

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA
CAMPUS LAGOA DO SINO

GABRIELA GONÇALVES CILTO

**COMBINAÇÃO DE MÉTODOS COMPUTACIONAIS E
DA CIÊNCIA CIDADÃ PARA O MAPEAMENTO DE
ÁREAS SUSCETÍVEIS A INUNDAÇÕES: ESTUDO DE
CASO EM CAMPINA DO MONTE ALEGRE - SP**

BURI -SP
2025

GABRIELA GONÇALVES CILTO

**COMBINAÇÃO DE MÉTODOS COMPUTACIONAIS E DA CIÊNCIA CIDADÃ PARA O
MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A INUNDAÇÕES: ESTUDO DE CASO EM
CAMPINA DO MONTE ALEGRE - SP**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada
ao Centro de Ciências da Natureza da
Universidade Federal de São Carlos, para
obtenção
do título de Bacharel em Engenharia
Ambiental

Orientador: Anáí Floriano Vasconcelos
Co-Orientador: Maria Clara Fava

BURI-SP
2025

Cilto., Gabriela Gonçalves

Combinação de métodos computacionais e da ciência cidadã para o mapeamento de áreas suscetíveis a inundações: estudo de caso em Campina do Monte Alegre - SP / Gabriela Gonçalves Cilto. -- 2025. 94f.

TCC (Graduação) - Universidade Federal de São Carlos, campus Lagoa do Sino, Buri

Orientador (a): Anáí Floriano Vasconcelos

Banca Examinadora: Renata Bovo Peres, Vandoir

Bourscheidt

Bibliografia

1. Inundações. 2. Geoprocessamento. 3. Sócio-hidrologia.

I. Cilto., Gabriela Gonçalves. II. Título.


Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática
(SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR


Bibliotecário responsável: Lissandra Pinhatelli de Britto - CRB/8 7539

Folha de aprovação

Assinatura dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Trabalho de Conclusão de Curso do(a) candidato(a) Gabriela Gonçalves Cildo, realizada em 18/11/2025:

Documento assinado digitalmente
 **ANAI FLORIANO VASCONCELOS**
Data: 19/11/2025 16:49:15-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profª. Drª. Anai Floriano Vasconcelos - Orientadora
Departamento de Ciências Ambientais, Universidade Federal de São Carlos

Documento assinado digitalmente
 **RENATA BOVO PERES**
Data: 19/11/2025 16:05:01-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profª. Drª. Renata Bovo Peres
Departamento de Ciências Ambientais, Universidade Federal de São Carlos

Documento assinado digitalmente
 **VANDOIR BOURSCHIEDT**
Data: 18/11/2025 16:47:01-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Vandoir Bourscheidt
Departamento de Ciências Ambientais, Universidade Federal de São Carlos

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, que acreditaram em mim antes mesmo que eu acreditasse.
Às oportunidades que encontrei pelo apoio que me deram, na confiança e nas mãos estendidas ao longo do caminho.

AGRADECIMENTO

A conclusão deste trabalho não é resultado apenas do meu esforço e resiliência, mas também do apoio e da força de muitas pessoas que me sustentaram nessa trajetória.

Agradeço aos meus pais, Adriana e Sandro, que tantas vezes abriram mão de seus próprios receios e limites para que eu pudesse seguir meus sonhos. Transformaram o medo em incentivo, a distância em apoio e a incerteza em coragem.

Ao meu irmão, Eduardo, que sempre soube cuidar de mim do seu jeito, com paciência e palavras que acalmam quando nada parecia dar certo, lembrando-me de que eu nunca estava sozinha.

Às minhas avós, que sempre abriram meus caminhos com cuidado e amor, perguntando se eu estava bem e pedindo, em suas preces, para que o anjo da guarda cuidasse de mim.

Ao Marley e à Margo, que me esperavam toda sexta-feira e faziam festa a cada chegada, sendo companhia silenciosa e conforto constante.

À Paula Eduarda, amiga que, mesmo a 279,7 km de distância, soube estar presente, me mostrando onde eu deveria usar minhas energias e me ouvindo quando eu mais precisei.

À Joice e à Heloisa, amigas que mais me ensinaram nesta jornada e me deram força para seguir. Sem as duas, esta etapa não teria sido concluída, foram as risadas, os cafés e as playlists no carro que mostraram como a amizade transforma até os dias mais cansativos.

À minha orientadora, Anaí, que foi muito além do papel de uma orientadora. Me acompanhou com confiança, orientação e apoio em cada etapa, acreditando em mim mesmo quando eu duvidava. Com paciência, me ensinou muito mais do que termos técnicos, me ensinou o que é ser uma engenheira ambiental.

Aos integrantes do projeto, Maria Clara, ao Javier, ao Frederico, ao Carlos, à Jaqueline e ao Hélio, por todo o aprendizado e pelas trocas que tanto contribuíram para a minha formação. A participação nesse projeto me deu propósito na engenharia ambiental e confirmou que eu estava trilhando o caminho certo. Agradeço, em especial, ao Pedro, meu parceiro de IC e amigo, que esteve comigo em todas as entrevistas de campo. Com ele aprendi muito, e sua presença tornou cada etapa mais leve e produtiva.

À todos os moradores de Campina do Monte Alegre, que me receberam com gentileza, compartilharam seus conhecimentos e registros, e tornaram esta pesquisa possível.

Agradeço também ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de Iniciação Científica e Tecnológica concedida através do edital PROPQ 001/2022 da UFSCar. E ao projeto de pesquisa intitulado “Avaliação de ferramentas de modelagem hidrológica de diferentes complexidades para mapeamento de áreas de inundação de bacias rurais com dados escassos”, contemplado pelo Edital Universal 2021 CNPq/MCTI/FNDCT N. 18/2021.

“Um rio não deixa de ser um rio porque conflui com outro rio, ao contrário, ele passa a ser ele mesmo e outros rios, ele se fortalece”
(Antônio Bispo dos Santos)

RESUMO

A falta de sistematização de dados hidrológicos é um cenário comum no Brasil. Um reflexo disso é o fato de apenas 40,6% dos municípios terem um plano de gerenciamento de risco, etapa essencial para mitigação de impactos em desastres naturais. Somado a isso, os efeitos das mudanças climáticas têm intensificado a ocorrência de eventos extremos, sendo necessário cada vez mais metodologias que representem melhor a realidade, de fácil obtenção e acessíveis para prever e mitigar os impactos desses eventos.

Diante desse cenário, o presente trabalho teve como objetivo mapear áreas inundadas por eventos extremos a partir de um retrospecto histórico da ocorrência de inundações, destacando a importância do uso combinado de diferentes métodos para a geração de manchas de inundação com dados provenientes de ciência cidadã e métodos computacionais. Além disso, foram comparadas as manchas de inundação geradas por diferentes métodos. Para isso, foram utilizados dois Modelos Digitais de Terreno (MDT), um gerado por drone sem RTK e outro disponibilizado pelo ANADEM. Também foram avaliados dois métodos para a geração de manchas, os *software* HAND Model e o QGIS através da ferramenta de reclassificação por tabela.

Como resultados obtidos, o MDT do ANADEM combinado com o HAND Model apresentou um melhor desempenho, com AG de 100% e F1 de 1,00 para o evento de 2004. Para o ano de 2016, essa configuração obteve AG de 85,71% e F1 de 0,92. As manchas geradas com o MDT do drone apresentaram resultados menos representativos, com AG de 69,23% e 61,54% para o ano de 2004, e AG de 85,71% e F1 de 0,92 para o evento de 2016 para os modelos HAND e QGIS respectivamente.

Apesar das limitações associadas ao método, o levantamento de dados e registros de inundação por meio da ciência cidadã demonstrou-se uma alternativa eficiente para obtenção de informações em regiões com déficit de dados sistematizados. A combinação dessa abordagem com a análise de séries históricas permitiu o mapeamento de áreas de inundação e a identificação de eventos críticos, etapa essencial para o desenvolvimento de planos de gerenciamento de risco. Conclui-se que a metodologia aplicada representa uma alternativa viável, acessível e reproduzível para o mapeamento de áreas suscetíveis a inundações, contribuindo para o aprimoramento da gestão territorial e para o fortalecimento das políticas públicas voltadas à adaptação e mitigação frente aos desastres naturais.

Palavras-chave: Inundações; Geoprocessamento; Sócio-Hidrologia

ABSTRACT

The lack of systematization of hydrological data is a common issue in Brazil. One indication of this is that only 40.6% of municipalities possess a risk management plan, a crucial step in mitigating the impacts of natural disasters. Furthermore, the effects of climate change have intensified the frequency of extreme events, thereby increasing the need for methodologies that more accurately reflect reality, are easily obtainable, and accessible for predicting and mitigating the impacts of such events.

In light of this scenario, the present study aimed to map flooded areas resulting from extreme events based on a historical retrospective of flood occurrences using citizen science, and to compare the flood maps generated by different methods. To this end, two Digital Terrain Models (DTMs) were employed: one generated by a drone without RTK and another provided by ANADEM. Additionally, two methods for generating flood maps were evaluated: the HAND Model software and QGIS using the table reclassification tool.

Regarding the results obtained, the ANADEM DTM combined with the HAND Model demonstrated superior performance, achieving an AG of 100% and an F1 score of 1.00 for the 2004 event. For the year 2016, this configuration yielded an AG of 85.71% and an F1 score of 0.92. The maps generated using the drone DTM produced less representative results, with AG values of 69.23% and 61.54% for the year 2004, and AG of 85.71% and F1 score of 0.92 for the 2016 event using the HAND and QGIS models, respectively.

Despite the limitations associated with the method, the collection of data and flood records through citizen science proved to be an effective alternative for obtaining information in regions with a deficit of systematized data. The integration of this approach with the analysis of historical series enabled the mapping of flood-prone areas and the identification of critical events, a fundamental step in the development of risk management plans. It is concluded that the applied methodology constitutes a viable, accessible, and reproducible alternative for mapping areas susceptible to flooding, thereby contributing to the enhancement of territorial management and the strengthening of public policies focused on adaptation and mitigation in response to natural disasters.

Keyword: Floods; Geoprocessing; Socio-hydrology

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Componentes do ciclo hidrológico	20
Figura 2: Ordem ou hierarquia fluvial de acordo com Strahler (1952)	21
Figura 3: Representação de inundação, enchente e alagamento	23
Figura 4: Diagrama de risco e perigo de inundação	24
Figura 5: Fluxo de ações de monitoramento e respostas a desastres naturais	26
Figura 6: Representação de vetorial e matricial do raster	32
Figura 7: Ilustração do funcionamento de um satélite	32
Figura 8: Fluxograma das etapas do trabalho	39
Figura 9: Mapa de localização da área de estudo e região onde foram realizadas as entrevistas.	40
Figura 10: Análise de tipos de solo presentes na bacia de contribuição.	47
Figura 11: Mapa de Declividade da Área de Estudo	49
Figura 12: Identificação de Barramentos na Bacia de Contribuição	51
Figura 13: Área de estudo e pontos das entrevistas	53
Figura 14: Exemplo de marcação dos níveis pluviométricos atingidos nas construções.	58
Figura 15: Registro cedido por um dos moradores da região.	58
Figura 16: Citações de ocorrência de inundações por ano	59
Figura 17: Postes de luz com marcações de altura da água das inundações	60
Figura 18: Marcação do nível d'água por ano	61
Figura 19: Estações pluviométricas da Bacia Hidrográfica do Alto Paranapanema	62
Figura 20: Estações pluviométricas e suas áreas de influência determinadas através do Método de Thiessen.	63
Figura 21: Mancha de inundação gerada pelo MDT do Drone através do HAND	69
Figura 22: Mancha de inundação gerada pelo MDT do ANADEM através do HAND	69
Figura 23: Mancha de inundação gerada pelo MDT do Drone através do QGIS	71
Figura 24: Mancha de inundação gerada pelo MDT do ANADEM através do QGIS	71
Figura 25: Registro da mancha de inundação para o evento de 2016 pelo satélite sentinel-2	73
Figura 26: Matriz de confusão de acurácia das manchas de inundações geradas pelo HAND	74
Figura 27: Matriz de confusão de acurácia das manchas de inundações geradas pelo QGIS	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Informações obtidas através da aplicação do questionário.	56
Tabela 2: Informações obtidas através da aplicação do questionário.....	58
Tabela 3: Dados das precipitações causadoras das inundações relatadas.....	67
Tabela 4: Compilação de dados obtidos por diferentes métodos para os eventos de inundação.....	68
Tabela 5: Cotas médias para geração das manchas de inundação gerada pelo MDT do Drone.....	69
Tabela 6: Cotas médias para geração das manchas de inundação gerada pelo MDT do ANADEM.....	70
Tabela 7: Cotas médias das inundações para HAND Model	71
Tabela 8: Métricas de avaliação de desempenho das manchas de inundação geradas.....	82

LISTA DE SIGLAS

APP – Área de Proteção Permanente

ANA – Agência Nacional de Águas

ANADEM – Modelo Digital de Terreno para a América do Sul

AVADAN – Formulário de Avaliação de Danos

CCN – Centro de Ciências da Natureza

CEMADEN – Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais

COPDEM – Modelo Digital de Elevação Copernicus GLO-30

CRS – Sistema de Referência de Coordenadas

DAEE – Departamento de Água e Energia Elétrica

DATAGEO – Infraestrutura de Dados Espaciais Ambientais do Estado de São Paulo

ENOS – El Niño–Oscilação do Sul

GEDI – *Global Ecosystem Dynamics Investigation* (Investigação da Dinâmica Global dos Ecossistemas)

GPS – *Global Positioning System* (Sistema de Posicionamento Global)

HAND – *Height Above Nearest Drainage Model* (Modelo de Altura Acima da Drenagem Mais Próxima)

HEC-HMS – *Hydrologic Modeling System* (Sistema de Modelagem Hidrológica)

HEC-RAS – *River Analysis System* (Sistema de Análise de Rios)

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPH-UFRGS – Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul

IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change* (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas)

LiDAR – *Light Detection and Ranging* (Detecção e Medição por Luz)

MDE – Modelo Digital de Elevação

MDS – Modelo Digital de Superfície

MDT – Modelo Digital de Terreno aereo

NASA – *National Aeronautics and Space Administration* (Administração Nacional da Aeronáutica e do Espaço)

ONI – *Oceanic Niño Index* (Índice Oceânico de El Niño)

PMSB – Planos Municipais de Saneamento Básico

PNPDC – Plano Nacional de Proteção e Defesa Civil

PNPDEC – Política Nacional de Proteção e Defesa Civil

QGIS – *Quantum Geographic Information System* (Sistema de Informação Geográfica Quântico)

RHN – Rede Hidrometeorológica Nacional

RTK – *Real-Time Kinematic* (Cinemática em Tempo Real)

SEMIL – Secretaria do Meio Ambiente, Estrutura e Logística do Estado de São Paulo

SGB – Serviço Geológico do Brasil

SiBCS – Sistema Brasileiro de Classificação de Solos

SIG – Sistema de Informações Geográficas

SNIRH – Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos

UFSCar – Universidade Federal de São Carlos

UGRHI – Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos

USACE – *U.S. Army Corps of Engineers* (Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos)

USGS – *United States Geological Survey* (Serviço Geológico dos Estados Unidos)

