantes seja igual ou menor que o número de divergências, a colaboração é avaliada como inconsistente, e para valores intermediários entre 1 e a média (no caso 5), a informação é classificada como parcialmente consistente. Os pontos que não possuem colaborações sobrepostas são categorizados como “não foi possível avaliar”.

O mesmo critério foi adotado para os raios de 100m e 200m, de modo que se a partir de cada ponto é possível identificar em média 12 e 20 colaborações nas respectivas distâncias, esses valores médios são estipulados como o mínimo necessário para que uma informação seja considerada como validada. A tabela 12 apresenta na forma de exemplo um conjunto de 350 dados coletados por usuários, e como é feita a determinação da diferença mínima entre informações semelhantes e divergências, necessárias para que uma informação seja considerada como consistente.

Tabela 12. Determinação dos critérios de avaliação da consistência dos dados.

Colaboração	Nº de colaborações sobrepostas	Nº de colaborações no raio de 100m	Nº de colaborações no raio de 200m
P01	7	15	22
P02	2	8	0
P03	7	17	25
...
P350	6	11	32
Somatório	795	4.340	6.860
Média	5	12	20
Critérios de avaliação da consistência das informações			
Informações consistentes	Quando a diferença entre o número de informações semelhantes e divergências for igual ou superior a 5.	Quando a diferença entre o número de informações semelhantes e divergências for igual ou superior a 12.	Quando a diferença entre o número de informações semelhantes e divergências for igual ou superior a 20.
Informações inconsistentes	Quando a diferença entre o número de informações semelhantes e divergências for igual ou menor a 0.		
Informações parcialmente consistentes	Quando a diferença entre o número de informações semelhantes e divergências for maior que 0 e menor que 5.	Quando a diferença entre o número de informações semelhantes e divergências for maior que 0 e menor que 12.	Quando a diferença entre o número de informações semelhantes e divergências for maior que 0 e menor que 20.
Não foi possível avaliar	Quando o somatório de informações for igual a 0.		

Fonte: O autor.

A validação final das informações foi realizada através do cruzamento entre os resultados obtidos na validação parcial, observando o padrão de consistência das informações para os 03 critérios. Entende-se que o processo de avaliação da consistência de Informações Geográficas Voluntárias é complexo, e exige o desenvolvimento de pesquisas especificamente voltadas para este aspecto. Entretanto considerando a necessidade de avaliar a consistência das informações coletadas no estudo de caso, o método apresentado, embora simplificado, possibilitou uma avaliação preliminar das informações e pode ser considerado como um esboço para o desenvolvimento de funcionalidades para o sistema proposto.

Por outro lado, foi observado que entre as informações coletadas pelos usuários, algumas não puderam ser analisadas utilizando estatística espacial, embora tenha sido o único recurso disponível para avaliação sistemática da consistência dos dados. Na tabela 13 é possível observar que existe alta correlação espacial apenas para as informações sobre pontos atingidos pela inundação e cotas de inundação, enquanto que as informações sobre danos em móveis e eletrodomésticos apresentaram média correlação espacial, e as demais informações tiveram resultados próximos ou abaixo de 0, indicando correlação espacial baixa ou negativa.

Tabela 13. Correlação espacial das informações coletadas.

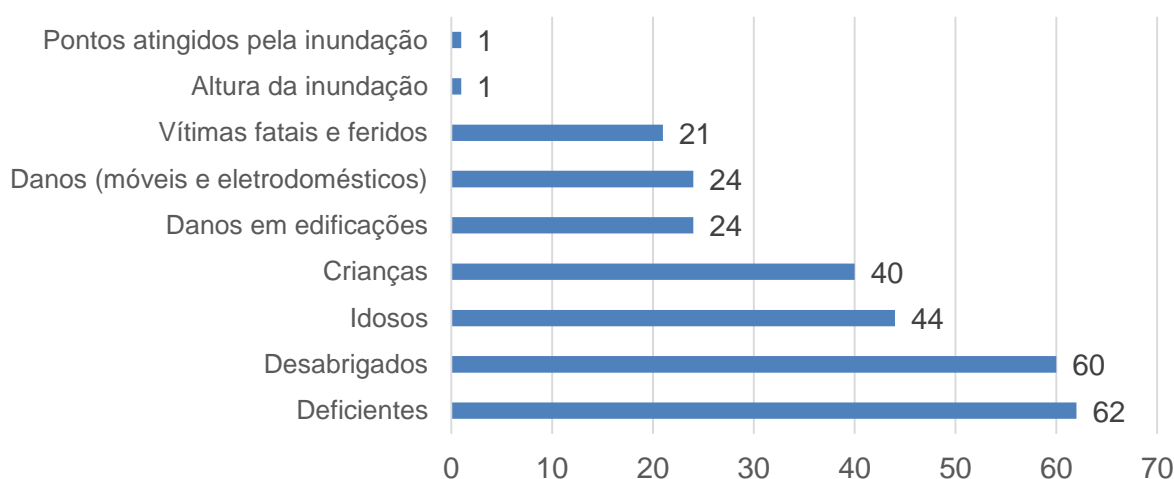
Informações coletadas pelos usuários	Índice de Moran		Correlação espacial
	Raio de 100 m	Raio de 200m	
Pontos atingidos pela inundação	0,88	0,85	Alta
Cota de inundação	0,84	0,79	Alta
Danos em móveis e eletrodomésticos	0,64	0,62	Média
Danos em edificações	0,42	0,40	Baixa
Desabrigados	0,24	0,22	Baixa
Deficientes	0,22	0,21	Baixa
Crianças	0,07	0,07	Baixa
Vítimas fatais ou feridos	-0,05	0,04	Negativa
Idosos	-0,27	-0,25	Negativa

Fonte: O autor.

Percebeu-se também que os estudantes tiveram mais dificuldade para fornecer informações sobre locais onde residem idosos, crianças, pessoas com deficiências motoras e potenciais desabrigados, como pode ser visto na figura 35. Assim, além dos fatores mencionados e considerando também que as informações sobre população vulnerável podem ser obtidas na base de dados do Censo Demográfico (IBGE), propõe-se que a coleta dessas informações seja excluída do sistema.

Em menores proporções, os usuários também tiveram dificuldades para fornecer dados sobre os danos causados pela inundação (figura 35). Entretanto, devido à indisponibilidade e a importância de informações sobre danos causados para a estimativa da intensidade de inundações, sugere-se que sejam reformuladas no sistema as funcionalidades voltadas para a sua coleta, como a implementação de recursos individualizados para a obtenção de informações sobre vítimas e feridos.

Figura 35. Gráfico de distribuição de informações não respondidas pelos usuários.



Fonte: O autor.

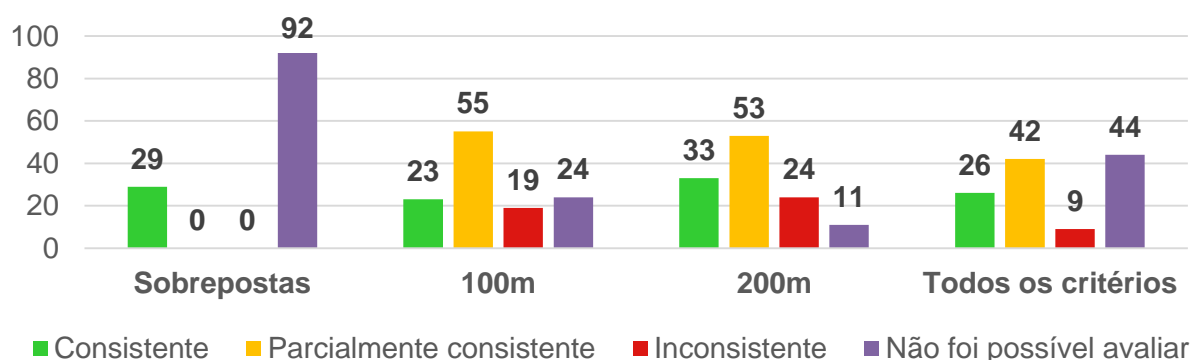
Assim, apenas a consistência das informações sobre os pontos que foram atingidos pela inundação e cotas de inundação informadas pelos usuários foram analisadas, enquanto as demais informações foram excluídas das análises e estão apresentadas apenas nos anexos.

Em relação ao mapeamento de pontos atingidos pela inundação, foi encontrado o valor médio de 01 colaboração sobreposta, ou seja, para cada colaboração realizada por um usuário, houve outra colaboração sobre o mesmo ponto. Nos raios de 100m e 200m o valor utilizado como parâmetro para a validação das informações foi quatro, indicando que no raio de 100m foi encontrada uma média de quatro colaborações, e

que o mesmo valor foi encontrado no raio de 200m. Esses valores indicam que embora abrangentes, como foi visto na seção anterior, houve um número reduzido de colaborações sobrepostas e que os as informações coletadas no estudo de caso foram espacialmente dispersas.

Na figura 36 é possível observar que o número reduzido de colaborações sobrepostas impossibilitou a validação da maioria das informações para este critério. Da mesma forma, a dispersão espacial dos dados acarretou num elevado número de informações que não puderam ser avaliadas ou que foram parcialmente validadas nas avaliações parciais e final, demonstrando a necessidade de ampliar o número de colaborações.

Figura 36. Gráfico de distribuição da consistência das informações sobre pontos atingidos pela inundação.

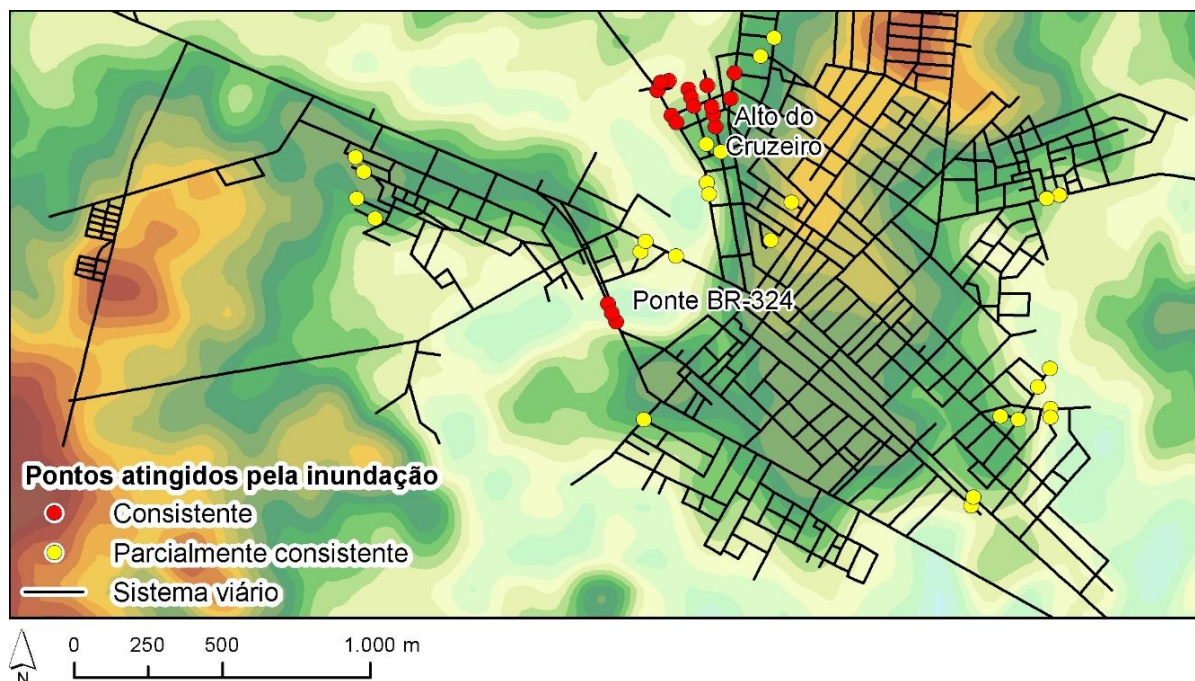


Fonte: O autor.

O número de informações consistentes foi superior as inconsistências em todos os critérios de avaliação, indicando que foi possível coletar informações consistentes, ainda que em baixo número, sobre os locais que foram atingidos pela inundação, e também sobre pontos que não foram afetados pelo evento. Foi observado que houve um maior número de informações colaboradas sobre lugares que foram atingidos pela inundação em relação aos pontos informados como locais que não foram afetados.

A ponte que dá acesso à cidade pela BR-324 e o bairro do Alto do Cruzeiro, locais afetados com maior intensidade pela inundação, tiveram o maior número de informações consistentes relacionadas aos locais atingidos. Na figura 37 é possível observar que existe coerência entre as informações classificadas como consistentes ou parcialmente consistentes em relação aos bairros atingidos pela inundação.

Figura 37. Mapa hipsométrico da área de estudo e pontos atingidos pela inundação classificados como consistentes e parcialmente consistentes.

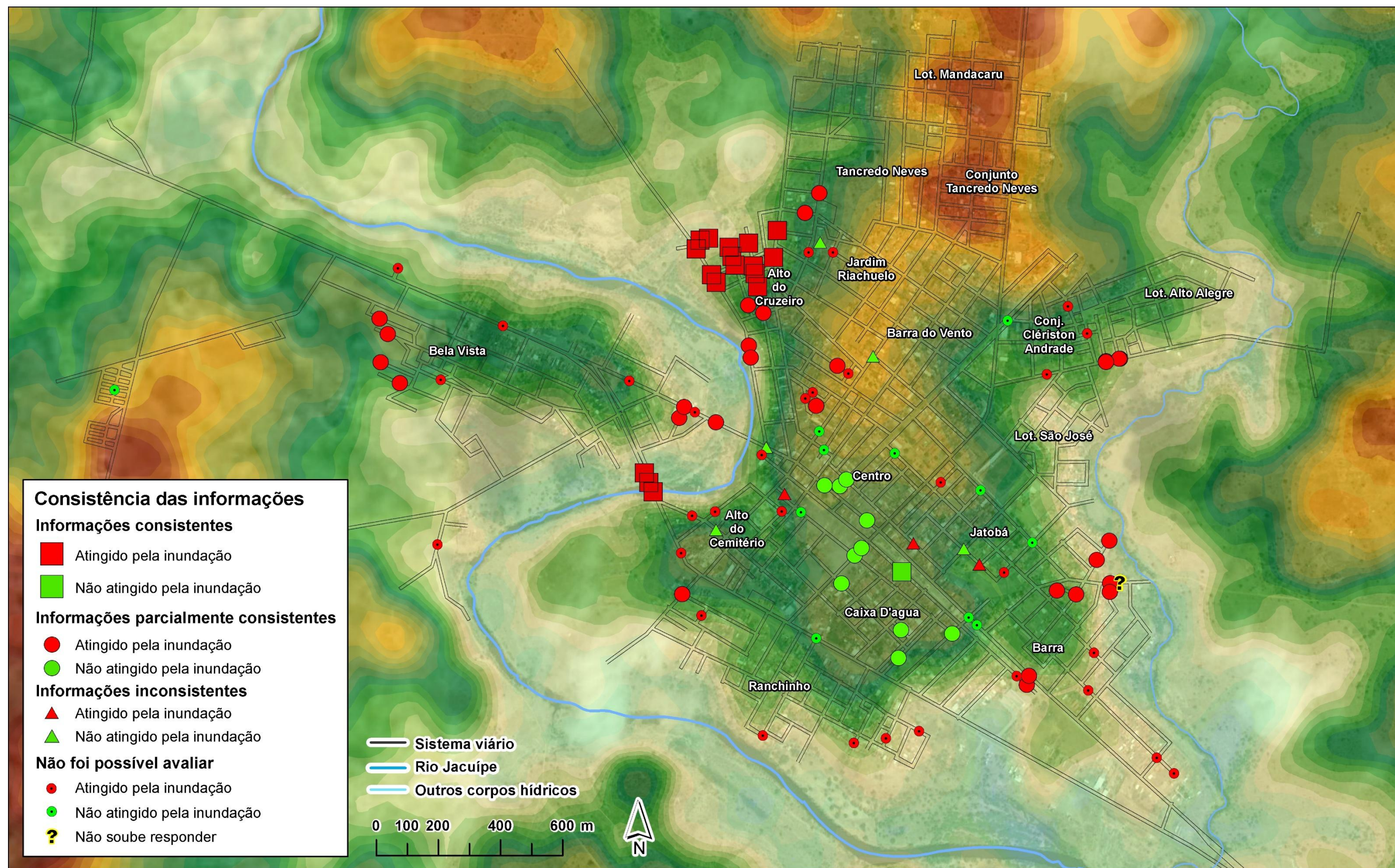


Fonte: O autor.

Esses resultados apontam que os requisitos especificados para a coleta destas informações foram validados, e demonstram também que os usuários foram capazes de mapear as principais áreas de riscos hidrológicos da cidade. Entretanto, deve-se mencionar que devido o número reduzido de colaborações, não foi possível validar a maioria das informações, incluindo os dados classificados como parcialmente consistentes. Também foi observado que o método de avaliação possibilitou a identificação de informações consistentes e da maioria das inconsistências, embora seja necessário realizar aprimoramentos e avaliações sobre os procedimentos. Após a remoção das informações inconsistentes, a correlação espacial dos dados evoluiu de 0,88 para 0,99 no raio de 100m e de 0,85 para 0,97 no raio de 200m.

Por fim, a figura 38 apresenta o mapa com todas as colaborações realizadas pelos usuários no que diz respeito aos pontos atingidos pela inundação, e respectiva avaliação de consistência. A partir da análise da figura 38, pode-se afirmar que embora um número elevado de informações não tenha sido avaliado por falta de dados sobrepostos ou próximos, as colaborações avaliadas como consistentes ou parcialmente consistentes demonstram coerência se analisadas em relação ao relevo da área estudada.

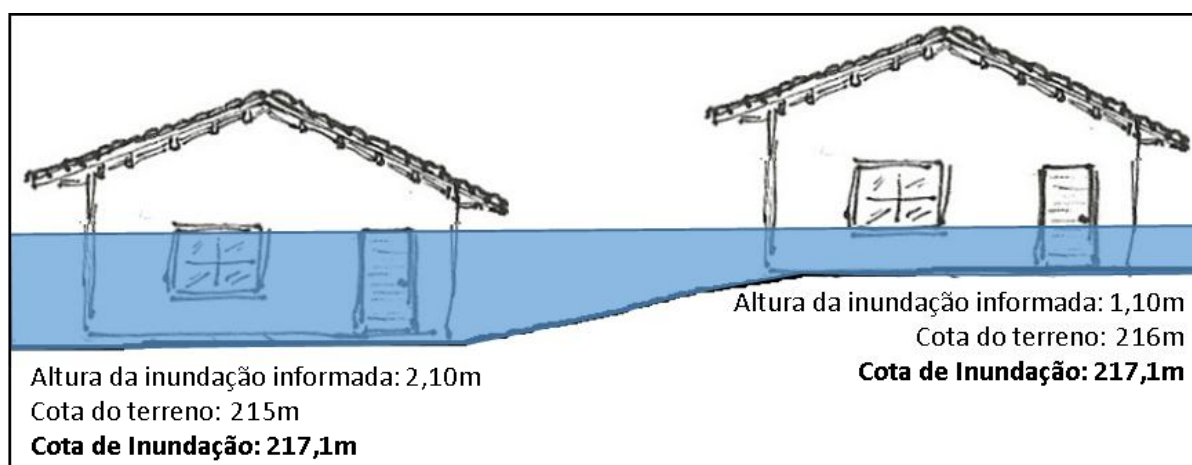
Figura 38. Mapa de informações sobre pontos atingidos pela inundação classificados por grau de consistência.



Fonte: O autor.

Para a avaliação da consistência da altura da inundação informada pelos usuários foi necessário realizar a sua conversão em cotas de inundação, como exemplificado na figura 39. Para isso foram utilizados dados altimétricos da área urbana de Riachão do Jacuípe obtidos através de imagens SRTM, os quais embora possuam baixa precisão para aplicações em escala local foram os únicos dados topográficos disponíveis para a área de estudo.

Figura 39. Conversão da altura da inundação coletada em cota de inundação.



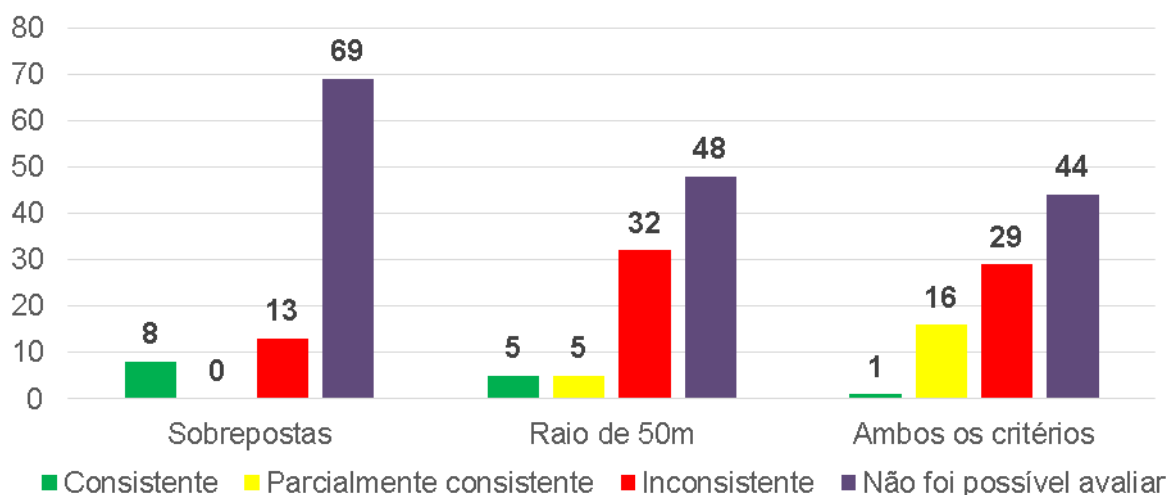
Fonte: O autor

Após a conversão em cotas de inundação, a avaliação da consistência dos dados foi realizada através da comparação entre informações sobrepostas e no entorno. Entretanto, considerando que cotas de inundação podem variar em curtas distâncias, a análise foi realizada apenas a partir de comparações entre informações fornecidas para um mesmo ponto (sobrepostas) e no entorno de 50 metros. Para que uma informação fornecida por um usuário fosse considerada semelhante com outras informações, foi considerado que a diferença entre os valores não fosse superior ou inferior a 0,5 metros. Ou seja, para uma cota de inundação de 210,5m, os valores informados por outros usuários no mesmo ponto e entorno não devem ser menores que 210m ou superiores a 211m, caso contrário os valores são considerados discrepantes. A margem de tolerância de 0,5m leva em consideração as inconsistências causadas pela precisão de imagens SRTM e também por ser um valor de erro aceitável em modelagens hidráulico-hidrológicas.

A partir dos resultados da análise de consistência foi identificado um número elevado de informações inconsistentes e de informações que não puderam ser

avaliadas (figura 40), seja pela ausência de colaborações sobrepostas ou no entorno. Considerando a consistência das informações nos dois critérios de análise, apenas 01 cota de inundação foi avaliada como consistente, sendo validada a partir de informações sobrepostas e também no entorno de 50 metros.

Figura 40. Gráfico de distribuição da consistência das informações sobre cotas de inundação.



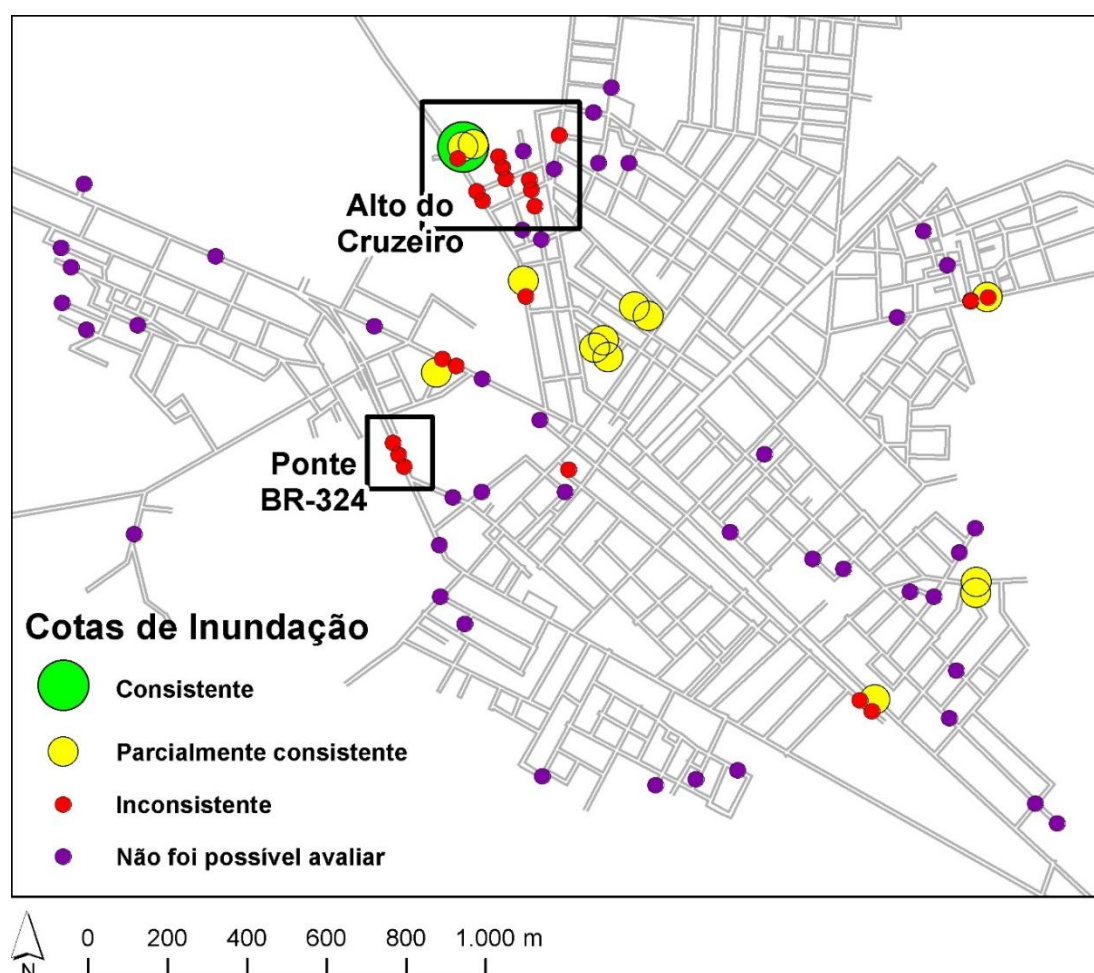
Fonte: O autor.