VANTS – Veículos Aéreos Não Tripulados

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. OBJETIVOS	19
GERAL	19
ESPECÍFICOS	19
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
3.1. CICLO HIDROLÓGICO	20
3.2. BACIA HIDROGRÁFICA	21
3.3. HIDROGRAFIA	21
3.3.1. Hidrogeologia e dinâmica de escoamentos	22
3.3.2. Cobertura vegetal	22
3.3.3. Relevo	23
3.3.4. Clima	23
3.3.5. Enchente e inundação	23
3.3.6. Perigo, risco e desastres	24
3.3.7. Intensidade, evolução e duração	25
3.3.8. Defesa civil e CEMADEN	26
3.4. CIÊNCIA CIDADÃ	28
3.5. MUDANÇAS CLIMÁTICAS	29
3.6. EVENTOS EXTREMOS	30
3.7. EL NIÑO E LA NIÑA	30
3.9. MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO (MDE)	31
3.9.1. Anadem	34
3.10. MODELO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO	34
3.11. HAND MODEL	35
3.12. ACURÁCIA DAS MANCHAS DE INUNDAÇÃO	36
3.13. POLÍTICAS PÚBLICAS	37
4. MATERIAIS E MÉTODOS	39
4.1. ÁREA DE ESTUDO	39

4.2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E A INFLUÊNCIA DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO	41
4.3. OBTENÇÃO DOS MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO	41
4.4. LEVANTAMENTO SÓCIO-HIDROLÓGICO	42
4.4.1. Dados Pluviométricos	43
4.4.2. Dados Georreferenciados	44
4.5. SIMULAÇÃO DAS MANCHAS DE INUNDAÇÃO	44
4.5.1. Análise Comparativa das Manchas de Inundações Geradas	45
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
5.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E INFLUÊNCIA DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO	47
5.1.1. Geologia	47
5.1.2. Relevo	49
5.1.3. Clima	50
5.1.4. Dinâmica local ao entorno	51
5.2. USO DE CIÊNCIA CIDADÃ COMO FERRAMENTA PARA LEVANTAMENTO DE DADOS E GERAÇÃO DAS MANCHAS DE INUNDAÇÃO	53
5.2.1. Entrevistas com a população local e área de aplicação	53
5.2.2. Dados Pluviométricos	62
5.3. SIMULAÇÃO DAS MANCHAS DE INUNDAÇÕES	67
5.3.1. Manchas de inundação geradas a partir do Hand Model	68
5.3.2. Manchas de inundação geradas a partir do qgis	70
5.4. ANÁLISE COMPARATIVA DAS MANCHAS DE INUNDAÇÕES GERADAS	72
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	77
APÊNDICE A - Roteiro da Entrevista com a População Local	87

1. INTRODUÇÃO

A ocupação humana às margens dos rios é um comportamento que foi enraizado, iniciado desde que o homem passou pelo processo de sedentarização, estabelecendo-se em um local fixo, a fim de utilizar os recursos hídricos para o seu desenvolvimento. Assim, ao longo do tempo, esse comportamento de ocupação das margens foi ainda mais difundido e generalizado em diversos países, em decorrência da colonização, permitindo que a exploração das terras fosse feita por meio de navegação em rios.

Em contrapartida, os corpos hídricos também possuem sua própria dinâmica natural de aumento e diminuição dos níveis d'água, conforme determinados períodos do ano. Um exemplo disso são as cheias históricas do rio Nilo, que, devido ao seu aumento de nível, mantinha o solo da planície de inundação saturado e permitia uma boa prática agrícola (Mackin; Lewin, 2015).

Dessa forma, o desenvolvimento da sociedade ocorreu nas planícies de inundação com histórico de maior magnitude, pelo grande período entre um evento e outro, as planícies passaram a ser ocupadas por grupos que não presenciaram um evento naquele lugar.

Assim, durante a formação dos centros urbanizados, com a ausência de registros do histórico de inundações e negligência no planejamento urbano, as áreas suscetíveis à inundação passaram a ser consideradas como áreas apropriadas, consolidando a ocupação de moradores em planícies de inundação. Além da construção de residências, também existem serviços de atendimento público localizados nas planícies de inundação, gerando um risco para os moradores e comprometendo as unidades de apoio em casos de respostas emergenciais.

Cada vez mais marginalizada, a população que ocupa essas áreas fica ainda mais exposta aos riscos de inundação, perpetuando um ciclo enrijecido, de uma estrutura social que não permite condições para mudanças e adaptações, e gera cada vez mais vulnerabilidade social (Kron et al., 2021).

Existem diversos fatores que contribuem para as cheias e secas dos rios, sendo a topografia, o clima, a pedologia e o uso e ocupação do solo fundamentais para a compreensão dessa dinâmica. Entretanto, de acordo com Sivapalan et al. (2012), a sócio-hidrologia vem abrindo caminho para estudar justamente como as pessoas se comportam em relação ao ciclo hidrológico, compreendendo dinâmicas sociais que intensificam os aspectos físicos que geram as inundações naturais.

Um exemplo de mudança de comportamento foi a ocupação das várzeas não apenas

como um recurso para os meios de produção, mas sua utilização como fonte de lazer. Um exemplo disso são as casas de veraneio à beira do rio. Dessa forma, a partir de 1965, foi criado o código florestal, uma ferramenta para impedir o avanço da supressão de mata nativa e permitir a criação do conceito de Área de Proteção Permanente (APP), visando a proteção da mata ciliar e manutenção da qualidade dos corpos hídricos (Brasil, 2012).

Devemos considerar como outro fator importante para esse processo de vulnerabilidade hidrológica os impactos das ações humanas na bacia, de modo que toda alteração a montante gera um impacto a jusante, sendo esse um princípio básico na gestão de bacias integradas de acordo com Tucci (2009). Um exemplo de impacto é o uso intensivo dos recursos hídricos combinado com o aumento do consumo, originado no cenário pós-revolução industrial. Esse processo gerou uma perda de qualidade expressiva nos pontos de jusante (Pollack, G. *et al.*, 2016), ocasionando em um cenário de conscientização ambiental mundial, para a adoção de medidas que garantissem a qualidade e manutenção dos corpos hídricos, processo esse que desencadeou as primeiras conferências internacionais pautadas no desenvolvimento e meio ambiente (Passos, 2019), sendo necessário garantir a gestão integrada dos recursos hídricos, fundamental para que o desenvolvimento sustentável seja alcançado.

A análise de eventos que ocorrem em longo prazo, como o caso de eventos extremos, possui uma incerteza nos resultados em decorrência do método de medição ou estimativa utilizado (McMillan *et al.*, 2018). Consequentemente, a geração e armazenamento desses dados sistematizados possuem um grande déficit, pois o monitoramento constante e o armazenamento de grandes séries históricas não ocorrem de maneira adequada, ocasionando falha de dados (Brubacher *et al.*, 2020). A escassez desses dados compromete a identificação e análise da frequência dos eventos extremos, prejudicando as previsões e, consequentemente, afetando o planejamento do gerenciamento de riscos, o que resulta em medidas que não refletem a realidade.

Uma das formas de combater o déficit de dados, é através da utilização da ciência cidadã, tornando-se eficiente não apenas para a obtenção de dados relevantes, mas também como fonte de dados para a previsão dos padrões frente às alterações climáticas, possibilitando a criação de um banco de dados que pode ser usado para validar modelos hidrológicos, identificando as manchas de inundações e auxiliando a tomada de decisão (Starkey *et al.*, 2017).

Essa problemática ocorre em grande parte dos países subdesenvolvidos (IPCC, 2022),

podendo-se notar essa lacuna também para o município da Campina do Monte Alegre-SP, onde a população enfrenta frequentes inundações ribeirinhas, mas que, pela falta de mapeamentos e histórico, gera impactos no gerenciamento de risco às inundações.

Assim, através de metodologias e ferramentas hidrológicas em conjunto com consultas baseadas em ciência cidadã, esse trabalho visa fornecer subsídios para a tomada de decisão, por meio de um mapeamento de manchas de inundação para uma área com poucos dados sistematizados. Essa abordagem, que integra a sociedade e a hidrologia, apresenta-se cada vez mais necessária para resguardar a vida humana e mitigar os impactos das inundações, promovendo resiliência às comunidades vulneráveis às inundações.

2. OBJETIVOS

GERAL

O presente trabalho tem como objetivo mapear as manchas de inundação no município de Campina do Monte Alegre para diferentes eventos com base em dados levantados por ciência cidadã e metodologias computacionais, avaliando a eficácia do uso combinado de metodologias para o levantamento e a validação dos dados..ESPECÍFICOS

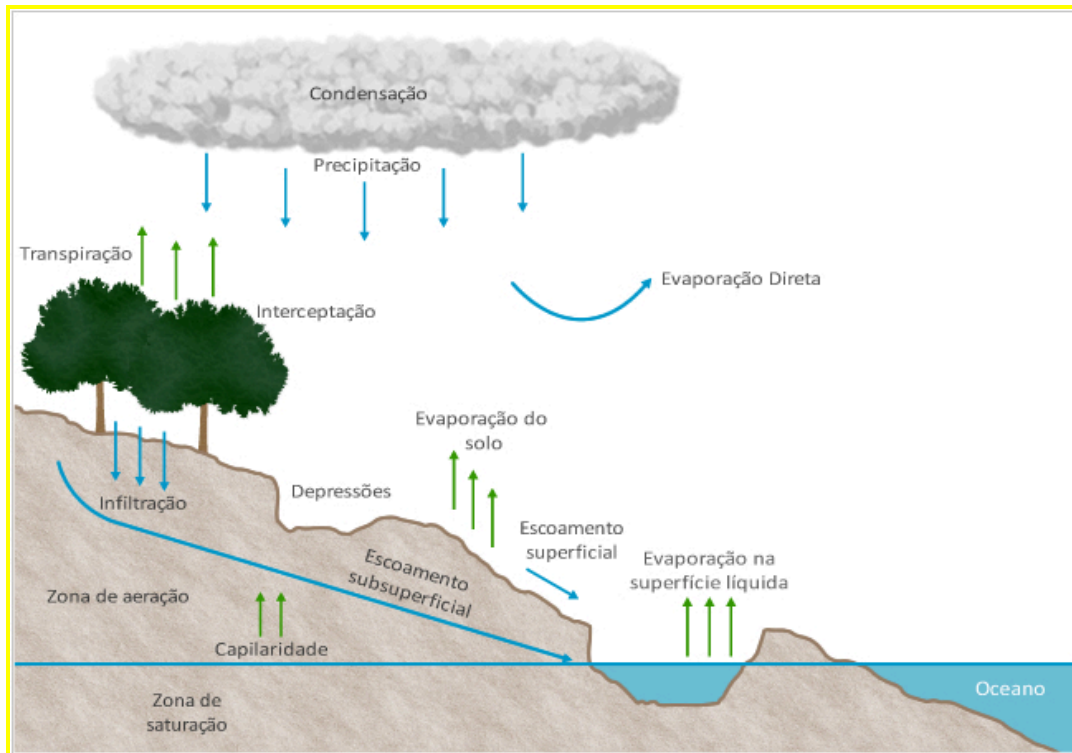
- Obter Modelos Digitais de Elevação (MDE) a partir de diferentes fontes para obtenção e comparação da acurácia de manchas de inundações;
- Obter informações sobre os níveis de água das inundações por meio da ciência cidadã como forma de suprir a falta de dados hidrológicos sistematizados da área de estudo;
- Simular as manchas de inundações para os eventos identificados, utilizando dois métodos de espacialização e os diferentes MDE, e comparar a acurácia das metodologias;
- Avaliar o potencial da combinação de métodos para o levantamento e a validação das manchas de inundação, compreendendo seus benefícios e limitações para a análise hidrológica em áreas com escassez de dados.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. CICLO HIDROLÓGICO

O ciclo hidrológico é a mudança do estado da água após seu aquecimento ou perda de calor, passando por diversas etapas como: evaporação, condensação, precipitação, escoamento superficial, infiltração e evapotranspiração, como representado na **Figura 1**.

Figura 1: Componentes do ciclo hidrológico



Fonte: Hartwing, 2012.

Podemos considerar o ciclo da água como um balanço de massa em um sistema fechado, pois, assim como representado pela lei de Lavoisier, a água não se perde, ou seja, a mesma quantidade permanece na Terra, apenas se transformando em vapor, líquido ou sólido, nos casos dos hemisférios norte e parte do hemisfério sul, através da presença de gelo. (Villela; Mattos, 1975)

No ciclo consideramos o sol como a força motriz que gera aquecimento da água presente na superfície terrestre, passando do estado líquido para o estado gasoso. Entretanto, a evaporação não fica restrita à energia solar, mas também está ligada a outros fatores, como por exemplo: vento, pressão de vapor e umidade relativa (Tucci, 2009). Por se comportar como um gás o vapor se expande no ambiente passando por diferenças de altitude, pressão e consequentemente baixas temperaturas, dessa forma o ar vai perdendo sua capacidade de

reter vapor d'água a determinada temperatura e começa a atingir o ponto de orvalho, atingindo seu grau de saturação e começando a formar as gotículas de água, etapa conhecida como condensação, que ao se acumularem vão ganhando massa e conseguem superar a resistência do ar, formando a precipitação (Varejão-Silva,2001).

A água precipitada irá atingir a superfície de forma espacializada e, em decorrência da altimetria e da gravidade, se deslocará para o ponto mais baixo da bacia hidrográfica que se localiza em rios, lagoas ou no oceano, reiniciando o ciclo hidrológico. Nesse processo ocorrem também interferências como a infiltração, em que o contato da água com a superfície do solo gera a percolação e abastecimento de corpos hídricos subterrâneos (Bear, 1972).

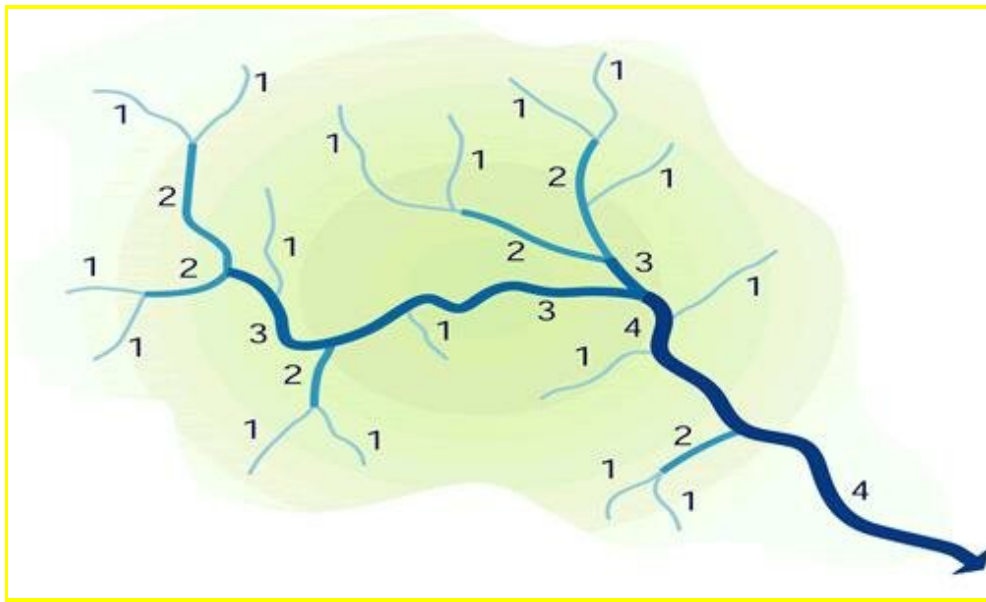
Ainda no ciclo hidrológico temos a etapa da evapotranspiração, que é a porcentagem de água presente em processos biológicos, como na fotossíntese e na respiração pulmonar, em que o vapor é liberado através de trocas gasosas do metabolismo (Tucci, 2009).

3.2. BACIA HIDROGRÁFICA E FATORES DE INFLUÊNCIA

A bacia hidrográfica é uma determinada área da superfície terrestres delimitada pelos divisores topográficos que captam a água ao longo da área, direcionando o fluxo em um único sentido, determinado pela diferença de altimetria e gravidade fazendo com que a água conflua para um único ponto na bacia hidrográfica, ou seja, é uma área de captação que transforma chuva em vazão, sendo esse ponto final chamado de ponto exutório (Tucci, 2009).

Os delimitadores topográficos são os pontos de maior altitude da bacia, e por conta disso, toda a água que precipita naquele ponto tende a escoar para o ponto mais baixo, formando fluxos de direção. Além dessa área de drenagem dentro da bacia, podem existir as nascentes que também geram uma direção de fluxo até o ponto mais baixo, convergindo com outros rios. Dessa forma, podemos classificar a hidrografia através da confluência dos rios, chamando-se de rios de 1ª ordem, 2ª ordem, 3ª ordem e assim por diante, dependendo do número de confluências que cada rio possui (**Figura 2**). Os rios de primeira ordem são característicos de nascente que, quando encontram outro rio de mesma ordem, formam os rios de 2ª ordem, e assim, a cada confluência de rios de mesma ordem, vão se formando os rios de ordem seguinte até encontrarem um ponto exutório (Strahler, 1952).

Figura 2: Ordem ou hierarquia fluvial de acordo com Strahler (1952)



Fonte: (Marques; Bortoni; Gomes, 2012).

3.2.1. Hidrogeologia e dinâmica de escoamentos

Além dos direcionadores do fluxo de água, existem outros fatores que influenciam o escoamento superficial, determinados pelo contato entre a lâmina d'água e o solo. Esse contato pode ocorrer em superfícies com características mais arenosas ou mais argilosas, que variam de acordo com o tipo do solo. Outro fator é a existência de vegetação, grau de compactação do solo e impermeabilização (Tucci, 2009).

Em consequência dessa variação, o solo possui um coeficiente de rugosidade, que indica a velocidade do fluxo de água considerando a perda de carga gerada por esse atrito, quanto maior o escoamento, menor o grau de infiltração.

Em casos em que ocorre maior atrito e conseqüentemente menor escoamento, a água tende a infiltrar no solo em decorrência do coeficiente de condutividade hidráulica, da área da seção e do gradiente hidráulico. Após o processo de infiltração, ocorre também a percolação definida pelo coeficiente hidráulico (Horton, 1933).

3.2.2. Cobertura vegetal

A cobertura vegetal do solo gera maior atrito entre a superfície e a lâmina d'água, fazendo com que o escoamento seja menor. Além disso, as raízes e o menor grau de compactação de um solo com cobertura vegetal, podem gerar a infiltração da água de forma

mais facilitada no solo (Lima, 2008).

3.2.3. Relevo

Pensando em aspectos físicos, ainda temos a superfície do terreno, caracterizado pelo relevo, que garante que a água escoe do ponto de maior altitude para de menor altitude, sendo esse escoamento mais lento em casos em que essa diferença de altimetria é menor em uma área maior, e inversamente proporcional, o fluxo será mais rápido, onde a diferença for maior em uma área menor (Chow, 1959).

3.2.4. Clima

O clima também é outro fator que terá influência em uma bacia hidrográfica, pois uma das principais características da chuva é sua variabilidade espacial e temporal, fazendo com que um evento possa variar em magnitude e intensidade em uma determinada região. Essa característica está relacionada ao regime hidrológico da região, que por sua vez é uma consequência do ciclo hidrológico em conjunto com a dinâmica dos ventos e impactos antrópicos (Varejão-Silva, 2001). Exatamente por conta dessa característica, a chuva é considerada um evento contínuo e aleatório, sendo necessário um estudo e análise das séries históricas com dados consistentes e monitorados durante décadas.

3.2.5. Enchente e inundação

Durante um evento, a chuva irá seguir uma direção de fluxo, formando a rede de drenagem. Dessa forma, em eventos de grande magnitude e intensidade, a água fluirá para o mesmo ponto, aumentando o seu escoamento e, conseqüentemente, a vazão, sendo esse evento ainda mais intensificado em áreas com solo impermeabilizado. Assim, vão se formando as enchentes, inundações e alagamentos.

A diferenciação entre as classificações desse acúmulo de água varia de acordo com o local em que ele ocorre, como representado na Figura 3. Portanto, as enchentes podem ser classificadas como um aumento do nível d'água do leito do rio, gerando seu transbordamento próximo à várzea. As inundações podem ser apresentadas pelo aumento mais expressivo do nível d'água no leito do rio, inundando a várzea maior do rio. Já o alagamento é o acúmulo de água em área urbana, ocasionado por falha ou mal planejamento da rede de drenagem.

Figura 3: Representação de inundação, enchente e alagamento



Fonte: Ministério das Cidades (IPT, 2007)

3.2.6. Perigo, risco e desastres

As inundações são processos que ocorrem naturalmente. A frequência de ocorrência destes eventos costuma ser calculada com base no tempo de retorno da chuva que os causa, um conceito determinado através de estatística probabilística, em que, quanto maior o tempo de retorno de uma chuva, maior sua intensidade e menor a sua frequência de ocorrência (Silveira; Goldenfum, 2007). Portanto, o extravasamento recorrente do rio caracteriza-se como um perigo de inundação, por conta da frequência que tal evento acontece, e que está relacionado à probabilidade de ocorrência de um evento potencialmente danoso (Goerl, 2013).

Já um risco de inundação será considerado quando ocorrer a junção do perigo de inundação com exposição e vulnerabilidade de pessoas, ou seja, o termo perigo pode ser utilizado em todo evento, mas em eventos onde pessoas podem ser impactadas consideramos como um risco (Alcántara-Ayala, 2002), sendo essas terminologias apresentadas na Figura 4.

Figura 4: Diagrama de risco e perigo de inundação



Fonte: MCTI, 2021.

De acordo com o relatório do IPCC (2021), as perturbações climáticas são geradas quando um evento é modificado em decorrência dos impactos das mudanças climáticas, ocasionando eventos que se diferenciam dos demais em intensidade, duração e frequência, podendo ser intensificados pelas ações antrópicas. Em inundações causadas por eventos extremos, a área de inundação é maior, bem como a velocidade e profundidade do fluxo de água, aumentando a exposição de pessoas (Muhadi *et al.*, 2020).

3.2.7. Intensidade, evolução e duração

Além da quantidade precipitada, ainda existem outros fatores que contribuem para uma inundação, como, por exemplo, o tempo de duração de uma chuva. Assim, na análise hidrológica calculamos a intensidade de um evento por meio da quantidade de chuva precipitada em um período de tempo. Entretanto, não é a única variável que determina a ocorrência de inundações, por exemplo, uma chuva que se inicia em alta intensidade pode gerar menos impacto que uma chuva que teve uma intensidade inicial menor, pois inicialmente o solo estava seco, levando um tempo de absorção até que ocorresse o escoamento superficial. Já uma chuva que se inicia com baixa intensidade e depois de um período sofre um aumento, o solo vai absorvendo a água durante o primeiro período, até chegar ao seu ponto de saturação, e quando o maior pico acontece já resulta no escoamento superficial e conseqüentemente gera maior impacto.

Outra dinâmica que também influencia uma inundação é a propagação de onda na bacia hidrográfica; toda a rede de drenagem flui para o ponto exutório, e como resultado disso, temos a propagação da chuva. Quando ocorre uma precipitação intensa durante um longo período ou ainda um acumulado, essa variação do nível de água se propaga no canal em forma de onda, até que seja enfraquecida em uma planície de inundação ou que deságua no exutório, podendo propagar uma inundação em áreas que nem foram atingidas pela chuva (Tucci, 2009).

Em consequência desses fatores, é de extrema importância que cada município faça o monitoramento integrado de suas bacias hidrográficas, pois através do monitoramento é possível que esses eventos sejam mapeados e estimados (Kobiyama *et al.*, 2006).

De acordo com o governo federal, 1.942 municípios possuem perigo de inundação, o que representa 35% do total de municípios brasileiros (Agência Brasil, 2024). Mesmo assim, apesar de um número considerável, o plano de gerenciamento de risco não é efetivamente praticado pelos municípios, pois seu desenvolvimento pode acarretar um custo elevado, em decorrência dos estudos de mapeamento e monitoramento de áreas.

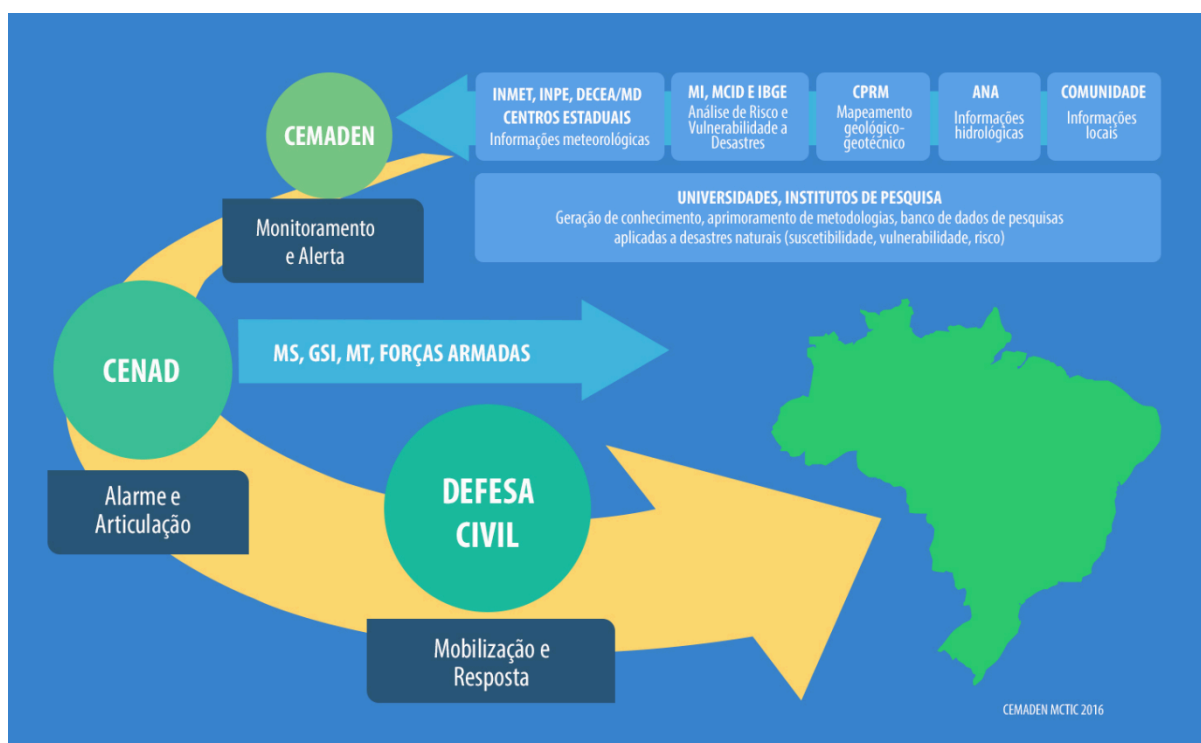
3.2.8. Defesa civil e CEMADEN

Em 2011 ocorreu um dos maiores desastres naturais do Brasil, os deslizamentos na região serrana do Rio de Janeiro, que deixaram 900 mortos e 35 mil pessoas desabrigadas (CEMADEN, 2021). Após esse evento, o governo federal criou o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), que passou a monitorar áreas críticas de desastres naturais através de dados obtidos por diferentes órgãos governamentais como ANA, INMET, INPE e o IBGE (CEMADEN, 2016). Apesar de ser uma ferramenta valiosa no monitoramento de desastres naturais, o CEMADEN não possui cobertura nacional, atuando apenas em áreas críticas de grandes centros urbanos. Portanto, esse monitoramento em tempo real não acontece na maior parte do Brasil, considerando que, por sua grande extensão territorial, o país tem uma predominância de 50,1% de áreas rurais (Embrapa, 2020), sendo grande parte excluída do monitoramento desenvolvido pelo CEMADEN.

Como forma de garantir essa etapa essencial da gestão de riscos, cada município deve possuir a defesa civil, um órgão governamental que tem como função atuar na mitigação de desastres naturais ou acidentes antrópicos em escala local. Mesmo que em graus de estruturação diferentes, por conta de financiamento público, a defesa civil de cada município deve estar preparada e instruída a atuar na linha de frente de eventos emergenciais.

A atuação da defesa civil é resultado de uma articulação entre o CEMADEN e as prefeituras, ou seja, a defesa civil é quem recebe o alerta de desastre natural, podendo ter um tempo de resposta mais rápido ao desastre por estar presente no município. Dessa forma, ela é responsável pelo resgate e suporte imediato à população afetada, como representado na Figura 5.

Figura 5: Fluxo de ações de monitoramento e respostas a desastres naturais



Fonte: CEMADEN, 2016.

Uma das formas de mitigação adotadas pela defesa civil é o formulário de Avaliação de Danos (AVADAN), que deve ser preenchido quando ocorre um desastre natural ou em decreto de calamidade pública. O formulário tem caráter documental, registrando os eventos e informações relevantes, servindo como um documento legal que comprove a ocorrência do desastre.

Apesar de ser uma forma útil de coleta de dados, levantamento de áreas afetadas, danos humanos e materiais, o formulário só é preenchido após o desastre. Isso significa que existe uma resposta ao dano, mas não uma etapa de planejamento que antecede o desastre.

Mesmo sendo essa uma obrigação determinada pela Lei nº 12.608/2012, por meio da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), apenas 40,6% dos municípios brasileiros possuem um plano de gerenciamento de risco (IBGE, 2018). No contexto de desastres ambientais, isto é uma lacuna nas medidas de prevenção. O plano deveria funcionar

como uma medida preventiva aos danos, especialmente diante da ausência de monitoramento em tempo real.

Quando analisamos o mapeamento de riscos a desastres naturais, o maior risco está associado a eventos hidrológicos: inundações, enxurradas e deslizamentos (UFSC, 2013). Em grande parte do Brasil existe um déficit na geração e no monitoramento de dados hidrológicos. Quando esses dados existem, muitas vezes não são sistematizados, ou ainda há, na maioria dos casos, há um déficit no armazenamento a longo prazo, resultando em falhas ou inconsistências.

Dessa forma, a ausência de identificação e de monitoramento adequado desses dados compromete uma etapa essencial para o desenvolvimento do mapeamento de manchas de inundações e para a elaboração de planos de gerenciamento de riscos. Além do alto custo para instalação, manutenção de estações pluviométricas e monitoramento das séries hidrológicas, o desenvolvimento de um plano de gerenciamento de risco requer um grande investimento de recursos financeiros para financiar obras de mitigação, estudos técnicos e planos de ação.

3.3. CIÊNCIA CIDADÃ

O termo ciência cidadã começou a ser difundido a partir de 1990 pelos cientistas Alan Irwin e Rick Bonney, de forma separada. Alan Irwin propõe em seu trabalho “*Study of People, Expertise and Sustainable Development*” que a ciência cidadã é um movimento sociológico político, que permite a participação da sociedade no desenvolvimento da ciência. Mesmo que sem formação técnica, considera que as pessoas podem contribuir com seu conhecimento adquirido pela sua vivência e de seus antepassados (Irwin, 1995). De acordo com Irwin, a contribuição dos cidadãos não se limita a co-participantes na coleta de dados, mas também reconhece os cidadãos como atores ativos no processo científico, capazes de levantar problemas, questionar métodos e influenciar agendas.