Foi observado que a análise de informações sobrepostas possibilitou a identificação de um número maior de cotas de inundação consistentes em relação a análise do entorno de 50m, demonstrando que para essa avaliação seria necessário um número maior de dados colaborados sobre um mesmo ponto. Por isso, recomenda-se que sejam implementados no sistema recursos voltados para ampliar o número de colaborações sobrepostas e no entorno por diferentes usuários, e assim, com um número maior de informações utilizadas nas análises comparativas é possível realizar uma avaliação mais criteriosa e consistente. Por outro lado coloca-se como necessário avaliar as informações em relação à dados levantados em campo ou resultados de modelagem hidráulica-hidrológica, levando em consideração que cotas de inundação podem variar bruscamente em curtas distâncias e também possíveis inconsistências geradas pela precisão de dados altimétricos extraídos de imagens SRTM.

A figura 41 apresenta o mapa com a distribuição espacial das cotas de inundação informadas pelos usuários, classificadas de acordo com a sua consistência.

No mapa é possível observar que a dispersão espacial das informações impossibilitou a avaliação da maioria das informações e que apenas uma cota de inundação, localizada no Alto do Cruzeiro, foi considerada como consistente para os dois critérios de avaliação utilizados. Também é possível identificar que as cotas de inundação fornecidas para a ponte localizada na BR-324 foram inconsistentes, ainda que esses locais tenham apresentado o maior número de informações consistentes no que diz respeito aos pontos atingidos pela inundação.

Figura 41. Mapa de informações sobre cotas de inundação classificadas pelo grau de consistência



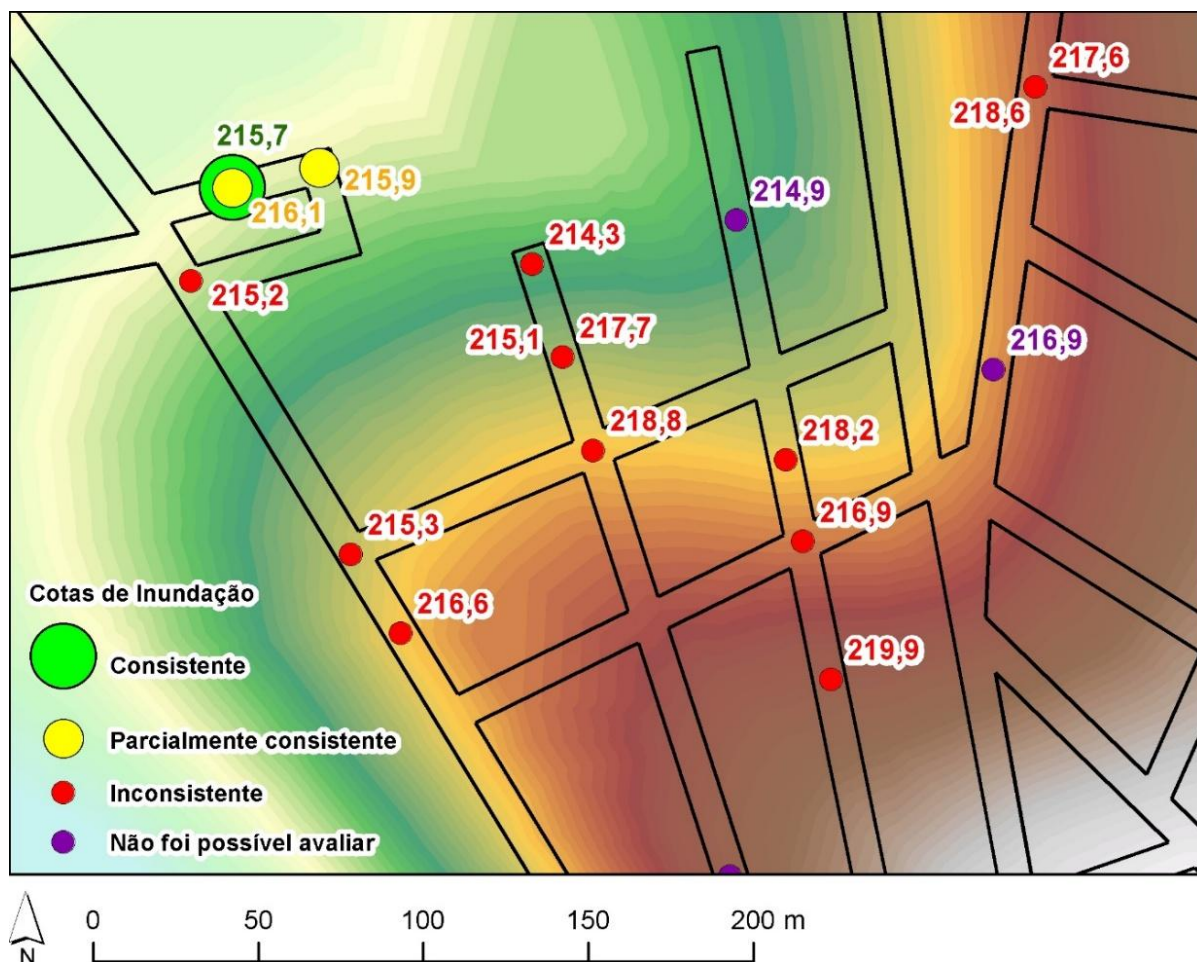
Fonte: O autor.

Para uma melhor compreensão desses resultados, as figuras 42 e 43 apresentam em detalhe as informações localizadas na ponte (BR-324) e no bairro do Alto do Cruzeiro, sendo possível observar as inconsistências encontradas entre os dados colaborados. Uma vez que o objetivo do estudo de caso é avaliar a concepção

do sistema, e não necessariamente os dados coletados, as demais cotas de inundação não foram analisadas em detalhe.

De acordo com o método utilizado, no bairro do Alto do Cruzeiro apenas uma cota de inundação foi avaliada como consistente e duas foram consideradas como parcialmente consistentes, enquanto que as demais apresentaram valores inconsistentes ou não puderam ser avaliadas (figura 42). Como pode ser observada na figura 42, a cota avaliada como consistente (215,7m) foi semelhante com as cotas sobrepostas e no entorno de 50m, as quais apresentaram diferenças no intervalo de -0,5m e 0,5m. A cota de valor 216,1m, avaliada como parcialmente consistente, teve valor semelhante à cota sobreposta (215,7m) e com uma cota no entorno de 50m (215,9m), mas foi discrepante com a cota 215,2m no raio de 50m. Por fim, a cota 215,9m foi semelhante aos dois valores no entorno de 50m (215,7m e 216,1m), mas não teve valores sobrepostos, sendo consistente apenas para 01 critério de avaliação.

Figura 42. Consistência das cotas de inundação no bairro do Alto do Cruzeiro.

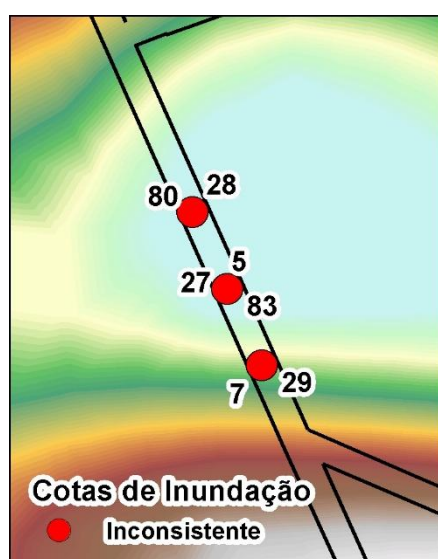


Fonte: O autor.

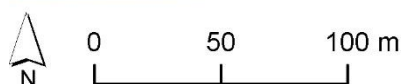
Na figura 42 também é possível observar as divergências encontradas nas cotas de inundação avaliadas como inconsistentes, as quais apresentaram valores discrepantes (com diferenças acima ou abaixo de 0,5m) em relação a informações sobrepostas ou no entorno de 50m. Além disso, foi observado que a dispersão espacial dos dados reduziu a capacidade de análise de consistência das informações.

A ponte (BR-324) teve a maior concentração de informações sobrepostas e no entorno de 50m, mas nenhuma cota de inundação informada foi avaliada como consistente. Percebeu-se que alguns usuários utilizaram o nível da ponte como referência altimétrica para informar a cota enquanto que outros determinaram a altura de inundação a partir do nível do rio (figura 43). Sobre isto, a utilização da figura de uma casa como referência altimétrica no sistema influenciou nessas inconsistências, sendo necessário inserir mecanismos que auxiliem os usuários a informar cotas de inundação independente dos elementos existentes no local ou de forma específica, apresentando diferentes opções de figuras ilustrativas adequadas ao contexto do ponto informado. Por fim, também foi observado que a conversão da altura informada pelo usuário em cotas de inundação através de imagens SRTM não pode ser aplicada para esse caso visto que o nível da ponte não está relacionado às cotas altimétricas do terreno.

Figura 43. Consistência das cotas de inundação na ponte (BR-324).



Ponto	Altura informada (m)	Cota do terreno (m)	Cota de inundação (m)
80	0,6	210	210,6
28	3,1	210	213,1
27	3,1	210	213,1
5	4,9	210	214,9
83	0,6	210	210,6
7	2,3	211,5	213,8
29	3,1	211,5	214,6



Fonte: O autor.

Não foi possível realizar a avaliação das cotas informadas pelos usuários em relação a valores reais, levantados em campo, ou com resultados obtidos por modelagem hidráulico-hidrológica, e assim a avaliação da consistência dos dados considera apenas a comparação entre valores informados. É possível que valores avaliados como inconsistentes representem valores consistentes em comparação com valores reais e vice-versa. Levando em consideração a avaliação do sistema, a análise de consistência das informações de forma comparativa demonstrou que o sistema necessita de ajustes para a coleta de cotas de inundação e que nos treinamentos os usuários devem ser instruídos com maior atenção sobre a coleta das informações.

4.2.5 Avaliação da concepção do sistema

A realização de testes do sistema por usuários no estudo de caso possibilitou a avaliação do aplicativo, identificando requisitos avaliados de forma positiva ou negativa e também a especificação de novos requisitos que não tinham sido previstos. Na tabela 14 são apresentadas de forma sistematizada as considerações e recomendações sobre as funcionalidades do sistema, obtidas a partir do estudo de caso e constituem assim os resultados finais da pesquisa.

Tabela 14. Considerações e recomendações sobre os requisitos do sistema.

Funcionalidades	Considerações	Recomendações
Cadastro de usuários	No protótipo, foram utilizadas apenas dados de identificação dos usuários, porém podem ser solicitadas informações que contribuam para a avaliação da reputação dos usuários.	Solicitar informações pessoais dos usuários que possam ser utilizadas para a mensurar a reputação.
Cadastro de informações sobre locais atingidos por inundações	As informações coletadas foram consistentes e permitiram a identificação das principais áreas afetadas pela inundação na área de estudo. Entretanto, foram encontrados alguns problemas como áreas não mapeadas, número reduzido de colaborações sobrepostas e informações espacialmente dispersas, dificultando a análise de consistência dos dados.	Implementar recursos para solicitar informações de lugares não mapeados pelos usuários e também de informações adicionais utilizadas na avaliação de consistência.