Já Rick Bonney desenvolveu o termo ciência cidadã como uma prática metodológica, em que os cidadãos participam na contribuição do levantamento e análise dos dados, sendo uma forma de ampliar a coleta de dados (Bonney, 1996).

Desde então, a ciência cidadã vem ganhando destaque em diversos trabalhos como forma de reconhecer os conhecimentos costumeiros através do engajamento de comunidades locais, democratizando o desenvolvimento científico, sem limitar-se apenas a estudantes e cientistas, mas abrangendo cidadãos e seus familiares que de fato vivenciam uma

determinada realidade.

De acordo com Bonney *et al.* (2009), existem três classificações para o uso da ciência cidadã como metodologia: a contributiva, a colaborativa e a co-criação. Na ciência cidadã contributiva, as pessoas participam coletando as informações ou realizando determinadas tarefas, já a colaborativa inclui a participação em etapas mais avançadas de um projeto, como análise de dados e na co-criação, o projeto é desenvolvido em parceria entre cidadãos e ciências, em todas as etapas.

A prática da ciência cidadã foi se consolidando ao longo dos anos como um resultado de diversos fatores, desde avanços tecnológicos que permitiram que os cidadãos contribuíssem de forma mais ativa e em tempo real por meio de aplicativos e redes sociais, até a aplicação em diferentes áreas de pesquisa. Inicialmente, a metodologia foi mais aderente a pesquisas relacionadas à biodiversidade e monitoramento biológico, e com o passar dos anos, expandiu-se para outras áreas como a aplicação na hidrologia, tendo como destaque seu uso para o mapeamento de inundações e deslizamentos durante o maior desastre natural do Rio Grande do Sul, ocorrido no ano de 2024 (UFRGS, 2024).

Além de aplicar à coleta de dados em áreas de vulnerabilidade, o uso da ciência cidadã como ferramenta metodológica pode estimular o senso de participação e envolvimento da sociedade, contribuindo para a educação ambiental e fortalecendo soluções locais para problemas ambientais. A participação da comunidade em pesquisas acadêmicas é uma rica abordagem, pois reconhece hábitos que a população adota como boas práticas, contribuindo para a resiliência das comunidades, dando destaque aos tomadores de decisão sobre as necessidades e especificidades locais.

Apesar de apresentar diversos benefícios, o uso de ciência cidadã ainda possui algumas limitações, por se tratar de uma metodologia que se aplica a diferentes pessoas como fonte ou produtoras de informações, gerando uma imprecisão ou a falta de padronização na coleta de dados, e ainda, quando aplicado a projetos a longo prazo, pode depender do comprometimento e engajamento contínuo da comunidade.

3.4. MUDANÇAS CLIMÁTICAS

A atmosfera terrestre possui diversas camadas. Em sua camada mais interna, a troposfera, está a maior concentração de gases do efeito estufa, como por exemplo o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄), o óxido nitroso (N₂O) e gases industriais (CFCs e HFCs) (IPCC, 2022). De modo geral, a concentração desses gases é um processo natural que ocorre

por meio da liberação de carbono resultante de vulcões em erupção, incêndios florestais, decomposição de matéria orgânica e respiração de seres vivos. É através desses gases que a Terra se mantém em uma temperatura ótima para o desenvolvimento da vida, pois essa camada permite que o calor emitido pelos raios solares fique retido no planeta.

Esse processo natural passou a ser intensificado com as ações antrópicas, que passaram a extrair o carbono presente no solo como fonte de energia, emitindo ainda mais gases, e conseqüentemente, aumentando a espessura dessa camada. Em decorrência disso, a terra está passando por um superaquecimento relacionado às mudanças climáticas, que altera toda a sua dinâmica ambiental e impacta o regime das chuvas e no degelo de calotas polares, além de gerar insegurança alimentar e migrações por falta de condições de vida digna ou até mesmo, em casos mais críticos, gerado pelo perigo à vida (IPCC, 2023).

Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2022), as mudanças climáticas são alterações significativas nos padrões climáticos de forma contínua, sendo registradas com avanços ao longo de décadas. Esse processo pode ocorrer tanto como resultado de ações antrópicas quanto de processos naturais. Já no Brasil, a Lei nº 12.187/2009, que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima, define mudanças climáticas como a alteração do clima resultante da atuação direta ou indiretamente do homem, que modifica a composição da atmosfera (Brasil, 2009).

Dessa forma, podemos considerar as mudanças climáticas como alterações dos padrões climáticos globais que ocorrem de modo natural, mas que estão sendo cada vez mais intensificadas pelas atividades humanas. Um exemplo disso foi registrado no ano de 2024, que bateu o aumento de mais de 1,5 graus na temperatura média global, enquanto esperava-se que esse valor fosse atingido apenas em 2030 (ONU, 2025).

3.5. EVENTOS EXTREMOS

Quando somamos a dinâmica do ciclo hidrológico com as mudanças climáticas, temos como resultado um impacto em eventos climáticos extremos, como ondas de calor, chuvas intensas, enchentes, secas prolongadas e ciclones. No ciclo hidrológico, o sol é a força motriz para que a água evapore, assim, como consequência do aquecimento global, o aumento da temperatura média da Terra intensifica a evaporação e altera a distribuição do vapor de água na atmosfera, modificando os padrões de precipitação (CEMADEN, 2024). Assim, algumas regiões tendem a ter um regime de precipitação mais intenso e de maior magnitude, enquanto em outras áreas mais áridas, o aumento da evaporação não necessariamente gera precipitação,

mas sim escassez hídrica.

Os impactos das mudanças climáticas ainda são um campo com grandes oportunidades de desenvolvimento, entretanto estudos já mostram que essa variabilidade temporal e espacial da precipitação está ficando cada vez mais intensificada, gerando extremos, áreas mais áridas estão sofrendo secas históricas, e áreas mais úmidas estão registrando inundações com cada vez mais frequência.

3.6. EL NIÑO E LA NIÑA

Outro fenômeno natural, mas que está sendo cada vez mais intensificado com as mudanças climáticas e gerando alterações no regime hidrológico são os fenômenos El Niño-Oscilação do Sul (ENOS), em que ocorre a alteração das temperaturas do oceano pacífico. Essa alteração pode ser pelo aquecimento da água, em períodos de El Niño, ou resfriamento, durante a La Niña (Marengo *et al.*, 2011).

Apesar de serem caracterizados pela mudança da temperatura, os ENOS não se restringem a isso. Eles são um fenômeno que impacta toda a interação entre a atmosfera e a Terra, pois são causados por conta da dinâmica dos ventos alísios com a corrente de Humboldt, que podem enfraquecer a célula de Walker, como é o caso de anos de El Niño, ou fortalecê-la, em anos de La Niña (IPCC, 2021).

Essa variação da temperatura também gera impacto no regime hidrológico, assim como as mudanças climáticas, intensificando os eventos extremos. Os primeiros grandes eventos registrados como El Niño ocorreram em 1982, batendo uma marca de 2,3°C acima da temperatura média do oceano (NOAA, 2023). O índice utilizado como escala é o ONI (Oceanic Niño Index), onde 0 é considerado dentro da escala média da temperatura do oceano e mais de 2°C é considerado um evento muito forte (Glantz; Ramirez, 2020).

3.7. SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)

O geoprocessamento é uma ferramenta muito utilizada para análise de dados georreferenciados que permite a sobreposição de camadas e dados que facilitam a representação da Terra em escala. Essa representação é desenvolvida em um Sistema de Informações Geográficas (SIG), que envolve *hardware*, *software* e dados. Segundo Aronoff (1989), o SIG é um conjunto computacional que opera utilizando dados georreferenciados para armazená-los e manipulá-los de acordo com o objetivo da análise.

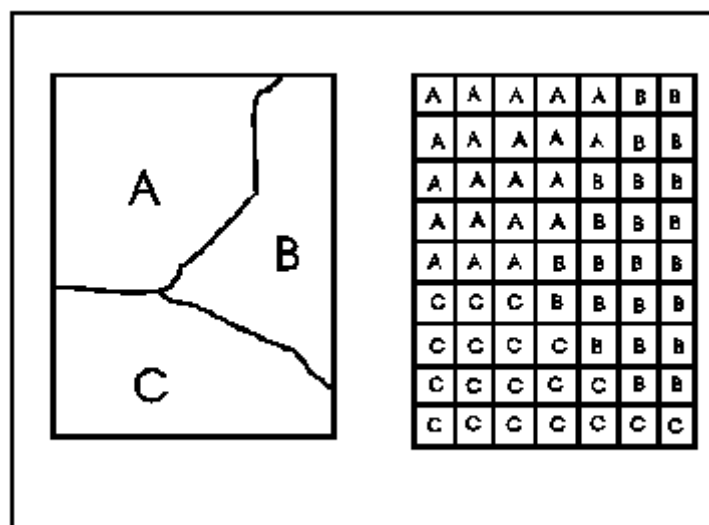
Dentro do SIG são aceitas diversas técnicas de geoprocessamento, em que os arquivos possuem formatos raster ou vetor. Os arquivos raster são pixels que possuem informações como coordenadas geográficas, altimetria e dados espectrais. Quanto menor a resolução de um pixel, mais precisa será a análise.

Já os vetores são pontos, linhas ou polígonos que podem ser utilizados em camadas em conjunto com os rasters para delimitar ou marcar algum ponto. Dessa forma, esse conjunto de propriedades permite diferentes análises que podem ser ainda mais complexas, quando utilizadas em conjunto com as ferramentas de SIG, que permitem, além do desenvolvimento e visualização de mapas, modelagem espacial e auxiliar na tomada de decisões por meio de análises de geoprocessamento.

3.8. MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO (MDE)

Os modelos digitais de elevação são arquivos rasters que possuem valores de altimetria em cada pixel, ou seja, um MDE é um conjunto de pixels que foi adequado para uma determinada superfície, onde algumas coordenadas geográficas são pontos conhecidos, e por meio de interpolação obtém-se os valores dos pixels restantes. Essa parametrização da malha de pixel gera uma superfície representativa da superfície terrestre como representada na Figura 6.

Figura 6: Representação vetorial e matricial do raster



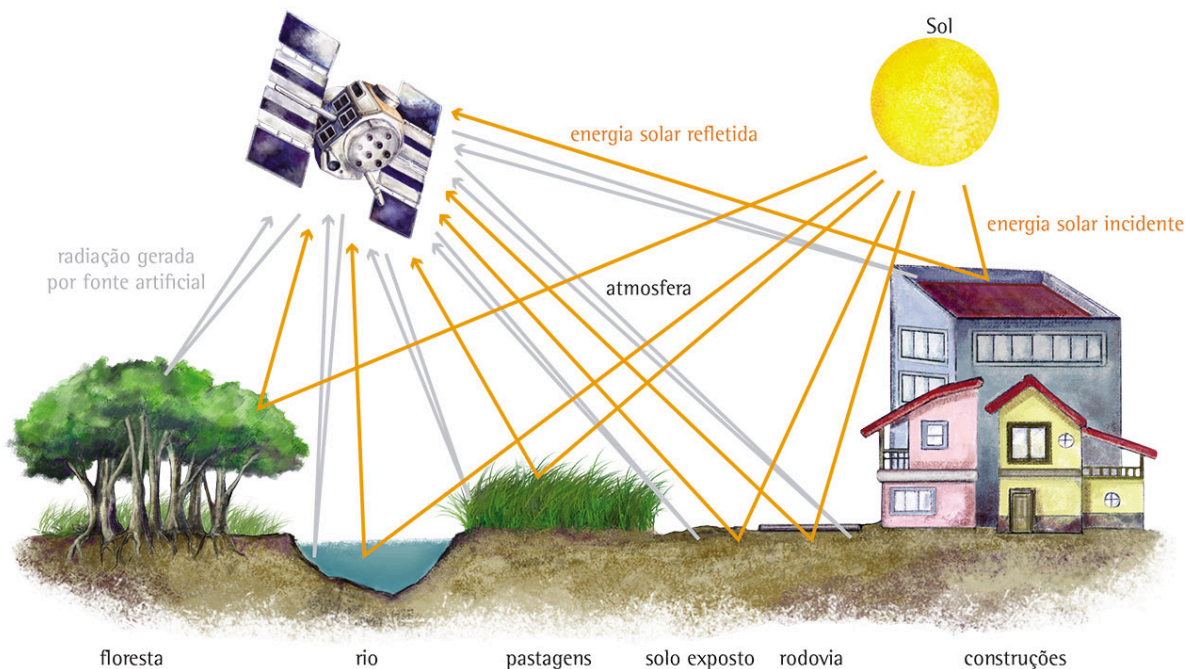
Fonte: Câmara *et al.* (1996)

No contexto da Guerra Fria, foi realizado um grande investimento pelos países em tecnologia espacial, entretanto, grande parte dos satélites monitorados naquele período era

para uso militar. Nesse período foi lançado o Landsat 1, o primeiro satélite civil com dados públicos, por meio de uma parceria entre NASA e USGS, tendo como objetivo realizar um monitoramento dos recursos naturais da Terra.

As imagens de satélite são geradas por meio da reflectância, podendo ser por uma fonte de radiação própria, em casos de satélites ativos, ou radiação solar, em caso de satélites passivos, como representado na Figura 7 pelas setas cinzas e laranjas, respectivamente. Ou seja, a luz é emitida por ondas magnéticas que são refletidas na Terra e, dependendo do material com que elas coincidem, refletirão um valor da fração da radiação. Esse valor depende de algumas propriedades do material, como por exemplo, o quanto ele absorve de luz e sua rugosidade, que irá definir o tipo de objetos como corpos d'água, vegetação, solo e construções. Dessa forma, as imagens são captadas em diferentes pontos, coletando também outros dados, como coordenadas e altimetria.

Figura 7: Ilustração do funcionamento de um satélite



Fonte: IBGE, [s.d.]

Entretanto, quando o objetivo é gerar MDE, o princípio não é baseado na reflectância, mas sim no tempo de retorno do sinal emitido (no caso de sensores ativos como LiDAR e radar) ou em técnicas de estereoscopia, em casos de imagens ópticas adquiridas em pares.

Na Figura 7, ainda é possível notar que as ondas de luz refletidas em objetos que não a superfície do solo geram uma superfície distorcida da realidade em que a altura da vegetação, solo, construções e nível da lâmina d'água em cursos de água, são representados

da mesma forma, como se fossem a superfície do solo. Esse tipo de modelo é denominado Modelo Digital de Superfície (MDS). Quando essas altimetrias consideram apenas a superfície do solo, corrigindo a altura da vegetação, de construções e árvores, esse modelo é denominado Modelo Digital de Terreno (MDT) (Dantas, 2018).

Essas correções geram erros atrelados ao modelo, pois a correção de altura das construções e vegetação muitas vezes não representa a realidade de forma precisa. Além disso, na parametrização de dados altimétricos podem ser gerados erros por interpolação, que em conjunto com a baixa resolução espacial, podem acabar gerando representações mais genéricas de uma determinada área.