Continuação

Funcionalidades	Considerações	Recomendações
Cadastro de informações sobre o nível da inundação	As informações coletadas foram inconsistentes quando analisadas de forma comparativa. Entretanto, não foi possível avaliar a consistência dos dados em relação à valores levantados em campo ou resultados de modelagens hidrológicas.	Ajustar a funcionalidade e realizar novos testes uma vez que são informações importantes para a análise da intensidade de eventos hidrológicos e não estão disponíveis em bases de dados secundários.
Envio de fotografia sobre o nível da inundação	Embora não tenha sido implementado no protótipo utilizado no estudo de caso, alguns usuários mencionaram nos treinamentos que o aplicativo deveria conter funcionalidades para o envio de fotografias.	Manter a funcionalidade no sistema.
Cadastro de informações sobre impactos causados por inundações (feridos e vítimas fatais)	Alguns usuários não forneceram essas informações, e não foi possível avaliar a consistência uma vez que não foram levantados dados em campo e também porque são informações que não possuem correlação espacial, impossibilitando a avaliação comparativa.	Ajustar a funcionalidade e realizar novos testes uma vez que são informações importantes para a análise da intensidade de eventos hidrológicos e não estão disponíveis em bases de dados secundários.
Cadastro de informações sobre impactos causados por inundações (danos em móveis e eletrodomésticos)	Alguns usuários não forneceram essas informações, e não foi possível avaliar a consistência uma vez que não foram levantados dados em campo e também porque são informações que não possuem correlação espacial, impossibilitando a avaliação comparativa.	Ajustar a funcionalidade e realizar novos testes uma vez que são informações importantes para a análise da intensidade de eventos hidrológicos e não estão disponíveis em bases de dados secundários.
Cadastro de informações sobre impactos causados por inundações (danos em edificações)	Alguns usuários não forneceram essas informações, e não foi possível avaliar a consistência uma vez que não foram levantados dados em campo e também porque são informações que não possuem correlação espacial, impossibilitando a avaliação comparativa.	Ajustar a funcionalidade e realizar novos testes uma vez que são informações importantes para a análise da intensidade de eventos hidrológicos e não estão disponíveis em bases de dados secundários.

Continuação

Funcionalidades	Considerações	Recomendações
Cadastro de informações sobre população vulnerável (idosos)	A maioria dos usuários não forneceu essas informações.	Remover a coleta da informação no sistema uma vez estão disponíveis na base de dados do Censo Demográfico.
Cadastro de informações sobre população vulnerável (crianças)	A maioria dos usuários não forneceu essas informações.	Remover a coleta da informação no sistema uma vez estão disponíveis na base de dados do Censo Demográfico.
Cadastro de informações sobre população vulnerável (deficientes físicos)	A maioria dos usuários não forneceu essas informações.	Remover a coleta da informação no sistema uma vez estão disponíveis na base de dados do Censo Demográfico.
Cadastro de informações sobre população vulnerável (potenciais desabrigados)	A maioria dos usuários não forneceu essas informações.	Remover a coleta da informação no sistema uma vez estão disponíveis na base de dados do Censo Demográfico.
Georreferenciamento de informações cadastradas via geocodificação	Foi o recurso de georreferenciamento mais utilizado pelos usuários no estudo de caso. Entretanto, os usuários mencionaram que as imagens do <i>Google Street View</i> estavam desatualizadas e dificultaram a identificação visual dos lugares.	Ajustar a funcionalidade de modo que seja possível cadastrar informações através do endereço, mas sem utilizar imagens dos lugares.
Georreferenciamento de cadastradas informações via GPS	O recurso foi pouco utilizado pelos usuários, porém é um recurso importante para a coleta de informações de lugares que não estão presentes na base de endereços.	Manter a funcionalidade no sistema e incentivar os estudantes para a realização de levantamentos em campo utilizando o recurso.
Consulta de sugestões de pontos para o cadastro de informações	O recurso foi pouco utilizado pelos usuários, porém verificou-se a possibilidade de utilização da funcionalidade para solicitar informações de lugares específicos para os usuários.	Ao invés de fornecer sugestões de lugares aleatórios, implementar o recurso no sistema para a solicitação de informações sobre áreas não mapeadas pelos usuários ou para a validação de informações sobrepostas e entorno.

Fim.

Funcionalidades	Considerações	Recomendações
Envio de tarefas específicas pelo sistema para os usuários	Embora não tenha sido implementado no protótipo utilizado no estudo de caso, verificou-se a necessidade de solicitar informações de lugares específicos para os usuários.	Implementar o recurso no sistema para a solicitação de informações sobre áreas não mapeadas pelos usuários ou para a validação de informações sobrepostas e entorno.
Visualização em mapa das informações cadastradas	Não foi possível avaliar o recurso, mas é uma função importante para a divulgação dos dados coletados pelos usuários.	Manter a funcionalidade no sistema.
Visualização de <i>ranking</i> de usuários em relação ao número de colaborações realizadas	Embora não tenha sido implementado no protótipo utilizado no estudo de caso, não sendo possível avaliar, é uma funcionalidade importante para a motivação dos usuários.	Manter a funcionalidade no sistema.
Interface minimalista	A interface do aplicativo foi validada de forma positiva pelos usuários, os quais mencionaram nos questionários que o sistema é intuitivo e de fácil utilização.	Realizar testes de usabilidade para a implementação de melhorias.
Utilização de figuras ilustrativas e símbolos		
Linguagem do texto adequada ao perfil do usuário		
Operar em modo <i>off-line</i>	Embora previsto na concepção, o recurso não foi implementado no protótipo. Para os usuários, a necessidade de conexão com a <i>internet</i> para a utilização do sistema foi o principal problema e aspecto negativo encontrado.	O aplicativo deve operar também em modo <i>off-line</i> .
Compatível com <i>smartphones</i>	Foram encontrados apenas 3 casos de problemas relacionados ao dispositivo: 01 estudante não possuía <i>smartphone</i> , e em 02 casos a resolução do sistema não estava compatível com as dimensões da tela do dispositivo. Entretanto, pode-se considerar o desenvolvimento do sistema também para acesso em computadores.	Desenvolver o aplicativo para computadores e também de forma compatível com os sistemas operacionais Android, Windows Phone e IOS; Tornar o aplicativo responsivo considerando as dimensões do <i>display</i> dos principais <i>smartphones</i> populares.

Fonte: O autor.

5 CONCLUSÕES

A pesquisa como um todo apresenta conceitos, abordagens e reflexões acerca da aplicação de VGI na gestão de riscos hidrológicos, consistindo num arcabouço teórico-metodológico que pode servir como referência para trabalhos futuros, além de contribuir para a disseminação dessas práticas atualmente em ascensão.

O sistema concebido possibilitou o mapeamento preliminar de áreas de riscos hidrológicos a partir da identificação dos locais atingidos pela inundação na área de estudo. Entretanto, os dados coletados sobre a intensidade do evento (altura da inundação e danos causados) e sobre a população vulnerável não foram consistentes, ou porque não foram informados pelos usuários ou por apresentarem um baixo número de informações validadas.

Sobre este aspecto, foi observado que as informações de vulnerabilidade embora tratem especificamente de informações relacionadas ao cotidiano dos usuários, tiveram o menor número de colaborações. Assim, foi identificada necessidade de priorizar a coleta de dados sobre ameaças hidrológicas uma vez que estas informações não estão disponíveis em bases de dados como o Censo Demográfico, e também por demandarem mais recursos, sobretudo financeiros, no mapeamento de áreas de riscos hidrológicos.

Entre os principais problemas detectados na concepção do sistema, percebeu-se a necessidade implementar funcionalidades que potencializem o número de informações sobrepostas e no entorno imediato, ampliando a cobertura espacial dos dados e gerando abundância de dados para a realização de análises comparativas de consistência. Por outro lado, foram detectadas situações nas quais um mesmo usuário realizou duas colaborações sobre um ponto idêntico, causando interferências na análise das informações. Assim, é necessário implementar também recursos que impossibilitem esse tipo de situação, de forma que um mesmo usuário não possa realizar mais de uma colaboração sobre um mesmo ponto, e sendo permitido apenas a modificação de colaborações já realizadas.

Foi identificado que a confiabilidade das informações colaboradas, a motivação dos usuários e a usabilidade da plataforma são os principais aspectos que devem ser considerados no desenvolvimento de sistemas baseados em VGI, de modo que desde a sua concepção, o sistema deve estar adequado ao perfil dos usuários. Sobre a confiabilidade, foi observada a necessidade de implementar mecanismos para a

avaliação da consistência dos dados, seja através de análises comparativas entre dados fornecidos por diferentes usuários ou a partir da reputação dos colaboradores. Recomenda-se o levantamento de informações sobre os usuários que possam ser utilizadas para a avaliação da sua reputação, e a estruturação de metodologias de análise comparativa dos dados, possibilitando a avaliação automatizada das informações e exigindo observações manuais apenas em casos específicos. Também foi observada a necessidade de implementar funcionalidades que permitam a utilização dessas ferramentas ainda que o usuário não esteja conectado à *internet* no momento da sua utilização, sendo esse um dos principais fatores mencionado pelos usuários.

Tendo em vista que apenas 16 usuários foram responsáveis pelo total de informações coletadas, os resultados da pesquisa demonstram a viabilidade de utilização do sistema por estudantes de ensino médio e a sua aplicação no contexto de municípios de pequeno porte, ainda que seja necessário realizar ajustes no sistema para contornar os problemas identificados. Por outro lado, menos de 50% dos participantes realizaram colaborações durante estudo de caso, demonstrando que a motivação foi um problema encontrado na utilização do sistema. Para futuras aplicações do aplicativo no contexto escolar sugere-se que mais escolas sejam envolvidas, incluindo também estudantes de ensino fundamental, e que as atividades de campanha seja realizadas no primeiro semestre letivo. Recomenda-se também que as atividades sejam realizadas de forma contínua, envolvendo outras atividades relacionadas, e que a participação dos estudantes e professores seja ampliada para além da coleta de informações colaborativas.

Constatou-se a necessidade de realizar grupos focais com os participantes do estudo de caso visando obter uma avaliação qualitativa aprofundada do sistema e dos fatores que interferiram na motivação e na consistência dos dados, obtendo informações que não foram contempladas nos questionários de avaliação. Além disso, recomenda-se o levantamento de informações em campo sobre a inundação mapeada no estudo de caso, de modo que sejam realizadas avaliações de consistência dos dados coletados a partir de informações oficiais, sobretudo das informações que não foram analisadas na pesquisa.

Entre as principais dificuldades encontradas para o desenvolvimento do trabalho destacou-se a necessidade de envolver outros profissionais/pesquisadores, sobretudo no desenvolvimento do protótipo utilizado no estudo de caso. Entretanto,

considerando que os objetivos do trabalho estão relacionados à concepção do sistema, e não abrangem o seu desenvolvimento, esta limitação não impossibilitou que os objetivos fossem alcançados. Os resultados da pesquisa apresentam a arquitetura de um sistema colaborativo de áreas de riscos hidrológicos e também recomendações para a sua melhoria, possibilitando que desenvolvedores de *software* possam realizar a sua materialização.

Por fim, foi constatada a importância de desenvolver aplicações baseadas em VGI para municípios de pequeno porte uma vez que, de modo geral, esse municípios carecerem de recursos técnicos e financeiros para a realização de mapeamentos de áreas de riscos. Nesse sentido a pesquisa demonstrou a viabilidade de realização de mapeamentos de forma colaborativa, utilizando para isso a escola como grupo principal de colaboradores. Entretanto, embora tenham sido identificados diversos fatores positivos sobre o desenvolvimento de sistemas baseados em VGI, deve-se considerar que a concepção do sistema é apenas um dos instrumentos envolvidos na promoção da participação social. Para a sua garantia, é necessário ampliar a participação da sociedade para além da coleta de dados, envolvendo os participantes nas demais etapas do processo e principalmente na tomada de decisões, conforme aponta Haklay (2013) quando se refere à sua desilusão com os resultados obtidos, até então, em metodologias de mapeamento baseadas em colaborações.

6 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

- Concepção de sistema baseado em VGI para o mapeamento colaborativo de áreas de riscos de deslizamentos e desmoronamentos.
- Concepção de sistema baseado em VGI para o mapeamento colaborativo de logradouros e delimitação de bairros.
- Determinação de fatores socioeconômicos para avaliação da reputação de usuários de sistemas de informações geográficas voluntárias.
- Avaliação de perfis de usuários de sistemas de informações geográficas voluntárias.
- Metodologia de avaliação de consistência de VGI.

7 REFERÊNCIAS

ALABYAN, A. M. et al. Development of intelligent information systems for operational river-flood forecasting. **Herald of the Russian Academy of Sciences**, v.86, p.24-33, 2016.

ALBUQUERQUE, J. P. et al. A Geographic Approach for Combining Social Media and Authoritative Data towards Identifying Useful Information for Disaster Management. **International Journal of Geographical Information Science**, 2015.

BAHIA. **Mapeamento preliminar de áreas de riscos hidrológicos no Córrego Dois Irmãos, Lauro de Freitas/Bahia**. Secretaria de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia, SEDUR, 2013

BIMONTE, S. et al. A New Spatial OLAP Approach for the Analysis of Volunteered Geographic Information. **Journal of Computers, Environment and Urban Systems**, 2014, v.48, p.111–123.

BRANDÃO, A. C. et al. **O MDT como Subsídio para o Planejamento Urbano – Estudo de Caso: Lajedinho/BA**. São Paulo: MundoGEOXperience – Maratona de Ideias Geográficas, 2014. Disponível em: <http://mundogeoexperience.com/2014/arquivos/palestras/7_mai-lajedinho.pdf>. Acesso em: 18 out 2014.

BRASIL. **Lei N. 10.257, de 10 de julho de 2001**. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/l10257.htm. Acesso em: 21 out 2014.

BRASIL. **Capacitação em Mapeamento e Gerenciamento de Risco**. Brasília: Ministério das Cidades, 2004.

BRASIL. **Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia para Elaboração de Políticas**. Brasília: Ministério das Cidades/Cities Alliance, 2006.

BRASIL. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios**. Brasília: Ministério das Cidades/Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007.

BRASIL. **Lei N. 12.608, de 10 de abril de 2012**. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC; Dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil – SINCDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil – CONPDEC. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12608.htm>. Acesso em: 04 jun 2015.

BRAVO, J. V. M.; SLUTER, R. C. O problema da qualidade de dados espaciais na era das Informações Geográficas Voluntárias. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v.21, p.56-73, 2015.

BRITO, P. L. et al. Official crime data versus collaborative crime mapping at a Brazilian city. **ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. XL-2, p.137-144, 2014.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M.; DAVIS, C. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2003.

CANÇADO, V. L. **Consequências econômicas das inundações e vulnerabilidade: Desenvolvimento de metodologia para avaliação do impacto nos domicílios e na cidade**. Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), 2009.

CARVALHO, M. S. **Aplicação de métodos de análise espacial na caracterização de áreas de risco à saúde**. Doutorado em Engenharia Biomédica da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), 1997.

CASTELEIN, W. T. et al. **A Characterization of Volunteered Geographic Information**. In: 13th AGILE International Conference on Geographic Information Science, 2010.

CASTRO, A. L. C. **Glossário de Defesa Civil, estudos de risco e medicina dos desastres**. 5ª Edição. Brasília: SEDEC/MI, 2009.

CHINGOMBE, W. et al. A participatory approach in GIS data collection for flood risk management, Muzarabani district Zimbabwe. **Arabian Journal of Geosciences**, 2014.

COBRADE. **Classificação e Codificação Brasileira de Desastres**.

COLEMAN, D. J.; GEORGIADOU, Y.; LABONTE, J. Volunteered Geographic Information: The Nature and Motivation of Producers. **International Journal of Spatial Data Infrastructures Research**, v.4, 2009.

CROOKS, A; WISE, S. GIS and agent-based models for humanitarian assistance. **Computers, Environment, and Urban Systems**, v.41, p.100-111, 2013.

CRUTCHER, M.; ZOOK, M. Placemarks and Waterlines: Racialized Cyberscapes in Post Katrina Google Earth. **GeoForum**, v.40, n.4, p.523-534, 2009.

DEGROSSI, L.C. et al. **Flood Citizen Observatory: a crowdsourcing-based approach for flood risk management in Brazil**. 26th International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering, Vancouver, Canada, 2014.

DORN, H.; VETTER, M.; HÖFLE, B. GIS-Based Roughness Derivation for Flood Simulations: A Comparison of Orthophotos, LiDAR and Crowdsourced Geodata. **Remote Sensing**, v.6, n.2, p.1739-1759, 2014.

DOURADO, F.; ARRAES, T. C.; SILVA, M. F. O Megadesastre da Região Serrana do Rio de Janeiro: as causas do evento, os mecanismos dos movimentos de massa e a distribuição espacial dos investimentos de reconstrução no pós-desastre. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, Rio de Janeiro, vol.35, n.2, pp. 43-54, 2012.

DYKE, G. et al. Dream project: Applications of earth observations to disaster risk management. **Acta Astronautica**, v.68, n.1, p.301-315, 2010.

ECKHARDT, R. R. **Geração de modelo cartográfico aplicado ao mapeamento das áreas sujeitas às inundações urbanas na cidade de Lajeado / RS**. Mestrado em Sensoriamento Remoto da Universidade Federal do Rio Grande Do Sul – UFRGS, 2008.

EIRD/ONU. **Glossário da Estratégia Internacional para a Redução de Desastres**. disponível em: <<http://www.fiocruz.br/vpaaps/media/GLOSSARIOREDUCAODESATRES.pdf> >. acesso em: 18 out. 2016.

EIRD/ONU. **Estratégia internacional para la reducción de Desastres de las américas**. 2004.

EIRD/ONU. **Marco de Ação de Hyogo 2005-2015: Aumento da resiliência das nações e das comunidades frente aos desastres**, 2007.

ELWOOD, S. Volunteered geographic information: key questions, concepts and methods to guide emerging research and practice. **GeoJournal**, v.72, p.133-135, 2008.

ESMAIL, R.; NAESER F.; ESMAIL, A. Quality assessment of Volunteered Geographic Information. **American Journal for Geographic Information System**, v.2, n.2, p.19-26, 2013.

EVERS, M. et al. Collaborative modelling for active involvement of stakeholders in urban flood risk management. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, 2012.

FAZELI, H. R. et al. A study of Volunteered Geographic Information (VGI) assessment methods for flood hazard Mapping: a review. **Jurnal Teknologi (Sciences e Engineering)**, v.75, n.10, p.127-134, 2015.

FORESTI, G.L., FARINOSI, M., VERNIER, M. Situational awareness in smart environments: socio-mobile and sensor data fusion for emergency response to disasters. **Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing**, 2014.

GATRELL, A. C. Concepts of space and geographical data. In: Longley, P. A.; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W. **Geographic Information Systems and Science**. Inglaterra: John Wiley e Sons, 2001.

GOERL, R. F.; KOBİYAMA, M.; PELLERIN, J. R. G. M. Proposta metodológica para mapeamento de áreas de risco a inundação: estudo de caso do município de Rio Negrinho – SC. **Boletim de Geografia**, v.30, n.1, 2012.

GOERL, R.F.; KOBİYAMA, M. **Considerações sobre as Inundações no Brasil**. Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2005.

GOODCHILD, M. F. Citizens as sensors: the world of volunteered geography. **GeoJournal**, v.69, p.211-221, 2007.

GOODCHILD, M. F. NeoGeography and the nature of geographic expertise. **Journal of Location Based Services**, v.3, n.2, p.82-96, 2009.

GOODCHILD, M. F.; GLENNON, J. A. Crowdsourcing geographic information for disaster response: a research frontier. **International Journal of Digital Earth**, v.3, p.231 — 241, 2010.

GRZELAK, D.; KWINTA, A. A comparison of interpolation methods for flood zones adjacent to a stream, **Geomatics, Landmanagement and Landscape**, n.3, p.49–58, 2013.

GUIMARÃES, R. B.; GUERREIRO J. A. S.; PEIXOTO, J. A. S. Considerações sobre os riscos ambientais e urbanos no tocante aos desastres e emergências. **VERACIDADE**, Salvador, v.4, n.7, p. 51-65, mai 2008.

JHA, A. K.; LAMOND, R. B. J. **Cidades e Inundações - Um guia para a Gestão Integrada do Risco de Inundação Urbana para o Século XXI - Um Resumo para os Formuladores de Políticas**. THE WORLD BANK " Editoração: Joaquin Toro e Frederico Ferreira Pedroso Banco Mundial / Escritório de Brasília ", 2012.

HAKLAY, M. How good is volunteered geographical information? A comparative study of OpenStreetMap and Ordnance Survey datasets. **Environment and Planning B**, v.37, n.4, p.682 -703, 2010.

HAKLAY, M. Neogeography and the delusion of democratisation. **Environment and Planning**, v.45, p. 55-69, 2013.

HAKLAY, M.; ZAFIRI, A. Usability Engineering for GIS: Learning From A Screenshot. **The Cartographic Journal**, v.45, n.2, p.87-97, 2009.

HEIPKE, C. Crowdsourcing geospatial data. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v.65, n.6, p.550-557, 2010.

HERFORTH, B. et al. **Exploring the geographical relations between social media and flood phenomena to improve situational awareness: A study about the River Elbe Flood in June 2013**. 17th AGILE Conference on Geographic Information Science: Connecting a Digital Europe through Location and Place, 2014.

HIRATA, E. et al. Mapeamento dinâmico e colaborativo de alagamentos na cidade de São Paulo. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v.19, p.602-623, 2013.

HIRATA, E. et al. Flooding and inundation collaborative mapping – use of the Crowdmapp/Ushahidi platform in the city of Sao Paulo, Brazil. **Journal of Flood Risk Management**, 2015.

HORA, S. B. **Mapeamento e avaliação do risco a inundação do rio Cachoeira em trecho da área urbana do município de Itabuna – BA**. Mestrado em Desenvolvimento Regional e meio Ambiente da Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus (BA), 2009.

HORITA, F. E. A. et al. Development of a spatial decision support system for flood risk management in Brazil that combines volunteered geographic information with wireless sensor networks. **Computers e Geosciences**, v.80, 2015.

HORITA, F. E. A. et al. **The use of Volunteered Geographic Information and Crowdsourcing in Disaster Management: a Systematic Literature Review**. In: AMCIS 2013, 2013, Chicago, Illinois. Proceedings of the Nineteenth Americas Conference on Information Systems, Atlanta, USA, 2013.

HUMANITARIAN OSM TEAM. **Progress of Openstreetmap Haiti coverage after 2010 earthquake**. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=OF-JuFxDt8>>. Acesso em: 17 abr. 2016.

HUNG, K.; KALANTARI, M.; RAJABIFARD, A. Methods for assessing the credibility of volunteered geographic information in flood response: A case study in Brisbane, Australia. **Applied Geography**, v.68, p.37-47, 2016.

INSTRUÇÃO NORMATIVA. **N. 1, de 24 de agosto de 2012**. Diário Oficial da União. Seção 1, n. 169, quinta-feira, 30 de agosto de 2012.

KAMEL BOULOS, M. N. Web GIS in practice III: creating a simple interactive map of England's Strategic Health Authorities using Google Maps API, Google Earth KML, and MSN Virtual Earth Map Control. **International Journal of Health Geographics**, v.4, n.22, 2005.

KAMEL BOULOS, M.N. et al. Crowdsourcing, citizen sensing and sensor web technologies for public and environmental health surveillance and crisis management: trends, OGC standards and application examples. **International Journal of Health Geography**, 2011.

KEMP, R. B. Public participatory GIS in community-based disaster risk reduction. **Triple CCognition**, Communication, Co-operation, v.6, n.2, p.88-104, 2008.

KLONNER, C. et al. Updating digital elevation models via change detection and fusion of human and remote sensor data in urban environments. **International Journal of Digital Earth**, v.8, n.2, p.153-171, 2015.

KOSWATTE, S.; MCDUGALL, K.; LIU, X. **SDI and Crowdsourced Spatial Information Management Automation for Disaster Management**. Geospatial Crowdsourcing and VGI: Establishment of SDI e SIM (FIG Commission 3 Workshop), Bologna, Italy, 2014.

- KRISHNA MURTHY, Y. V. N. et al. Capacity Building for collecting primary data through Crowdsourcing - An Example of Disaster affected Uttarakhand State (India). **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v.XL-8, p.1249-1252, 2014.
- KUNWAR, B.; SIMINI, F.; JOHANSSON, A. Large scale pedestrian evacuation modeling framework using volunteered geographical information. **Transportation Research Procedia**, v.2, p.813-818, 2014.
- LIU, S. B. Crisis Crowdsourcing Framework: Designing Strategic Configurations of Crowdsourcing for the Emergency Management Domain. In: **Computer Supported Cooperative Work (CSCW)**, 2014.
- LIU, S. B.; PALEN, L. The new cartographers: Crisis map mashups and the emergence of neogeographic practice. **Cartography and Geographic Information Science**, v.37, p.69-90, 2010.
- LONGUEVILLE, B. D. et al. Citizens as sensors for natural hazards: A VGI integration workflow. **Geomatica**, v.64, p.41-59, 2010.
- MAGUIRE, D. J. An overview and definition of GIS. In: Longley, P. A.; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W. **Geographic Information Systems and Science**. Inglaterra: John Wiley e Sons, 2001.
- MANSILLA, E. **Riesgo y Ciudad**. Cidade do México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2000. Disponível em: <<http://www.desenredando.org/public/libros/2000/ryc/>>. Acesso em: 20 out. 2014
- MASKREY, A. (Org). **Navegando entre brumas. La aplicación de los sistemas de información geográfica al análisis de riesgo en América Latina**. Lima: ITDG - Red de Estudios Sociales em Prevención de Desastres em América Latina, 1998.
- MENDONÇA, A. L. A.; DELAZARI, L. S. **Análise da usabilidade em interfaces para SIG: fatores que afetam o desempenho**. IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife – PE, 2012.
- MERKURYEVA, G. et al. Advanced river flood monitoring, modelling and forecasting. **Journal of Computational Science**, v.10, p.77-85, 2015.
- MOREIRA, R. B.; DEGROSSI, L. C.; ALBUQUERQUE, J. P. **An experimental evaluation of a crowdsourcing-based approach for flood risk management**. 12th Workshop on Experimental Software Engineering (ESELAW), Lima, Peru, 2015.
- O'REILLY, T. **What is web 2.0: design patterns and business models for the next generation of software**. O'Reilly Publishing, 2005.
- OZKAN, S. P.; TARHAN, C. Detection of flood hazard in urban areas using GIS: Izmir Case. **Procedia Technology**, v.22, p.373-381, 2016.