Os modelos gerados a partir de imagens de satélites públicos e com baixa resolução são uma das formas mais acessíveis de obtenção de um MDE, contudo existem essas limitações relacionadas ao processo de interpolação e parametrização dos dados. Para áreas de estudo maiores sua utilização pode ser eficiente, mas para áreas de estudo menores é recomendado a utilização de um MDE com uma resolução mais detalhada.

Ainda existem outros métodos de obtenção de MDE que podem possuir resoluções maiores, como a fotogrametria aérea e as cartas topográficas. No caso da fotogrametria, são imagens feitas por drones e Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTS) que, apesar de possuírem alta resolução, são mais aplicados para áreas menores (Torres *et al.*, 2009).

3.8.1. ANADEM

No ano de 2024, foi realizada uma parceria entre a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e o Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH-UFRGS) que desenvolveu um modelo digital de elevação, o ANADEM. O modelo utiliza imagens de satélite do Copernicus GLO-30 (COPDEM), que é o DEM global mais preciso disponível gratuitamente (Laipelt *et al.*, 2024).

O MDE disponibilizado por meio do ANADEM possui correções de vegetação realizadas através do aprendizado em máquina alimentado pelos dados do *Global Ecosystem Dynamics Investigation* (GEDI). O modelo prevê o erro da vegetação do COPDEM, identificando a presença de cobertura vegetal e a diferença de altura entre a copa de árvore e o solo. Assim, é realizada a correção para todo o território, inclusive em áreas que o GEDI não possui cobertura, por meio de estimativas geradas pelo modelo. Para a validação foram utilizados dados do ICESat-2.

Com base nessa diferença entre altitude mais elevada (copa da árvore) e altitude menos elevada (solo), é feita uma reclassificação onde é corrigida a altura da árvore no MDE. Essa identificação é feita por tecnologia *Light Detection and Ranging* (LiDAR), que emite feixe de laser e calcula a altura pelo seu tempo de retorno das árvores e do solo.

Dessa forma, o ANADEM está disponível de forma gratuita para toda a América do Sul, reduzindo os erros médios de altimetria de 9,6m para 1,5m, comparando o modelo corrigido com o MDE original do Copernicus GLO-30 (Laipelt *et al.*, 2024).

3.9. MODELO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO

Uma das formas de simular como o regime hídrico se comporta em diferentes localidades é através da modelagem hidrológica e da modelagem hidráulica. Na modelagem hidrológica, o objetivo é representar os processos do ciclo hidrológico transformando a chuva em vazão, de acordo com as características de cada bacia. Para isso, são necessários dados de séries históricas, chuvas de projeto, MDE, tipos de solo, parâmetros como o Curve Number, além da calibração do modelo com dados observados.

Já a modelagem hidráulica busca simular a propagação da vazão pelos canais de drenagem. Nesse caso, os dados são ainda mais complexos, pois exigem, além de um MDE, informações sobre a geometria do leito do rio, obtidas por meio de batimetrias ou imagens de satélite, bem como vazão de entrada, condições de contorno e diferentes coeficientes de rugosidade que representem o leito e a planície de inundação.

Esses modelos utilizam formulações matemáticas de alta complexidade, como as equações de Saint-Venant aplicadas em simulações hidráulicas, além de métodos de transformação de chuva em vazão empregados em estudos hidrológicos. Na prática, esses cálculos são realizados por ferramentas computacionais que facilitam sua aplicação, sendo amplamente utilizados os *softwares* HEC-HMS e HEC-RAS, ambos desenvolvidos pelo U.S. *Army Corps of Engineers* (USACE). Esses *softwares* automatizam as etapas de processamento e permitem representar tanto o comportamento de eventos de cheia quanto a extensão das áreas com potencial de inundação.

Apesar de serem *softwares* de acesso gratuito, sua aplicação depende de um grande volume de dados de entrada, que muitas vezes não estão disponíveis ou apresentam falhas, exigindo correções que aumentam as incertezas dos modelos. Um exemplo recorrente são as

lacunas existentes nas séries históricas e as limitações dos MDEs de baixa resolução, em que podem apresentar diferenças de 1 a 2 metros na altimetria (Laipelt *et al.*, 2024), dependendo da área de estudo, e comprometer a confiabilidade das manchas de inundação.

Uma alternativa para suprir essas limitações, seria a produção de dados de alta precisão, como levantamentos LiDAR, mas isso demanda um alto recurso financeiro e técnico, tornando muitos estudos inviáveis e contribuindo para o cenário atual de falta de mapeamento em áreas com alta desigualdade e vulnerabilidade a esses riscos.

Assim, o mapeamento de áreas suscetíveis a inundações torna-se cada vez mais urgente diante do aumento da frequência de eventos extremos relacionados às mudanças climáticas. Esse cenário reforça a necessidade de metodologias mais acessíveis, que possam ser aplicadas em diferentes contextos e que mantenham níveis de confiabilidade próximos aos alcançados por processos mais robustos.

3.10. HAND MODEL

Um exemplo de metodologia mais simplificada é o *Height Above Nearest Drainage* (HAND MODEL), desenvolvido pelo INPE em parceria com o CEMADEN. O modelo tem como base o uso de MDE, nos quais as altitudes são normalizadas em relação ao canal de drenagem mais próximo. Assim, cada célula do terreno recebe um valor que corresponde à diferença de altura em relação ao curso d'água mais próximo, obtido pelo método do vizinho mais próximo. Esse processo começa com a definição de um limiar de drenagem, que determina quais áreas acumulam fluxo suficiente para serem consideradas parte da rede hidrográfica. Em seguida, são calculadas as alturas relativas acima dos canais, que podem ser classificadas em faixas, permitindo a inserção de diferentes cotas de inundação e a análise de cenários distintos.

Por ser um modelo geomorfológico, o HAND não realiza simulações hidráulicas completas. Isso significa que ele não descreve o fluxo da água nem a propagação da onda de cheia, limitando sua capacidade de representar a dinâmica real da inundação. Entretanto, mesmo com essa limitação, o modelo é capaz de gerar manchas de inundação potenciais de forma prática e acessível, servindo como ferramenta para o mapeamento preliminar de áreas suscetíveis (Curdas *et al.*, 2012). Esse tipo de abordagem é especialmente relevante no contexto brasileiro, onde a escassez de dados hidrológicos e hidrométricos torna inviável a aplicação de modelos mais robustos. Nesse sentido, o HAND se apresenta como uma alternativa de baixo custo e aplicável a diferentes bacias, contribuindo para suprir a ausência

de mapas de vulnerabilidade à inundação em municípios com déficit de informações técnicas (Rennó *et al.*, 2008).

3.11. ACURÁCIA DAS MANCHAS DE INUNDAÇÃO

Existem algumas análises estatísticas que podem verificar a acurácia de uma mancha de inundação simulada, avaliando o quão preciso o mapeamento da mancha está com relação à realidade de um evento, sendo essencial para compreender o desempenho da modelagem. Dessa forma, existem diferentes análises que podem ser aplicadas para fundamentar a precisão do modelo, avaliando o desempenho estatístico e a correspondência da mancha simulada e de manchas observadas (Trigg *et al.*, 2016).

Uma forma eficiente de avaliar a precisão de uma simulação é através da construção de uma matriz de confusão, que relaciona os acertos e erros de classificação, em que são apresentados Verdadeiros Positivos (VP), Verdadeiros Negativos (VN), Falsos Positivos (FP) e Falsos Negativos (FN). A partir dessa matriz, são realizadas outras análises estatísticas que avaliam diferentes desempenhos, sendo cada uma específica para uma análise (Story; Congalton, 1986).

Dentre as métricas utilizadas está a Acurácia Geral (AG), que corresponde à proporção total de pixels corretamente classificados em relação ao conjunto analisado. Trata-se de uma análise, frequentemente utilizada como indicador inicial de confiabilidade (Story; Congalton, 1986).

A Taxa de Alarme Falso (TAF) mensura a proporção de áreas que o modelo classificou como inundadas, mas que não estavam alagadas na realidade. Essa métrica é essencial no desenvolvimento de mapas para gestão de risco, pois a superestimação de áreas afetadas pode gerar alarmes indevidos e custos adicionais para o poder público (Bates; De Roo, 2000).

O índice de acurácia geral pode gerar acertos por acaso, portanto é necessária a utilização do Índice Kappa (K), que expressa o grau de concordância além do que seria esperado aleatoriamente, sendo amplamente utilizado em estudos de classificação de imagens e modelagem ambiental. Em sua escala, quanto mais próximo o índice estiver de 1, maior a taxa de acerto (Landis; Koch, 1977).

Outra métrica amplamente utilizada na avaliação de modelos é o F1-Score, que combina, por meio de uma média harmônica, a Precisão e a Revocação, permitindo avaliar

simultaneamente os casos em que o modelo deixou de identificar uma classe e aqueles em que classificou incorretamente determinado elemento.

Aplicado à análise e classificação de manchas de inundação, o F1-Score representa o equilíbrio entre os erros de comissão (quando o modelo indica que uma área está inundada, mas ela não está) e de omissão (quando uma área é realmente inundada não é identificada pelo modelo).

O valor ideal para essa métrica é igual a 1, o que indica máxima correspondência entre os resultados simulados e observados, ou seja, um modelo fiel à realidade (Morgan; Ming; Messner, 2021).

Ou seja, cada métrica destaca diferentes indicadores de desempenho, a AG fornece uma visão geral sobre a simulação, o Kappa analisa os valores gerados por acaso, e a TAF identifica a superestimação.

3.12. POLÍTICAS PÚBLICAS

Em âmbito nacional, o Brasil possui o Plano Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDC), que tem como objetivo identificar, prevenir, mitigar e monitorar respostas a desastres naturais. O plano entrou em vigor em 2024, substituindo o Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres, criado em 2012 em conjunto com o CEMADEN como resposta aos desastres naturais daquela época. A atualização de 2024 surgiu diante das necessidades de adaptação e resiliência das cidades frente aos impactos das mudanças climáticas. Dessa forma, o plano estabelece as diretrizes e ações estruturais que promovem a integração entre diferentes níveis governamentais na gestão de riscos de desastres (Brasil, 2024a). Entre suas ações, estão previstas políticas públicas voltadas à população em situação de vulnerabilidade, com foco no mapeamento de risco, em soluções baseadas na natureza e no envolvimento comunitário, como o programa Periferia sem Risco e o projeto Hidro, que busca prever inundações para ampliar o tempo de resposta e minimizar impactos (Brasil, 2024c).

Ainda em nível federal, em 2024, foi aprovado o Plano Nacional de Gestão Integral de Risco de Desastres, estruturado em quatro eixos: conhecimento dos riscos, prevenção e redução, monitoramento e alerta e comunicação do risco (Brasil, 2024b).

Nos municípios, cada cidade deve possuir um plano diretor, obrigatório por lei para localidades com mais de 20 mil habitantes, contemplando medidas para evitar ocupações em

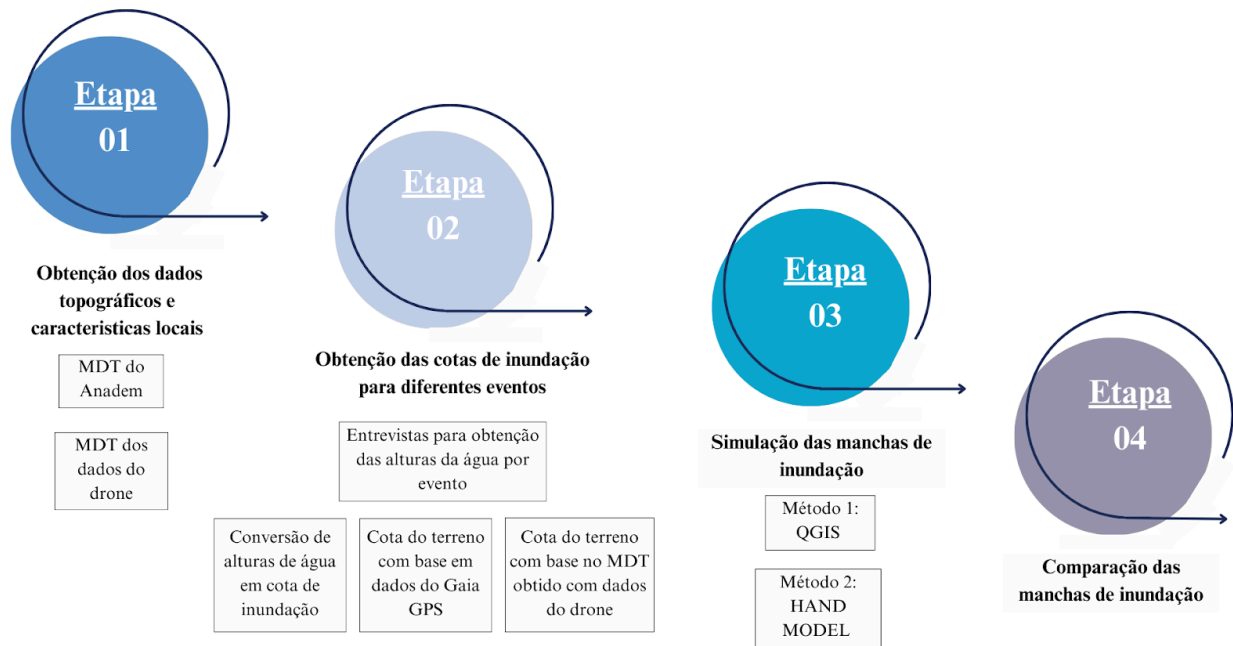
áreas suscetíveis a inundações e, assim, reduzir a vulnerabilidade urbana (Brasil, 2023). Nessa mesma lógica de planejamento, destacam-se outros instrumentos relacionados a inundações e drenagem urbana, como os Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSB), instituídos pela Lei nº 11.445/2007, e os planos de gerenciamento de risco (Brasil, 2007).

Além das políticas em nível nacional e municipal, há também os planos aplicados às bacias hidrográficas, reconhecidas como unidades de gestão dos recursos hídricos. Esses planos orientam o uso múltiplo da água e incorporam diretrizes de gestão de riscos. São elaborados por comitês formados por usuários, empresas, especialistas e agências de água, prevendo medidas de controle de cheias, preservação de áreas ripárias e monitoramento hidrológico (ANA, 2022). Em alguns casos, incluem análises de vazão e de operação de reservatórios, fundamentais para mitigar impactos de cheias a jusante e garantir a segurança hídrica e energética.

4. METODOLOGIA

O trabalho tem como objetivo mapear as áreas de inundação no município de Campina do Monte Alegre- SP a partir de dados de ciência cidadã, utilizando dois métodos diferentes a fim de compará-los. Para isso, adotou-se o fluxo metodológico apresentado na Figura 8. A primeira etapa refere-se à obtenção dos MDEs (com diferentes resoluções) e ao levantamento de informações que caracterizam a região e sua dinâmica local, sendo etapas fundamentais para o desenvolvimento e compreensão das manchas de inundação. A segunda etapa consiste no levantamento de dados hidrológicos por meio de ciência cidadã, que buscou registrar as alturas atingidas pelas inundações através de entrevistas com moradores das áreas afetadas, sendo essas informações usadas como base para a etapa seguinte. Na terceira etapa, foram realizadas as simulações das manchas de inundação e na quarta etapa foi realizada a análise e comparação dos resultados obtidos.

Figura 8: Fluxograma das etapas do trabalho



Fonte: Autor da pesquisa, 2025.