PARKER, C. J. **A Human Factors Perspective on Volunteered Geographic Information**. Tese de doutorado. Loughborough University, Inglaterra, 2012.

PETERS, R.; ALBUQUERQUE, J. P. **Investigating images as indicators for relevant social media messages in disaster management**. 12th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management (ISCRAM). Kristiansand, Norway, 2015.

PETERSON, M. P. **A decade of maps and the internet**. In: XXII International Cartographic Conference, A Coruña, International Cartographic Association, Spain, 2005.

POSER, K; DRANSCH, D. Volunteered geographic information for disaster management with application to rapid flood damage estimation. **Geomatica**, v.64, n.1, p.89-98, 2010.

RIBEIRO, J. C.; LIMA, L. B. Mapas colaborativos digitais e (novas) representações sociais do território: uma relação possível. **Ciberlegenda**, v.25, p.38-47, 2011.

RIJCKEN, T.; STIJNEN, J.; SLOOTJES, N. "SimDelta"-Inquiry into an *Internet*-Based Interactive Model for Water Infrastructure Development in The Netherlands. **Water**, v.4, p.295-320, 2012.

ROCHE, S. et al. WikiGIS Basic Concepts: Web 2.0 for Geospatial Collaboration. **Future Internet**, v.4, p.265-284, 2012.

ROCHE, S.; PROPECK-ZIMMERMANN, E.; MERICKSKAY, B. GeoWeb and crisis management: issues and perspectives of volunteered geographic information. **GeoJournal**, 2011.

ROLNIK, R. O sonho possível do povo oprimido nas vilas, filas, favelas...**Diálogos & debates da Escola Paulista de Magistratura**, n.1, ed.5, p.58-61, 2001.

SAUERESSIG, S. R. **Zoneamento das áreas de risco a inundação da área urbana de Itaquí – RS**. Mestrado em Geografia e Geociências da Universidade Federal de Santa Maria, 2012.

SCHADE, S. et al. Citizen-based sensing of crisis events: sensor web enablement for volunteered geographic information. **Applied Geomatics**, 2013.

SCHAFER, W. A.; GANOE, C. H.; CARROLL, J. M. Supporting Community Emergency Management Planning through a Geocollaboration Software Architecture. **Computer Supported Cooperative Work (CSCW)**, v.16, p.501-537, 2007.

SCHELHORN, S. J. et al. **Identifying Elements at Risk from OpenStreetMap: The Case of Flooding**. 11th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management (ISCRAM), Pennsylvania, EUA, 2014.

SCHIMIGUEL, J. M.; BARANAUSKAS, C. C.; MEDEIROS, C. B. **Usabilidade de Aplicações SIG Web na Perspectiva do Usuário: um Estudo de Caso**. VII Simpósio Brasileiro de Geoinformática, Campos do Jordão, Brasil, 20-23 novembro de 2005, INPE, p.262-268, 2005.

SEE, L. et al. Harnessing the power of volunteers, the *internet* and Google Earth to collect and validate global spatial information using Geo-Wiki. **Technological Forecasting and Social Change**, v.98, p.324–335, 2015.

SEGARAN, T. **Programando a inteligência coletiva: desenvolvendo aplicativos inteligentes web 2.0**. Rio de Janeiro: Alta Books, 2008.

SHELTON, T. et al. Mapping the data shadows of Hurricane Sandy: Uncovering the sociospatial dimensions of 'big data'. **Geoforum**, v.52, p.167-179, 2014.

SIEBER, R. **Geoweb for social change**. Workshop on Volunteered Geographic, Santa Barbara, EUA, 2007.

SIGALA, M. Investigating the role and impact of geovisualisation and geocollaborative portals on collaborative e-learning in tourism education. **Journal of Hospitality, Leisure, Sport e Tourism Education**, n.11, p.50–66, 2012.

SOMMERVILLE, I. **Engenharia de Software**. Addison Wesley, 2003.

SOUSA, P. V. B. **Mapas colaborativos na Internet: um estudo de anotações espaciais dos problemas urbanos**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Comunicação e Cultura Contemporâneas da Faculdade de Comunicação da Universidade Federal da Bahia, 2012.

SOUZA, W. D. et al. **ClickOnMap: A Framework to Develop Volunteered Geographic Information Systems with Dynamic Metadata**. 14th International Conference on Computational Science and Applications (ICCSA 2014), Guimaraes, Portugal, 2014.

SUI, D. The wikification of GIS and its consequences: Or Angelina Jolie's new tattoo and the future of GIS. **Computers, Environment and Urban Systems**, v.32, p.1–5, 2008.

TANG, K. X.; WATERS, N. W. The *Internet*, GIS and public participation in transportation planning. **Progress in Planning**, Canadá, v.62, n.1, p.7-62, jul, 2005.

TUAN, Y. **Topofilia: Um estudo da percepção, atitude e valores do meio ambiente**. Tradução de Livia de Oliveira. Londrina: Eduel, 2012.

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

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. **Estudos Avançados**. v.22, n.63, p.97-112, 2008.

TURNER, A. J. **Introduction to Neogeography**. O'Reilly Media, Inc., 2006. disponível em: <<http://brainoff.com/iac2009/IntroductionToNeogeography.pdf>>

UFSC. Universidade Federal de Santa Catarina. **Atlas Brasileiro de desastres naturais 1991 a 2010: volume Bahia**. Florianópolis: Centro de Estudos Pesquisas sobre Desastres/Universidade Federal de Santa Catarina - CEPED/UFSC, 2013.

UFSC. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Universitário de Pesquisa e Estudos sobre Desastres. **Capacitação básica em Defesa Civil**. 5. ed. Florianópolis: Centro de Estudos Pesquisas sobre Desastres/Universidade Federal de Santa Catarina - CEPED/UFSC, 2014.

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

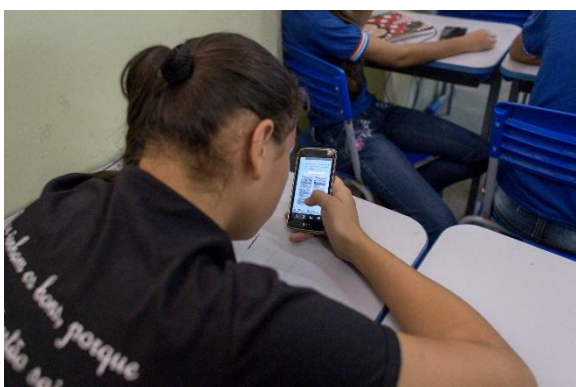
UNHCR. **Climate Change, Natural Disasters and Human Displacement: a UNHCR perspective**. United Nations High Commissioner for Refugees (UNHCR), 14 ago. 2009. Disponível em: <<http://www.refworld.org/docid/4a8e4f8b2.html>> Acesso em: 24 mar. 2015.

WAN, Z. et al. A cloud-based global flood disaster community cyber-infrastructure: Development and demonstration. **Environmental Modelling e Software**, 2014.

ZOOK, M. et al. Volunteered Geographic Information and Crowdsourcing Disaster Relief: A Case Study of the Haitian Earthquake. **World Medical e Health Policy**, v.2, n.2, 2010.

ANEXOS

Anexo 1. Fotos dos treinamentos realizados no estudo de caso



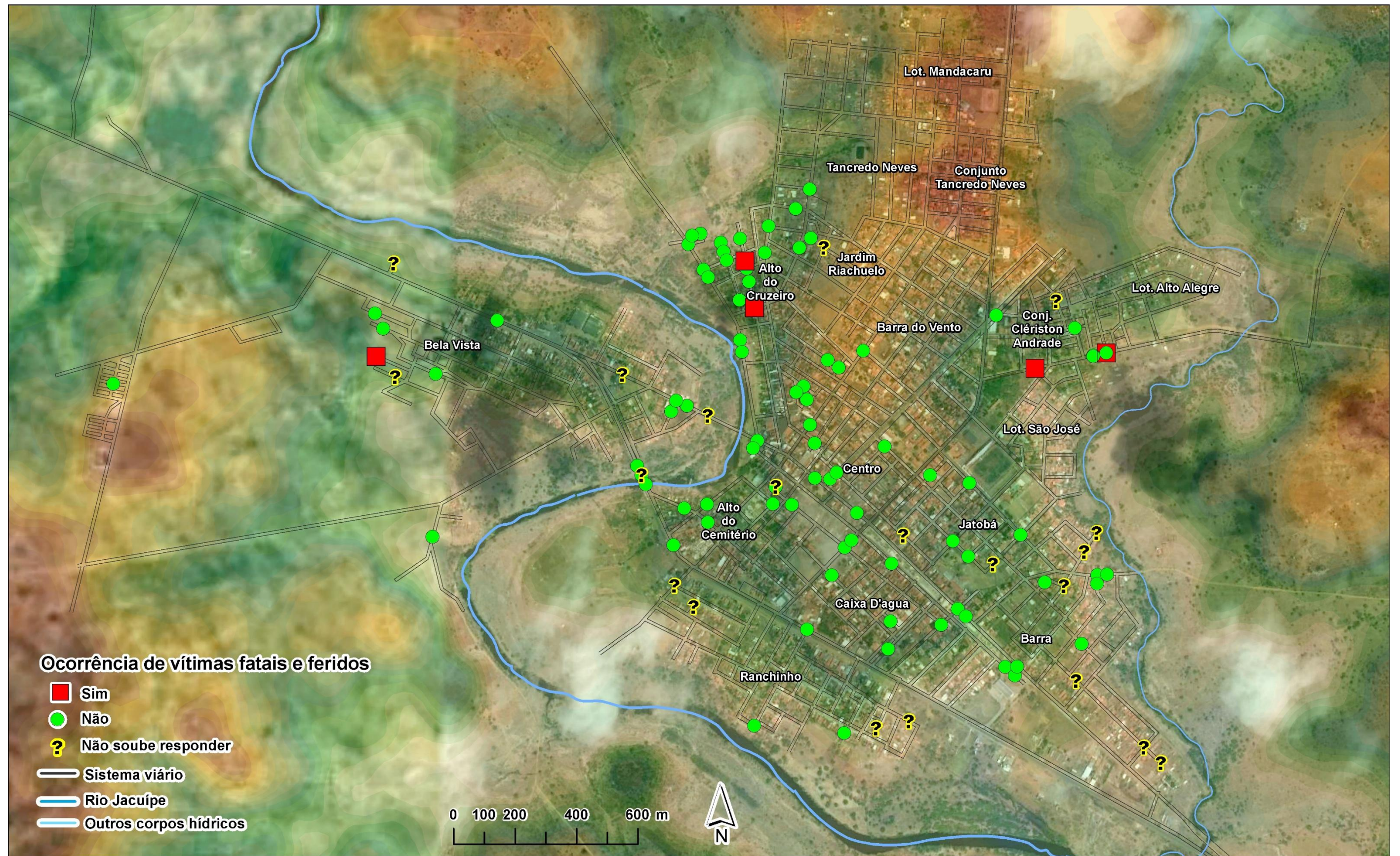
Fonte: O autor.

Anexo 2. Respostas dos usuários ao questionário de avaliação do protótipo

Usuário	Número de colaborações	Quais as dificuldades você encontrou para utilizar o aplicativo?	O que você mais gostou na utilização do aplicativo?	Escreva os problemas e pontos negativos que você encontrou para utilizar o aplicativo	Na sua opinião, o que poderia melhorar no aplicativo?	Críticas e sugestões
Usuario01	10	Não tive nenhuma dificuldade	Que podemos ajudar as outras pessoas em que as casas alagaram	Algumas imagens não carregaram	Imagens de boa qualidade	Melhorar nas imagens
Usuario07	17	Não tive nenhuma dificuldade	Achei muito útil o aplicativo podendo ajudar quem foi prejudicado por essa enchente que teve, então o aplicativo na minha avaliação gostei de tudo nele	Esse aplicativo deveria funcionar sem Wi-fi (internet) e daí da onde estivemos já colaboramos	----	----
Usuario10	05	As fotos eram antigas e dificultou a localização de alguns lugares	O fato de poder indicar se existem pessoas que precisam de ajuda caso houver uma inundação	As fotos que estão no aplicativo não são recentes	As imagens poderiam ser mais recentes, pois já houve modificações	----
Usuario12	05	Não tive nenhuma dificuldade	A praticidade	As fotos dos bairros são antigas, e acabou dificultando o reconhecimento dos locais.	A atualização das fotos.	É um excelente projeto, a única crítica é as fotos que estão desatualizadas.
Usuario13	10	Instalei o APP mas não abriu de primeira	É fácil de manusear	Imagens muito antiga	Atualizar as imagens	----
Usuario18	08	Não tive nenhuma dificuldade	Contribuir, pois ajudará na segurança da população	Não encontrei nenhum!	Conter mais imagens para a localização se tornar mais fácil.	Particularmente não encontrei nenhum ponto negativo, mas poderia ter mais imagens
Usuario20	06	Não tive nenhuma dificuldade	O fato dele mapear áreas de inundações e pode ser mapeado pelos moradores.	As fotos são antigas.	As fotos que são antigas	Criar uma maneira das fotos se atualizarem com o passar do tempo.
Usuario21	27	Dificuldade na identificação das ruas	Gostei do aplicativo porque através dele é possível localizar áreas de possíveis riscos de alagamentos.	A aplicação só permitia o acesso via internet o que para algumas pessoas é ruim.	A forma de localização das áreas de risco além de possibilitar a utilização da aplicação sem internet.	A aplicação só é disponibilizada via internet o que se torna um problema a população, desta forma a utilização da aplicação sem internet seria uma boa sugestão para o acesso do aplicativo para toda população.
Usuario30	03	Não tive nenhuma dificuldade	A Simplicidade do App, o app tem um layout muito intuitivo	Fotos antigas não tem alguns locais da cidade	Fotos mais nítidas e recentes	----

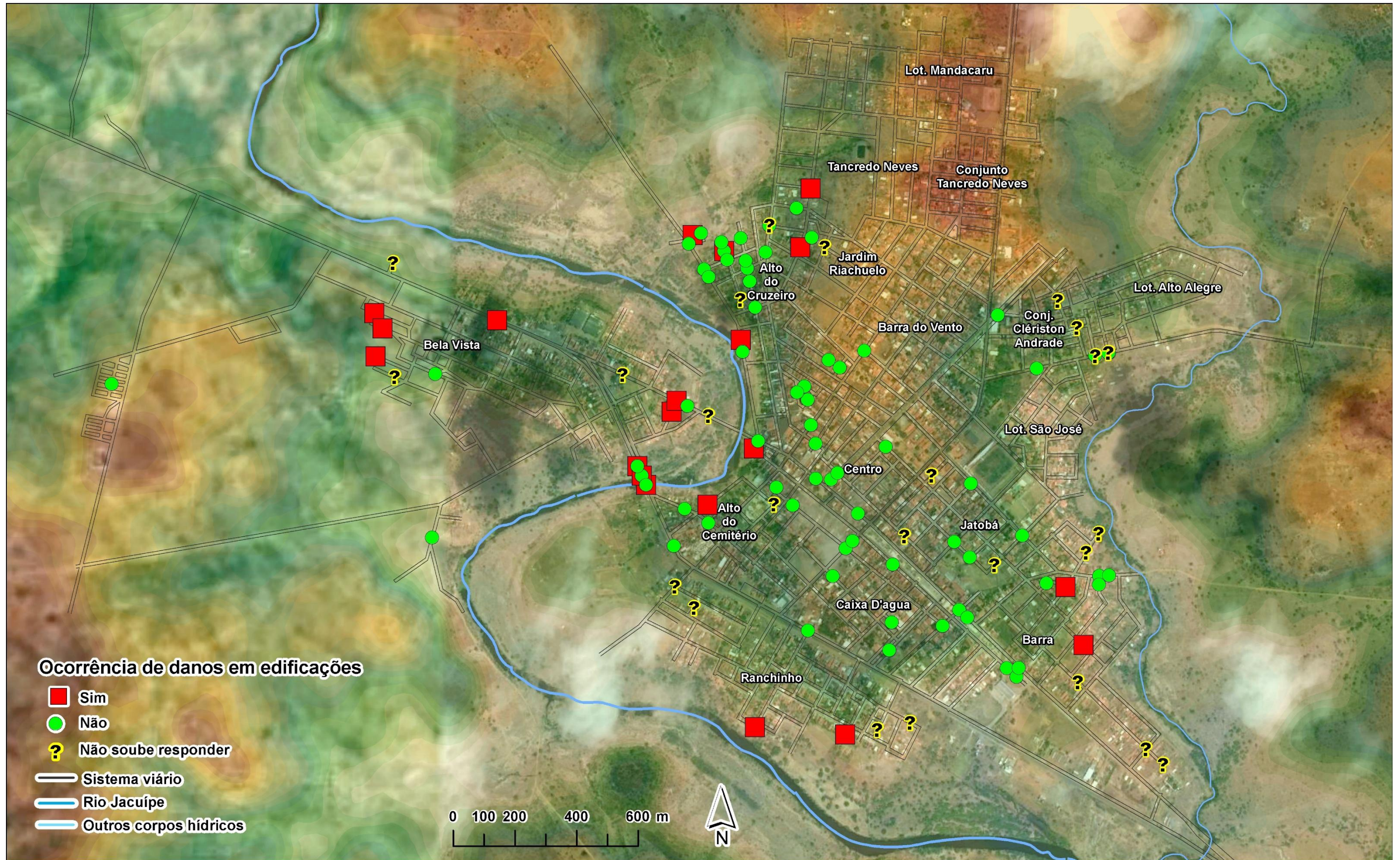
Fonte: o autor.

Anexo 3. Mapa de informações colaboradas sobre ocorrências de vítimas fatais e feridos



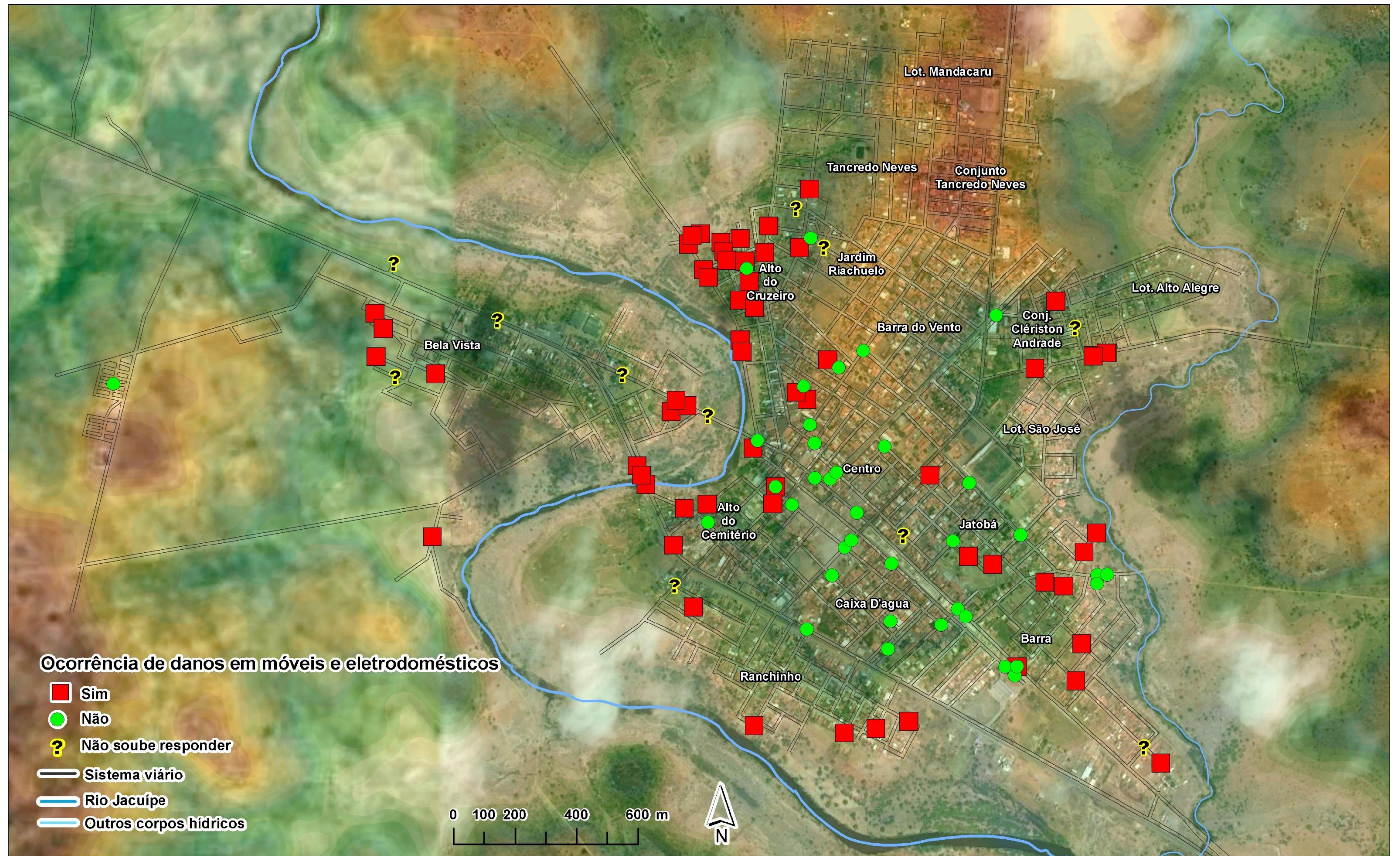
Fonte: O autor.

Anexo 4. Mapa de informações colaboradas sobre danos em edificações



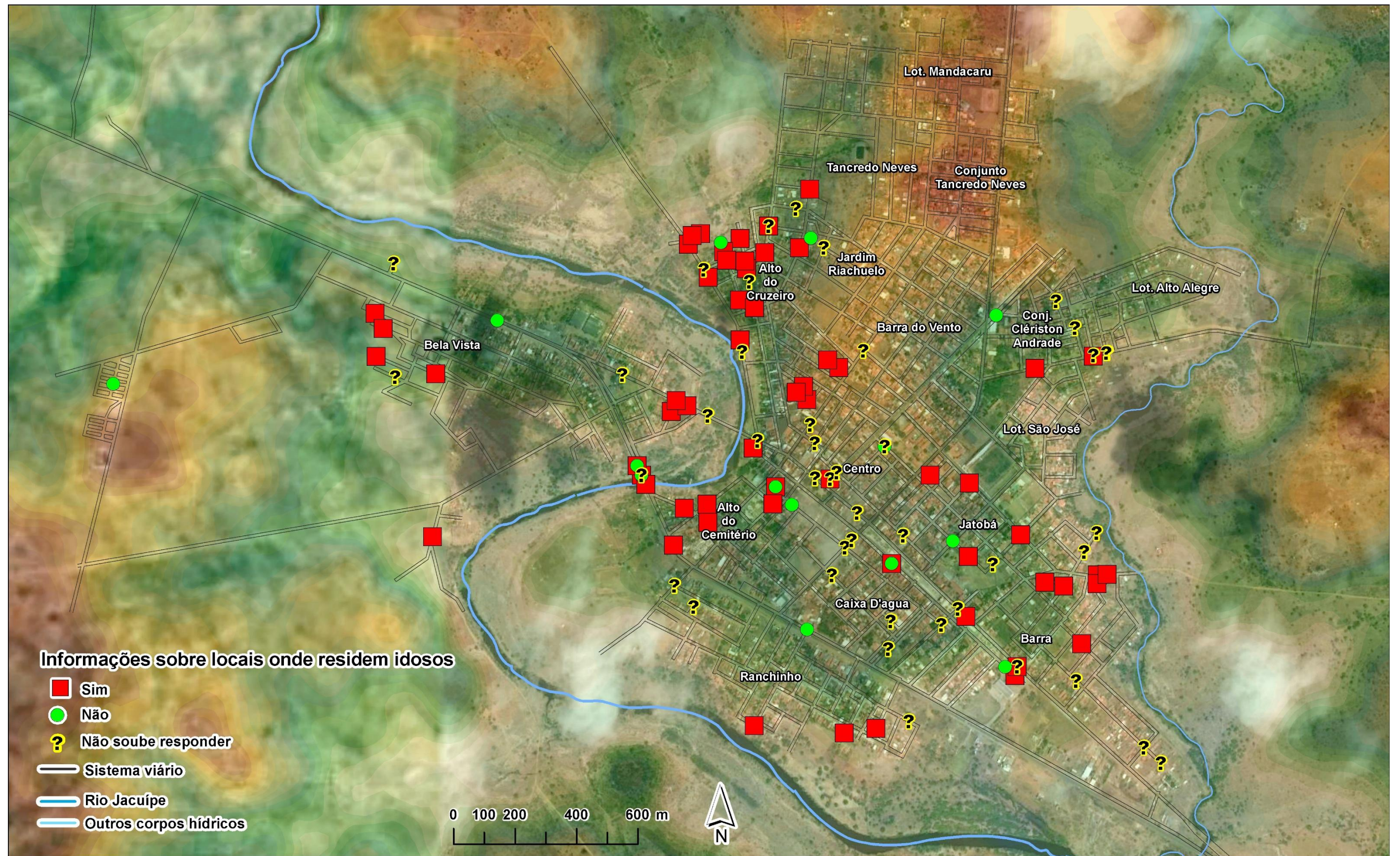
Fonte: O autor.