4.1. ÁREA DE ESTUDO

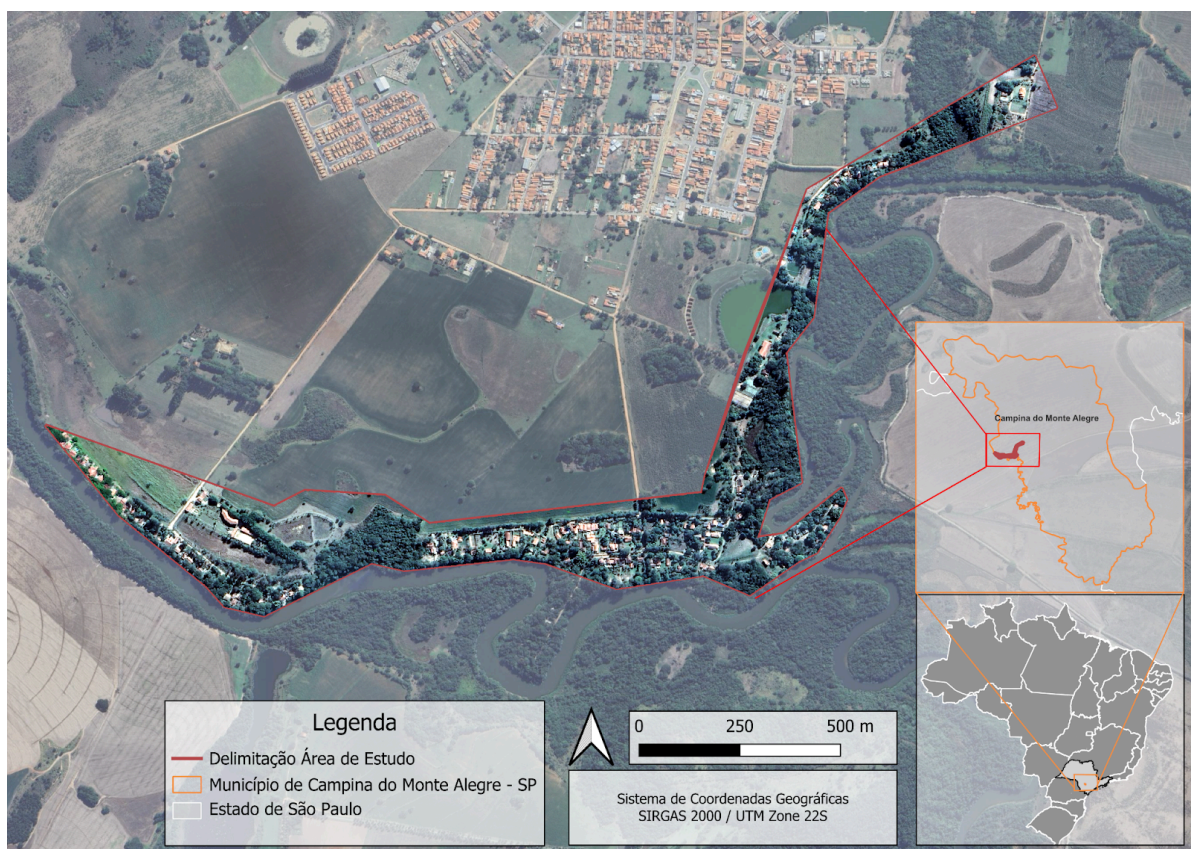
A área de estudo está inserida no município de Campina do Monte Alegre, localizado na região sudoeste do Estado de São Paulo, sob as seguintes coordenadas geográficas: latitude 23°35'31" Sul e longitude 48°28'38" Oeste. O município integra a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos nº 14 (UGRHI 14), correspondente à Bacia Hidrográfica do Alto Paranapanema. Em seu território, estão presentes importantes cursos d'água da bacia, como o Rio Paranapanema e o Rio Itapetininga (IBGE, 2022).

Situada em área de planície, Campina do Monte Alegre teve origem em 1870, com o estabelecimento de duas famílias às margens dos rios (Campina do Monte Alegre, [s.d.]). Com o passar dos anos, formou-se uma pequena comunidade, marcada por tradições rurais que transmitiram hábitos e culturas entre gerações. O território passou a ser considerado distrito de Angatuba em 1959 e posteriormente emancipado como município em 1991. Atualmente, é considerada uma cidade de pequeno porte, com cerca de 6 mil habitantes, destacando-se pelo engajamento com o ecoturismo e pela preservação de um ambiente natural.

Além disso, em sua comunidade é possível identificar marcas estruturais ocasionadas por eventos hidrológicos, sendo uma área frequentemente afetada por inundações intensas que permitem o registro histórico realizado pela própria população, como marcações em postes e construções, prática que ultrapassa gerações e evidencia a consciência social sobre a ocorrência das cheias.

Na área delimitada para a pesquisa, localizada próxima ao perímetro urbano e junto à confluência dos rios Itapetininga e Paranapanema, concentram-se aproximadamente 100 construções, habitadas por moradores fixos e esporádicos. Essa região é a mais exposta ao risco de inundação e foi definida como a principal área de interesse para as análises desenvolvidas (Figura 9).

Figura 9: Mapa de localização da área de estudo e região onde foram realizadas as entrevistas.



Fonte: Autor da pesquisa, 2025

4.2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E A INFLUÊNCIA DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO

Considerando a influência de diversos fatores que podem ocasionar um evento extremo, foi realizada uma análise de características de solo, clima e relevo em toda a unidade de gestão hidrográfica, a bacia do Alto Paranapanema. Assim, para desenvolvimento de mapas de tipo e uso do solo, utilizaram-se dados públicos disponibilizados no site da Secretaria do Meio Ambiente, Estrutura e Logística (SEMIL) do estado de São Paulo e dados espaciais disponibilizados pelo DATAGEO.

4.3. OBTENÇÃO DOS MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO

Para o desenvolvimento das manchas de inundação em uma área de estudo considerada pequena, é necessário um modelo digital de elevação com maiores resoluções, que consequentemente permite uma precisão maior dos resultados quando comparado às manchas geradas por modelos de resolução menores, como os de 30 m.

Para isso foi utilizado MDT gerado a partir de um levantamento aerofotogramétrico realizado como parte do escopo do projeto intitulado “Avaliação de ferramentas de modelagem hidrológica de diferentes complexidades para mapeamento de áreas de inundação de bacias rurais com dados escassos”, contemplado pelo Edital Universal 2021 CNPq/MCTI/FNDCT N. 18/2021. No levantamento foi utilizado o drone Phantom PRO 4, que apesar de possuir um *Global Positioning System* (GPS) acoplado não possui um *Real-Time Kinematic* ou Cinemático em Tempo Real (RTK), o que significa que o levantamento realizado tem um bom resultado em termos relativos de referência, mas não uma acurácia absoluta.

Como forma de corrigir esses dados, foram mapeados pontos estratégicos na área de estudo, que funcionam como pontos de controle, desenvolvidos com um RTK. Dessa forma, apesar do drone não possuir um RTK acoplado que corrige o modelo durante o voo, essa correção é realizada na etapa de geoprocessamento por meio dos pontos de controle.

Esse levantamento feito através de fotogrametria aérea gera um ortomosaico, imagens georreferenciadas que são captadas pelo drone, e em seguida passam pela etapa de geoprocessamento, onde transforma-se esse MDS em MDT por meio de correções de construções e vegetação. O MDT foi gerado em uma resolução de 1 m, mas por limitação de processamento computacional para a geração das manchas de inundação foi reamostrado para uma resolução de 30 m.

Para o segundo modelo de MDE, foi utilizado o ANADEM, disponibilizado pela base de dados do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), um MDE que têm a correção de altimetria causada pela vegetação, em uma resolução de 30 m, uma alternativa gratuita e de fácil acesso com aplicabilidade em toda América do Sul .

4.4. LEVANTAMENTO SÓCIO-HIDROLÓGICO

O levantamento sócio-hidrológico foi realizado por meio de uma entrevista pré-definida (Apêndice A) aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos, através do Centro de Ciências da Natureza (CCN) - UFSCar, realizado pela Plataforma Brasil (processo nº 61253522.3.0000.5504).

Para o desenvolvimento das entrevistas foi utilizada a metodologia da ciência cidadã, objetivando levantar dados como a data de chuvas causadoras de inundações e níveis d'água atingidos em tais chuvas, por meio de relatos e experiências compartilhadas pelos entrevistados da área de estudo. Dessa forma, com o auxílio de uma trena foi possível medir as alturas dos níveis d'água e marcar um ponto georreferenciado em um aplicativo GPS (Gaia GPS). Além de dados fundamentais para mapeamento hidrológico, também foram questionados dados de identificação tais como nome, telefone, endereço, relação com a casa, existência de registros como fotos e vídeos e a autorização de compartilhamento com o projeto. Esses dados são igualmente importantes para o desenvolvimento das análises, pois levam em consideração as experiências dos moradores e as atitudes tomadas durante os eventos extremos.

4.4.1. Dados Pluviométricos

Por meio dos relatos compartilhados durante as entrevistas, foi possível elencar os dados obtidos das séries históricas dos pluviômetros da região, identificando as chuvas causadoras das inundações. Os dados analisados das séries históricas da região foram obtidos em sites como o Portal HidroWeb, operado pela ANA, que fornece dados coletados pela Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), um importante ferramenta do SNIRH, e também dados fornecidos pelo Departamento de Água e Energia Elétrica (DAEE), que possui um banco de dados hidrológicos com medições de chuvas, vazões de rios, níveis de água subterrâneas e sedimentos.

A análise foi realizada com auxílio de um editor de planilhas, que permitiu a separação de dados conforme a identificação das estações pluviométricas, permitindo a identificação

das estações pluviométricas mais representativas para a área de estudo. Foram então analisadas as chuvas no período determinado durante as entrevistas, identificando-se as chuvas acumuladas com altas precipitações, pois essas podem indicar chuvas causadoras de inundações. Para essa análise foram determinadas as chuvas acumuladas de 5 e 7 dias, por serem consideradas as mais representativas para as inundações na área de estudo. Esse mesmo procedimento foi adotado para todas as estações pluviométricas de interesse. Dessa forma, pôde-se separar as chuvas acumuladas pelo ano em que elas ocorreram, analisando suas lâminas acumuladas em diferentes estações, pois um evento extremo é resultante do acúmulo de precipitações distribuídas temporal e espacialmente.

Por fim, utilizou-se o Método de Thiessen (1911) para determinar uma precipitação média para um evento de precipitação em toda a bacia, com base nos dados levantados nas etapas anteriores dos dados pluviométricos.

O método de Thiessen considera a área de influência de diversas estações localizadas na área de interesse e possibilita o cálculo da precipitação média ponderada por meio da equação 1. O referido método foi adotado devido à baixa variabilidade altimétrica da região de estudo.

$$Pm = \frac{\sum An \cdot Pn}{N} \quad (1)$$

Onde:

Pm = Precipitação média da bacia

An = Área de influência da estação pluviométrica

Pn = Precipitação registrada na estação pluviométrica

N = Área total da bacia de contribuição do ponto de interesse

A determinação dos Polígonos de Thiessen foi realizada através do *software* QGIS, que por meio do complemento Polígonos de Voronoi, traça automaticamente um polígono com seus vértices em cada estação pluviométrica, determinando um ponto médio em cada diagonal. Assim, forma-se uma reta perpendicular em cada ponto médio, prolongando-a até seu ponto de intersecção, determinando as áreas de influência de cada estação pluviométrica.

4.4.2. Dados Georreferenciados

A partir da etapa do levantamento sócio-hidrológico, foi possível medir as marcações dos níveis d'água atingidos pelas chuvas durante os eventos extremos e marcar sua localização geográfica com auxílio do aplicativo Gaia GPS. Com esses dados levantados, foi realizada a separação dos anos das chuvas causadoras de inundações com suas respectivas

alturas atingidas, possibilitando elencar as alturas atingidas com a chuva média da bacia de cada evento citado.

4.5. SIMULAÇÃO DAS MANCHAS DE INUNDAÇÃO

4.5.1. Obtenção das Cotas Médias Para Cada Evento

Com base na coleta de dados de ciência cidadã, as cotas para cada evento e local foram obtidas a partir da somatória da: i. altura da água relatada pelo entrevistado ou das marcações de nível d'água em postes e construções, medidas com a trena; e ii. cota do terreno no local, com base no MDT de referência para o método adotado. Os MDT de referência são o ANADEM e o obtido pelo drone, conforme detalhado no item 4.3. O cálculo da cota de inundação para ambos os MDT considera a existência de diferenças altimétricas entre os dois e serve para que os resultados obtidos para cada modelo representem de forma mais fiel o comportamento da inundação em relação à sua base topográfica, permitindo uma comparação mais precisa entre os métodos utilizados. Dessa forma, cada ponto georreferenciado de coleta de dados de altura de inundação possui a cota que a inundação atingiu para cada evento. Para calcular a cota média da inundação de cada evento, foi realizada a média das cotas de inundação obtidas para cada evento.

4.5.2. Classificação das Manchas de Inundação

Para o primeiro método de geração de mancha de inundação foi utilizado o *software* HAND Model. Nesse método considera-se a metodologia de parametrização do HAND, em que o nível do rio é normalizado. Como dado de saída, o modelo gera um raster no sistema de coordenadas geográficas WGS84 (em graus), um MDE normalizado em que o leito do rio possui cota zero, sendo a altura inserida na etapa de reclassificação referente apenas à altura da lâmina d'água, sem considerar a elevação do terreno.

Em seguida, no *software* QGIS, com o auxílio da ferramenta de reclassificação por tabela, foi inserida a cota de inundação de cada evento recalculada a partir das altimetrias geradas pelo HAND. Dessa forma, o *software* reconheceu como inundada toda área que se enquadra nessa classificação, resultando nas manchas de inundação para os eventos identificados.

Para o segundo método de geração da mancha de inundação, também foi utilizado o QGIS, mas considerando diretamente as cotas médias obtidas nas entrevistas com a

população corrigidas para cada MDT. Com o auxílio da mesma ferramenta de reclassificação por tabela, as cotas foram inseridas e reconhecidas como áreas inundáveis, gerando as manchas correspondentes a cada evento.

4.5.3. Análise Comparativa das Manchas de Inundações Geradas

Para análise de acurácia das manchas de inundação geradas, utilizou-se o AcATaMa, um complemento do QGIS utilizado para avaliar a precisão de mapas temáticos, especialmente em validação de análise de uso e ocupação do solo. Como dado de entrada, utiliza-se a camada raster da mancha de inundação. Foi necessário adequar os raster das manchas de inundação para o formato byte, que é caracterizado por valores inteiros e também corrigir o Sistema de Referência de Coordenadas (CRS) para coordenadas geográficas.

Assim, a ferramenta realiza uma amostragem de pontos probabilísticos e estratificados no mapa, considerando a influência de cada área representada. Entretanto, como foram coletados pontos *in loco* das alturas atingidas pelas inundações, esses pontos foram usados como base de validação das manchas geradas. Dessa forma, os pontos com marcações de eventos reais substituíram a amostragem aleatória prevista pela ferramenta e foram empregados para avaliar a acurácia das manchas de inundação geradas pelos modelos, identificando se a mancha era coerente com os pontos com evidências de inundação para cada evento.