Anexo 5. Mapa de informações colaboradas sobre danos em móveis e eletrodomésticos



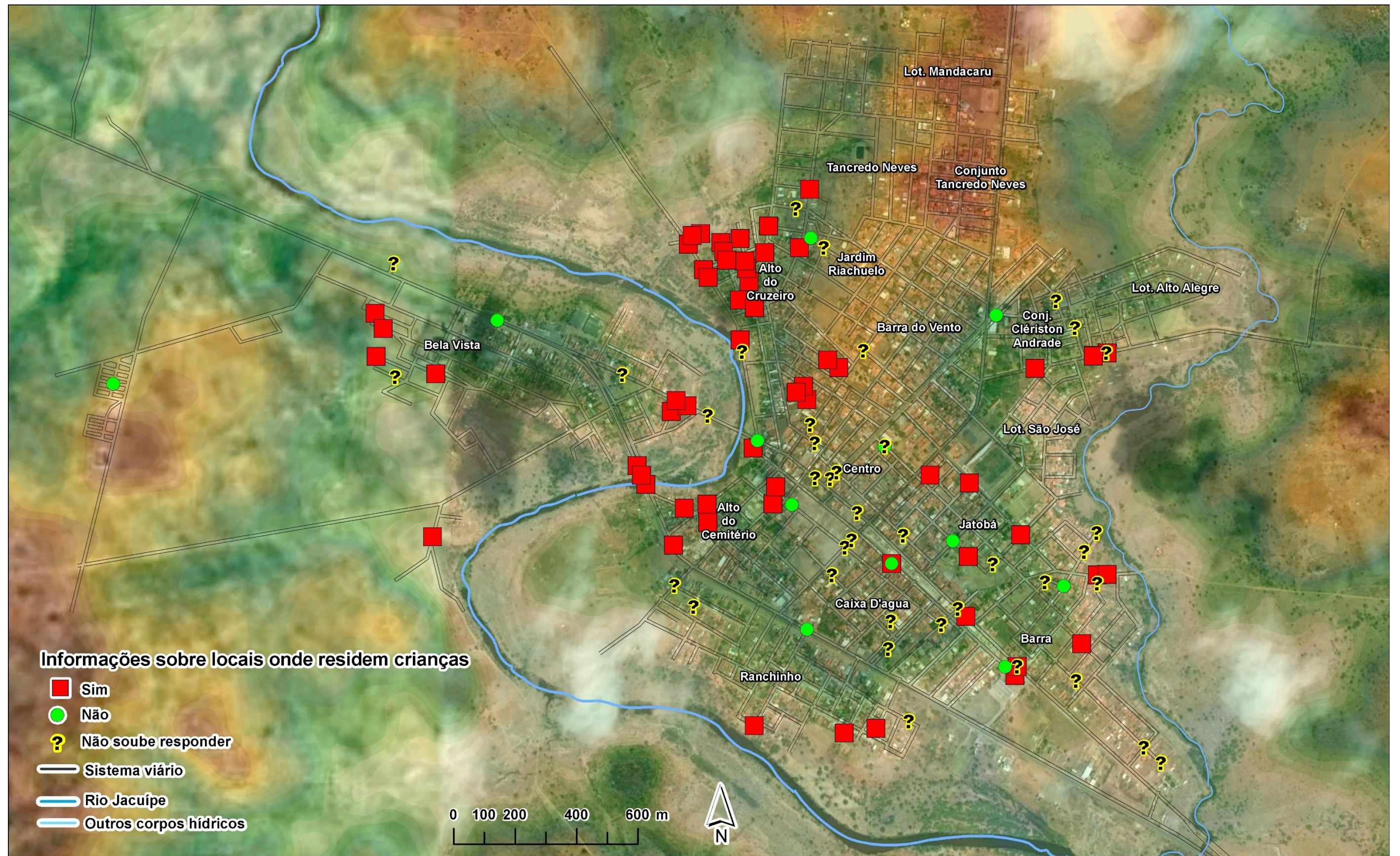
Fonte: O autor.

Anexo 6. Mapa de informações colaboradas sobre idosos



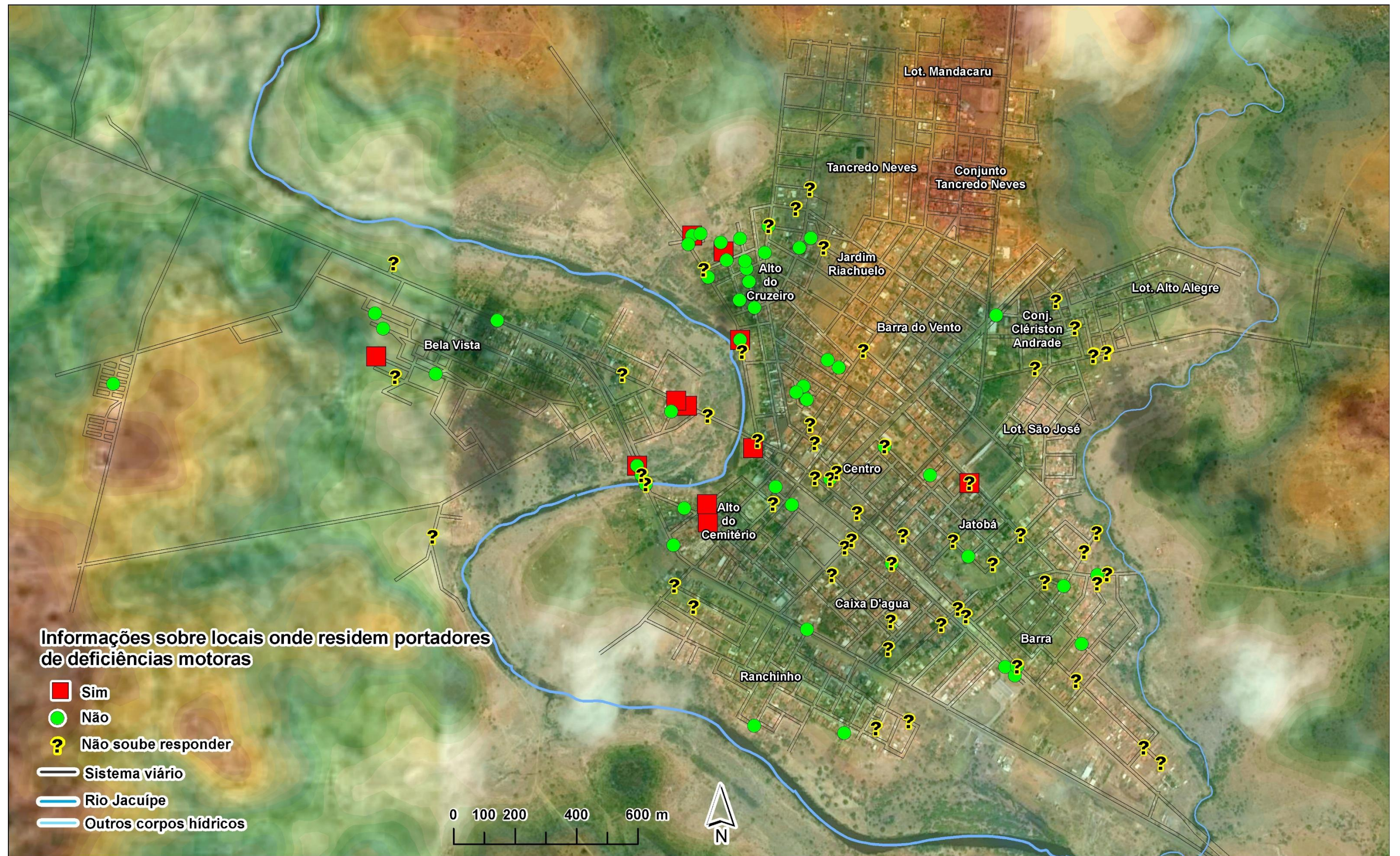
Fonte: O autor.

Anexo 7. Mapa de informações colaboradas sobre crianças



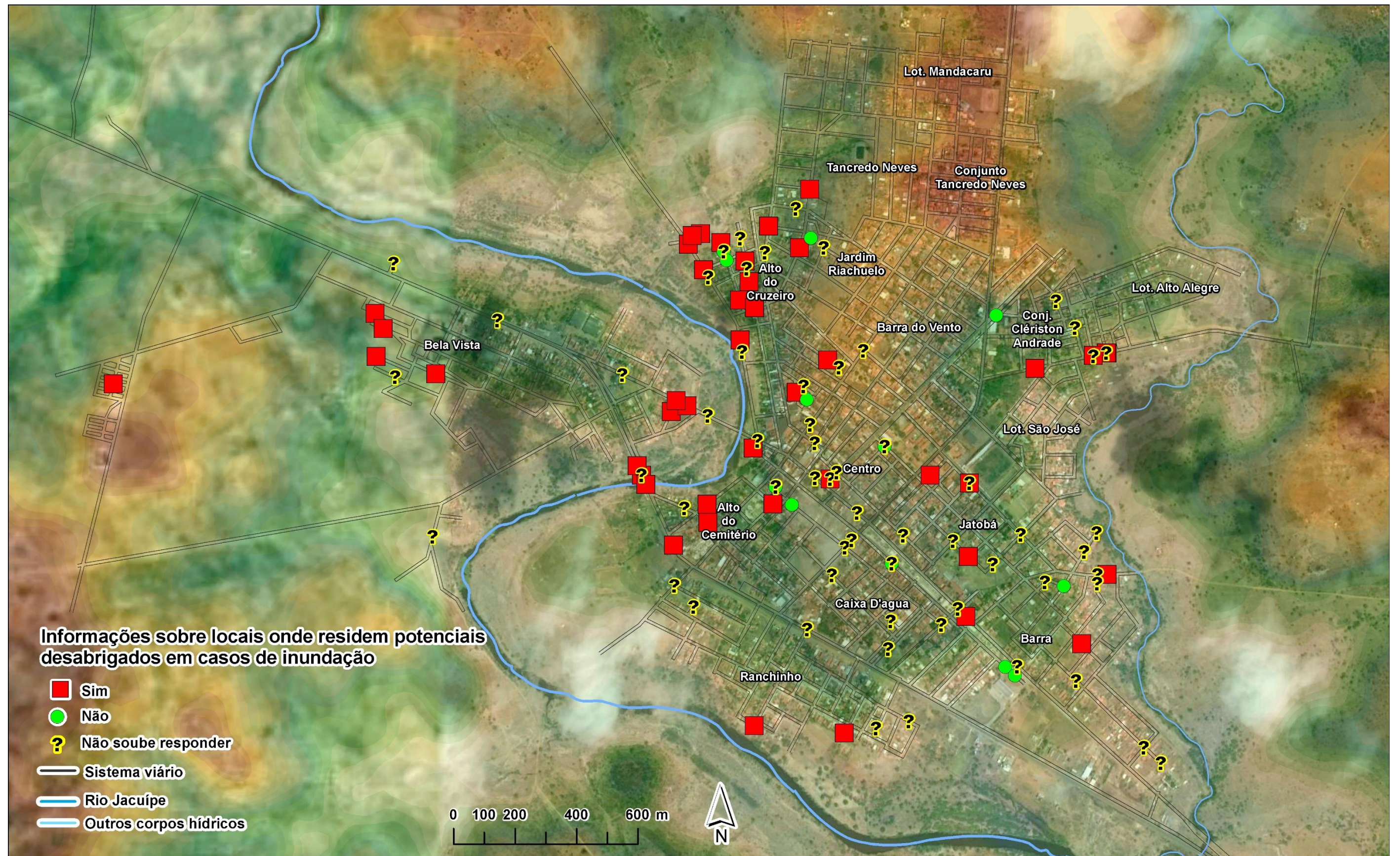
Fonte: O autor.

Anexo 8. Mapa de informações colaboradas sobre portadores de deficiências motoras



Fonte: O autor.

Anexo 9. Mapa de informações colaboradas sobre potenciais desabrigados



Fonte: O autor.