Como o complemento foi utilizado para analisar as manchas de inundação, gerou-se a camada raster de cada mancha de inundação para cada evento e seus respectivos pontos atingidos. Por estar em uma camada raster com classificação binária, em que 1 representa a área que inunda e 0 representa a área que não inunda, analisou-se, para cada ponto de inundação relatado pelos moradores se a mancha gerada chegava neles. A partir disso, o complemento determina os seguintes parâmetros:

- Verdadeiro Positivo (VP): Área gerada pela mancha de inundação e que está contemplando o ponto que possui evidência de inundação naquele ano;
- Verdadeiro Negativo (VN): Área que a mancha representou como não inundada e na realidade também não ocorreu inundação;
- Falso Positivo (FP): Área que a mancha descreve como inundada, mas que não foi evidenciado ponto de inundação;
- Falso Negativo (FN): Área que a mancha não inundou, mas que na realidade foi identificado um ponto com ocorrência de inundação;

- Número total de pontos identificados (N)

A partir dessa classificação é possível determinar alguns parâmetros estatísticos, utilizando-se planilhas eletrônicas para determinar a Acurácia Geral (AG), a Taxa de Alarme Falso (TAF), o F1-Score e a Estatística Kappa, representados pelas equações 2, 3, 4 e 7, respectivamente.

Acurácia geral (AG):

$$AG = \frac{VP + VN}{VP + VN + FP + FN} \quad (2)$$

Taxa de Alarme Falso (TAF):

$$TAF = \frac{FP}{FP + VN} \quad (3)$$

F1-Score (F1)

$$F1 = 2 \times \frac{\text{Precisão} \times \text{Revocação}}{\text{Precisão} + \text{Revocação}} \quad (4)$$

Onde, Precisão mede a confiabilidade de acertos do modelo (Equação 5)

$$\text{Precisão} = \frac{VP}{VP + FP} \quad (5)$$

E Revocação mede o quanto o modelo conseguiu representar a realidade (Equação 6)

$$\text{Revocação} = \frac{VP}{VP + FN} \quad (6)$$

Estatística Kappa (K):

$$K = \frac{Po - Pe}{1 - Pe} \quad (7)$$

Onde,

Po é o número de acertos observado, que define a proporção de acertos do modelo em relação ao total, definido pela Equação 8.

$$Po = \frac{VP + VN}{N} \quad (8)$$

Pe é o número de acertos esperado pelo acaso, calculado pela matriz de confusão e representado pela Equação 9.

$$Pe = \frac{((VP+FP)(VP+FN)+(FN+VN)(FP+VN))}{N^2} \quad (9)$$

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

5.1.1. Geologia

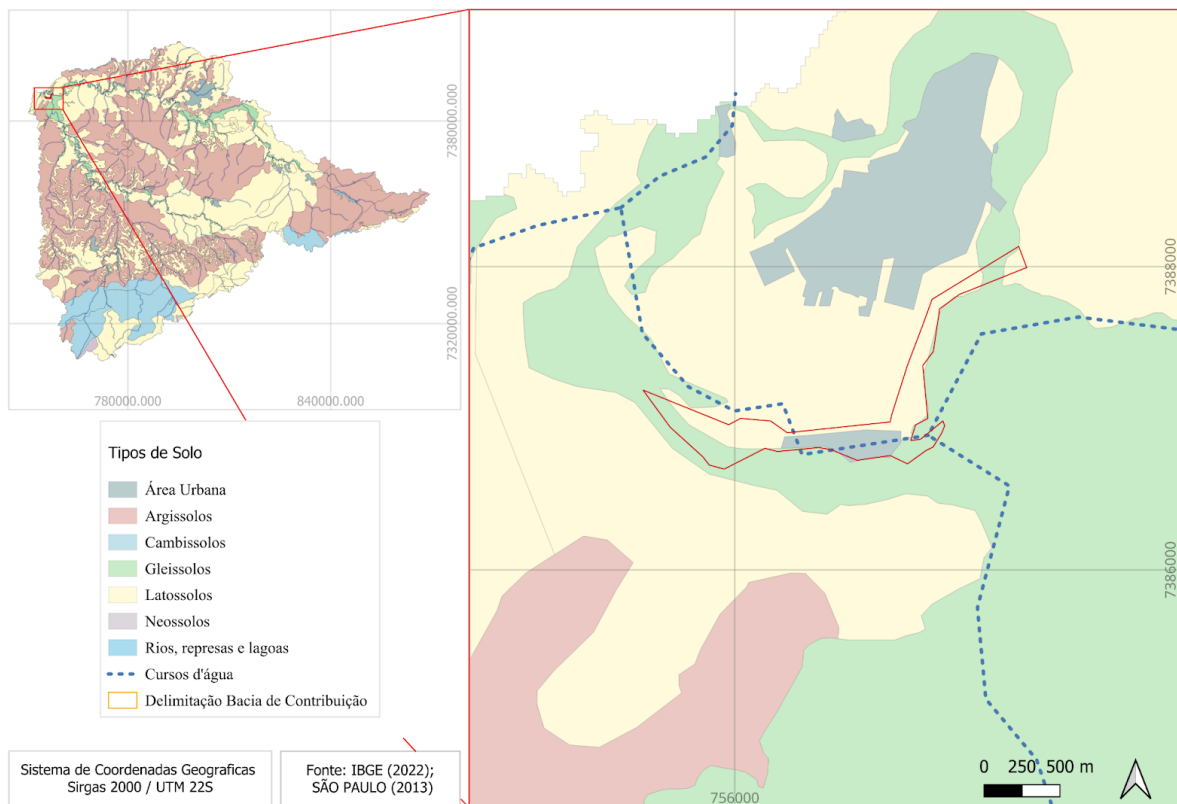
De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), o Brasil possui 13 classes de solo: Argissolos, Cambissolos, Chernossolos, Espodossolos, Gleissolos, Latossolos, Luvisolos, Neossolos, Nitossolos, Organossolos, Planossolos, Plintossolos e Vertissolos (Santos *et al.*, 2025).

Dentre essas classes, cinco estão presentes na bacia de contribuição (Figura 10), configurando uma dinâmica comumente observada, em que nas áreas mais a montante da bacia, predomina-se o solo argiloso, enquanto em áreas mais a jusante ocorre a formação de Gleissolos.

Essa dinâmica ocorre em função das características desses tipos de solo. A argila, por exemplo, apresenta granulometria fina, e sua elevada coesividade faz com que o solo permaneça encharcado, ao mesmo tempo em que dificulta a infiltração da água. Dessa forma, há um aumento do escoamento superficial e, como consequência de suas pequenas partículas, intensifica-se também o transporte de sedimentos, ampliando o risco de erosão e deslizamentos. Como consequência, o material transportado se acumula nas áreas mais a jusante da bacia, representadas na área de estudo pelas manchas em verde.

Ainda na Figura 10, é possível notar que as áreas em verde (Gleissolos) acompanham o percurso dos dois rios principais da área, o rio Itapetininga e o rio Paranapanema. Entretanto, próximo à confluência desses rios, a mancha em verde se expande além da calha, caracterizando uma frequência de inundação no local e configurando uma planície de inundação.

Figura 10: Tipos de solo presentes na bacia de contribuição.



Fonte: Autor da pesquisa, 2025.

De acordo com o Código Florestal, Lei 12.651/2012, às áreas de várzea e planícies de inundação são definidas como APPs. Contudo, a legislação também reconhece a existência de construções consolidadas em APPs, ocupadas antes de 22 de julho de 2008, para as quais não se exige a remoção, mas sim a adequação e a recomposição de faixas mínimas que assegurem a preservação ambiental (Brasil, 2012).

Próximo à área de estudo, observa-se a ocorrência de uma faixa de Gleissolos adjacente ao canal principal em ambas as margens que confirma a presença de uma planície de inundação. O ponto mais distante de cada faixa possui uma extensão de aproximadamente 2,2 km a partir do leito do rio, totalizando cerca de 4,1 km. Essa configuração confirma a existência de uma área suscetível a alagamentos periódicos, caracterizando uma área que pode ser classificada como APP e passível de restauração.

Próximo à área de estudo, também ocorre a presença de Latossolos, um solo caracterizado por camadas profundas e elevada permeabilidade decorrente de sua porosidade, favorecendo a infiltração e a retenção de água.

5.1.2. Relevo

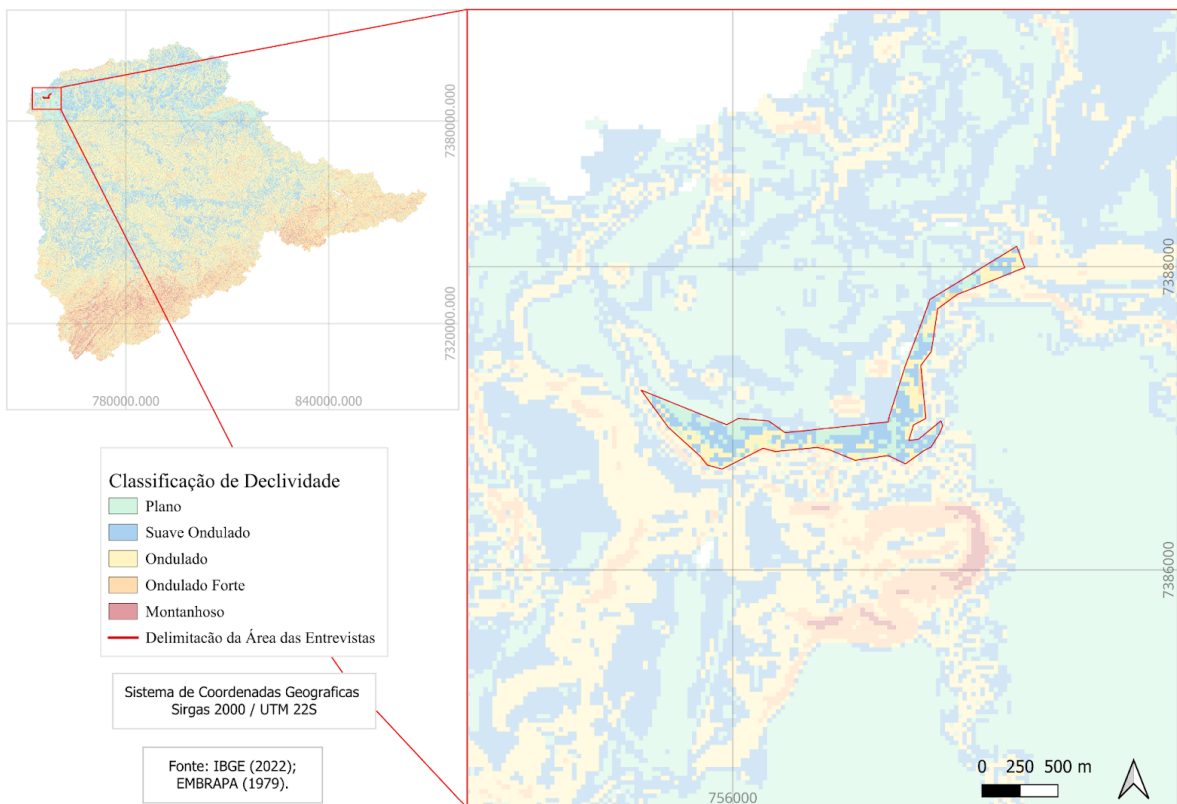
O relevo da bacia de contribuição da área de estudo é caracterizado, assim como em todas as bacias, onde a parte de maior declividade está localizada nas áreas de montante, enquanto a menor declividade é concentrada a jusante da bacia.

De acordo com a Figura 11, a bacia possui uma morfologia de baixa e média declividade, sendo 36,56% da bacia definida como declividade suave ondulada (3–8%) e 29,99% como plano (0–3%) (Embrapa, 2023). Por outro lado, as áreas classificadas como ondulado (8–20%) e forte ondulado (20–45%) representam 15,80% e 11,08% da área da bacia, respectivamente, que somadas ao montanhoso (6,56%) funcionam como zonas de resposta rápida, encurtando o tempo de concentração nos eventos intensos e elevando o potencial erosivo nas encostas

Dessa forma, próximo à área das entrevistas podemos encontrar um tipo de solo que descreve a frequência de inundações (detalhado no item 5.1.1) bem como uma região predominantemente plana e suavemente ondulada, fatores que contribuem para a formação de uma de planície de inundação.

Naturalmente a planície de inundação desempenha papel essencial no controle de cheias, entretanto, por ser ocupada por moradores, configura-se também como uma área de risco. Isso ocorre por se tratar de um espaço frequentemente inundado, em que a presença da população aumenta a vulnerabilidade diante desses eventos.

Figura 11: Mapa de declividade da área de estudo



Fonte: Autor da pesquisa, 2025.

5.1.3. Clima

De acordo com o Atlas Pluviométrico do Serviço Geológico do Brasil (SGB), a bacia de contribuição está localizada em uma área onde se encontram isoietas anuais entre 1.200 e 1.400 mm/ano, com temperatura média anual de aproximadamente 20,2 °C (SGB, 2025). Inserida em um clima tropical e subtropical úmido, a Campina do Monte Alegre apresenta um período mais chuvoso nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, enquanto os meses de junho, julho e agosto correspondem à estação mais seca. Nesse período chuvoso, observa-se a maior ocorrência de inundações e eventos extremos, uma vez que as chuvas contínuas favorecem a saturação do solo e, conseqüentemente, o aumento do escoamento superficial.

Outro fator que influencia a dinâmica do ciclo hidrológico é o vento, para o sudoeste do estado de São Paulo. O Atlas Eólico do Estado aponta a ocorrência predominante de ventos que sopram a partir do leste e sudeste (provenientes do oceano), além de uma parcela menor, mas ainda relevante, de ventos provenientes do nordeste (CEPEL; CRESESB, 2012). Embora o Atlas seja utilizado principalmente para o mapeamento do potencial de geração de

energia eólica, os dados indicam velocidades médias de vento na região em torno de 5 a 7 m/s. Essa dinâmica dos ventos favorece o deslocamento de massas de ar úmidas durante o período chuvoso e intensifica a ventilação na estação seca.

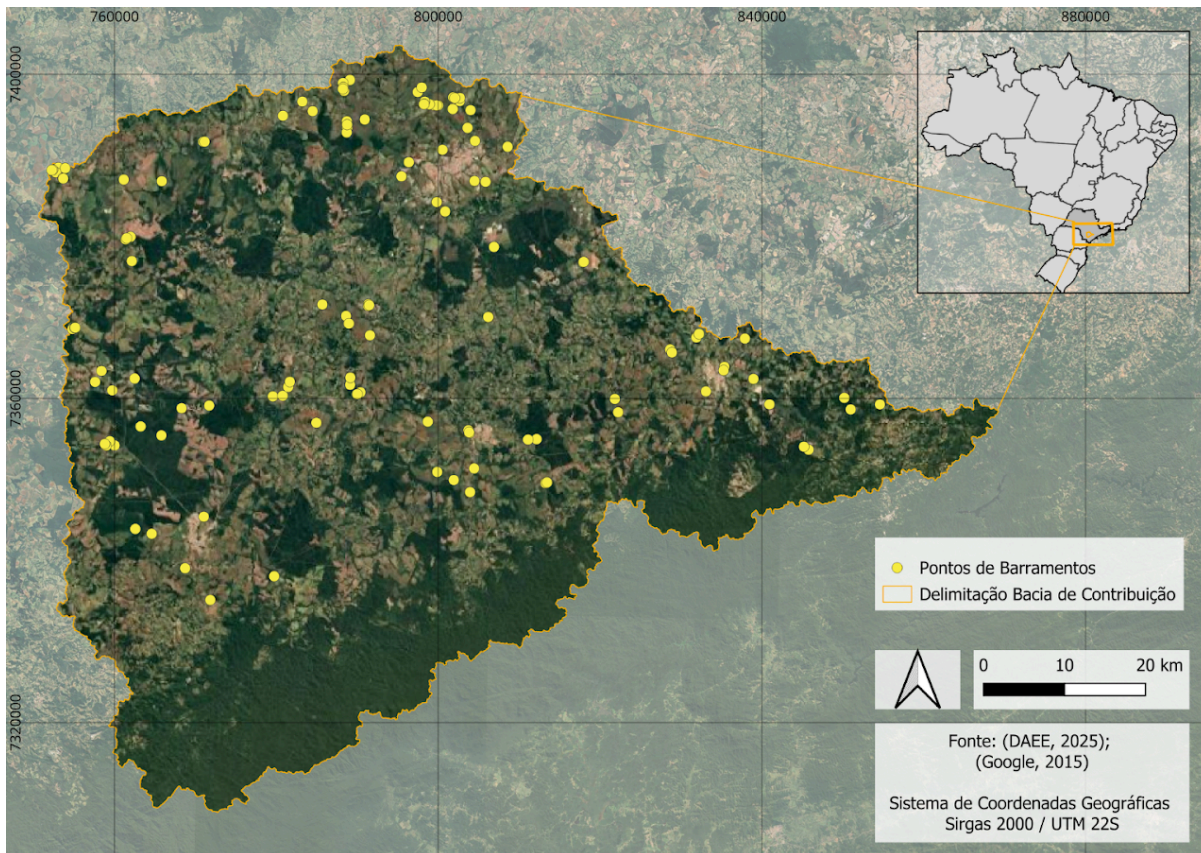
5.1.4. Dinâmica local

Quando analisamos todos os elementos que contribuem para a ocorrência de inundações, também devemos considerar as ações antrópicas realizadas a montante da bacia de contribuição, como, por exemplo, os barramentos, pois eles influenciam diretamente a dinâmica hidrológica regional. Em condições de chuvas moderadas, esses barramentos têm a função de regularizar o fluxo, reduzindo a vazão de pico e diminuindo as cheias a jusante. Porém, em condições extremas, a capacidade de retenção de água pode ultrapassar o limite dos barramentos, causando o vertimento.

Conforme a Figura 12, foram identificados 143 barramentos a montante, destinados a diferentes finalidades, tais como recreação e paisagismo, regularização de nível e vazões, geração de energia e outros usos.

Dessa forma, deve-se considerar que na ocorrência de eventos extremos, a vazão brusca liberada nesse processo é propagada ao longo da rede de drenagem da bacia, gerando inundações desproporcionais, que não seriam explicadas apenas pela resposta natural do solo e do relevo na planície de inundação. Esse fenômeno intensifica os riscos enfrentados pela população residente nessas áreas, expondo-os a inundações bruscas e a um aumento significativo da vulnerabilidade socioambiental.

Figura 12: Localização dos barramentos na bacia de contribuição



Fonte: Autor da pesquisa, 2025.

Todas essas evidências confirmam a ocorrência de inundações e as características típicas de áreas inundadas na área de estudo. No entanto, de acordo com o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais e com o Plano de Bacia do Alto Paranapanema, tais áreas não estão oficialmente mapeadas como áreas de risco de inundações devido à ausência de registros e de monitoramento sistemático. Essa falta de identificação sistematizada implica diretamente na ausência de planos de ação voltados à mitigação de impactos e à redução de riscos, reforçando a vulnerabilidade socioambiental da população residente nessas áreas (CBH-ALPA, 2016).

Portanto, a combinação de todos os fatores analisados nos tópicos anteriores evidencia que, em condições normais, não há ocorrência de inundações significativas na área de estudo. Contudo, em eventos extremos, cada vez mais frequentes em decorrência das mudanças climáticas, esses elementos atuam de forma cumulativa, ampliando o escoamento superficial e concentrando vazões em áreas de planície, resultando em inundações desproporcionais e de maior intensidade e magnitude e gerando um risco de inundação em áreas vulneráveis.

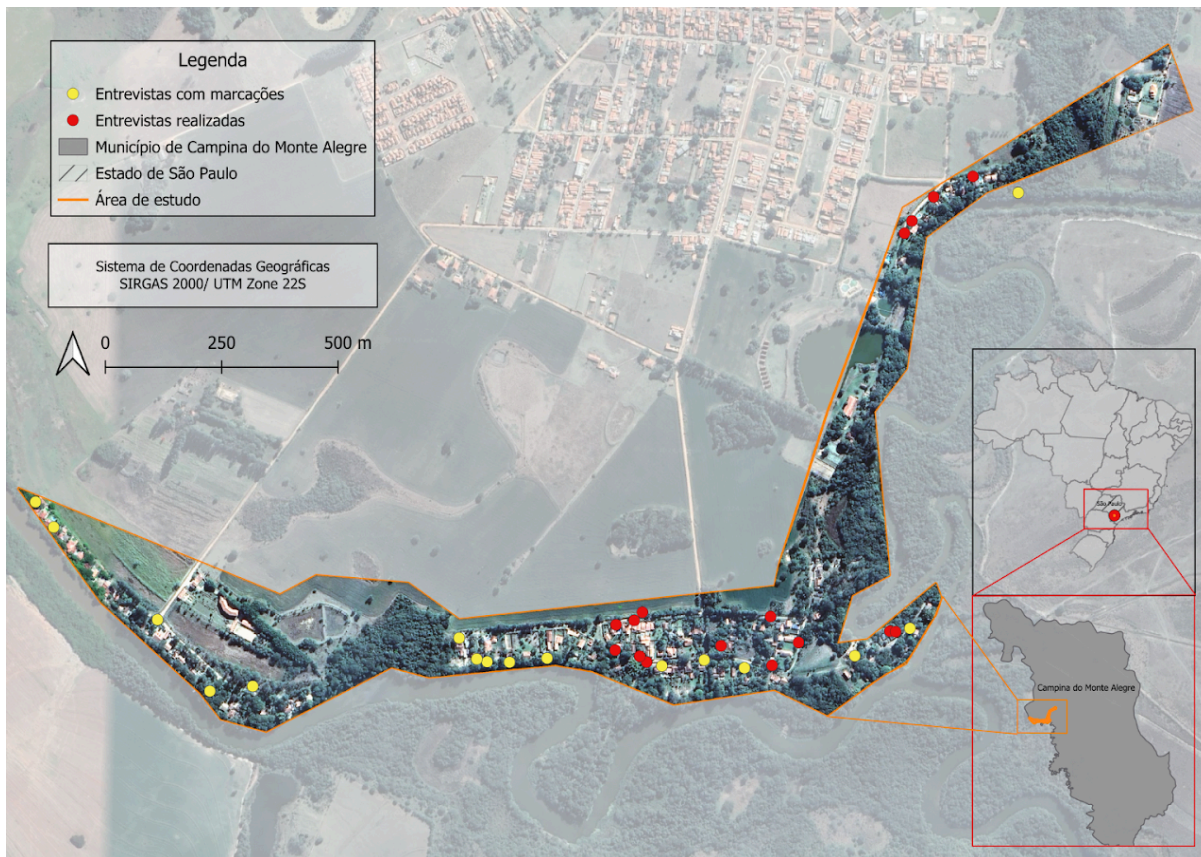
5.2. LEVANTAMENTO DE DADOS E GERAÇÃO DAS MANCHAS DE INUNDAÇÃO

5.2.1. Entrevistas com a população local

Como metodologia alternativa para o levantamento de dados hidrológicos em uma região com déficit de informações sistematizadas, foi realizada uma entrevista com os moradores da área de estudo, com o objetivo de obter dados de recordações de inundações, lembranças de datas e alturas da água em cada evento, possíveis registros existentes e ainda informações que validassem a análise, como o tempo de residência no local, experiências anteriores em eventos de inundação, além de dados pessoais como nome, idade, telefone e endereço, para controle e organização (Apêndice A).

Durante as entrevistas, foi aplicado um questionário sócio-hidrológico na área de estudo, que possui aproximadamente 100 residências, com diferentes finalidades, como casas de veraneio ou residências fixas. Dessa forma, em razão da presença esporádica de alguns moradores, parte deles estava ausente durante o período da aplicação das entrevistas ou recusou-se a participar do levantamento sócio-hidrológico. Assim, apenas 32 moradores foram entrevistados (Figura 13), sendo identificadas, durante essas entrevistas, marcações deixadas pelas inundações em 16 desses pontos.

Figura 13: Área de estudo e pontos das entrevistas



Fonte: Autor da pesquisa, 2024.

Foram registrados pontos georreferenciados, com o auxílio do aplicativo Gaia GPS, em todas as residências localizadas dentro dos limites da área de interesse. Na Figura 13, temos os pontos onde as entrevistas foram de fato realizadas. Os pontos em amarelo representam as entrevistas onde os moradores possuíam recordações de alturas atingidas pela água durante as inundações, ou tinham marcações dentro de suas propriedades.

A **Tabela 1** mostra algumas informações coletadas durante as entrevistas, em que é possível notar a relação de permanência dos moradores com a recordação das datas de ocorrência de inundações. Os entrevistados que residem na área há mais tempo possuem mais recordações sobre as inundações do que os residentes que frequentam a região há menos tempo. Exceto pelos entrevistados de número 19, 20 e 22, que residem na área há um tempo relativamente grande, porém no caso dos participantes 19 e 20, não se recordam das datas de ocorrência dos eventos. E no caso do participante 22, não se recorda da ocorrência de inundações.

Ainda foi questionado se os entrevistados se recordavam de alguma alteração de suas rotinas durante os eventos extremos. Onze pessoas responderam que sim, dentre as alterações estão reformas em suas propriedades para evitar que a água avance para sua casa, perdas

materiais e alteração na disposição ou elevação dos móveis para lugares que não foram atingidos pela água.

A existência do travessão no lugar da resposta representa que o entrevistado não se recordava ou que não possuía dados referentes ao assunto questionado.

Tabela 1: Informações obtidas através da aplicação do questionário.

Ordem	Há quantos anos você vive ou frequenta a região?	Há quantos anos você frequenta esta casa?	Outras informações (relatos das experiências, danos e prejuízos, alteração na rotina devido à ocorrência, etc.)
1	30 anos	6 anos	-
2	25 anos	12 anos	Durante os períodos de inundações, não era possível acessar a casa em que ela trabalhava.
3	55 anos	55 anos	-
4	42 anos	42 anos	Necessidade de cimentar a casa próximo às margens do rio por diversos deslizamentos, que geraram trinca e desnível na estrutura da casa.
5	4 anos	1 ano	-
6	30 Anos	14 Anos	-
7	40 Anos	20 anos	Tiveram que erguer os móveis acima do nível d'água
8	45 anos	3 anos	Perdeu a sua antiga casa no ano de 2016, localizada próximo a prainha. Em sua atual residência estão construindo uma vala no fundo da casa para conter a água durante os períodos de cheia do Rio Paranapanema.
9	48 Anos	40 Anos	-
10	2 anos	1 ano	-
11	3 anos	2 anos e meio	-
12	16 anos	10 anos	Colocou barreiras de contenção nas portas.
13	61 anos	15/16 anos	Aterrou a parte da frente da casa, nivelando o terreno para não inundar a frente.
14	8 anos	3 meses	Na casa de sua filha (que mora no mesmo bairro) teve danos materiais, perderam quase tudo.
15	45 anos	5 anos	-

16	2 meses	2 meses	-
17	2 anos	2 anos	-
18	30 anos	30 anos	-
19	50 Anos	50 Anos	Perda material, como colchões e móveis.
20	40 Anos	33 Anos	Teve que elevar os móveis.
21	48 Anos	24 Anos	Alterações de rotina, como elevar os móveis.
22	Mais de 40 anos	40 Anos	-
23	27 Anos	27 Anos	-
24	44 Anos	25 Anos	-
25	50 Anos	23 Anos	-
26	49 Anos	18 Anos	-
27	23 Anos	23 Anos	-
28	21 Anos	10/11 Anos	-
29	37 Anos	4 Anos	-
30	53 Anos	53 Anos	Tiveram que trocar as madeiras da estrutura que fica na parte mais baixa do terreno.
31	50 Anos	15 Anos	-
32	36 Anos	19 Anos	-

Dentre os 32 entrevistados, também foi questionada a lembrança das datas de ocorrência das inundações e suas alturas atingidas. 50% dos entrevistados se recordavam da altura atingida pela inundação, que em alguns casos foi possível realizar sua medição, através de marcações existentes na residência (representadas na Figura 14), ou por meio da memória do morador, apresentada na **Tabela 2**.

Figura 14: Exemplo de marcação dos níveis das inundações atingidos nas construções.



Fonte: Autor da pesquisa, 2023

Tabela 2: Informações obtidas através da aplicação do questionário.

Ordem	Você saberia dizer em que altura a água chegou?	Se sim, quando, aproximadamente?
1	Não chegou a atingir a casa, porém chegou a 1,40 m no terreno	2016
2	Não atingiu a casa, porém chegou a 50 cm no terreno	2004
3	1,70 m	2004
4	50 cm na casa	2004
5	Não atingiu a casa, porém chegou a 1,10 m no terreno	2004 e 2014.
6	Em 2014 chegou a 30 cm e em 1982 a 2,25 m	em 1982
7	7 metros	2015
8	2,02 metros e 1,43 metros	2016
9	-	1983 e 1990
10	-	-

11	-	-
12	1 metro	2004
13	1,70 metros	-
14		2017
15	2 metros	2016, 2010/2011, 1982, 1990 e 2000
16	-	-
17	-	-
18	-	1998 e 1994
19	30 cm do portão da casa	-
20	1,80 m	2004
21	5,0 m	1982
22	-	-
23	-	2008
24	-	2004
25	-	2003
26	-	2015
27	-	Em 2000/01 nos bairros ao redor
28	-	2016
29	-	2017/2014
30	Até o telhado da parte mais baixa da casa	Inundações no restaurante no saltinho e no sindicato em 2016 e 2005
31	Em 2005 chegou à 4,5 m e em 2013 à 70 cm	2005/2013
32	-	2012

Através dessa análise do questionário sócio-hidrológico foi possível identificar os anos em que ocorreram as chuvas capazes de causar os eventos extremos, informações úteis para serem analisadas em conjunto com as séries históricas a fim de identificar um intervalo de tempo das ocorrências de chuvas capazes de causar inundações. Além disso, durante a aplicação dos questionários, notaram-se marcações nas construções presentes na área de estudo, que colaboram para a identificação das inundações em algumas residências, dando veracidade à extensão da mancha de inundação, e que possibilitam a marcação de pontos

georreferenciados no local através da determinação das alturas dos níveis atingidos pelas inundações (Figura 14). Dessa forma, as informações obtidas podem ser interligadas aos relatos e registros da inundação em questão. Com a disponibilização desses registros (como fotos, vídeos e relatos escritos), pôde-se verificar a consistência entre os relatos.

Na Figura 15, temos como exemplo um registro que foi cedido por um morador de uma das ruas afetadas pela inundação, o qual relatou que se recordava das inundações na vizinhança, onde as casas opostas à sua residência foram atingidas pela água, comentando ainda, que durante o evento ajudou os vizinhos a esvaziarem suas casas a fim de evitar perdas materiais, e que mantinham os portões abertos (como é possível notar na foto) para que a estrutura não fosse danificada pela pressão d'água, procedimentos que foram adotados pelos moradores da região devido suas experiências e conhecimentos adquiridos pela vivência no local das inundações. Um método de gerenciamento de risco desenvolvido pelo conhecimento popular, como forma de reduzir os danos e perigos decorrentes das inundações.

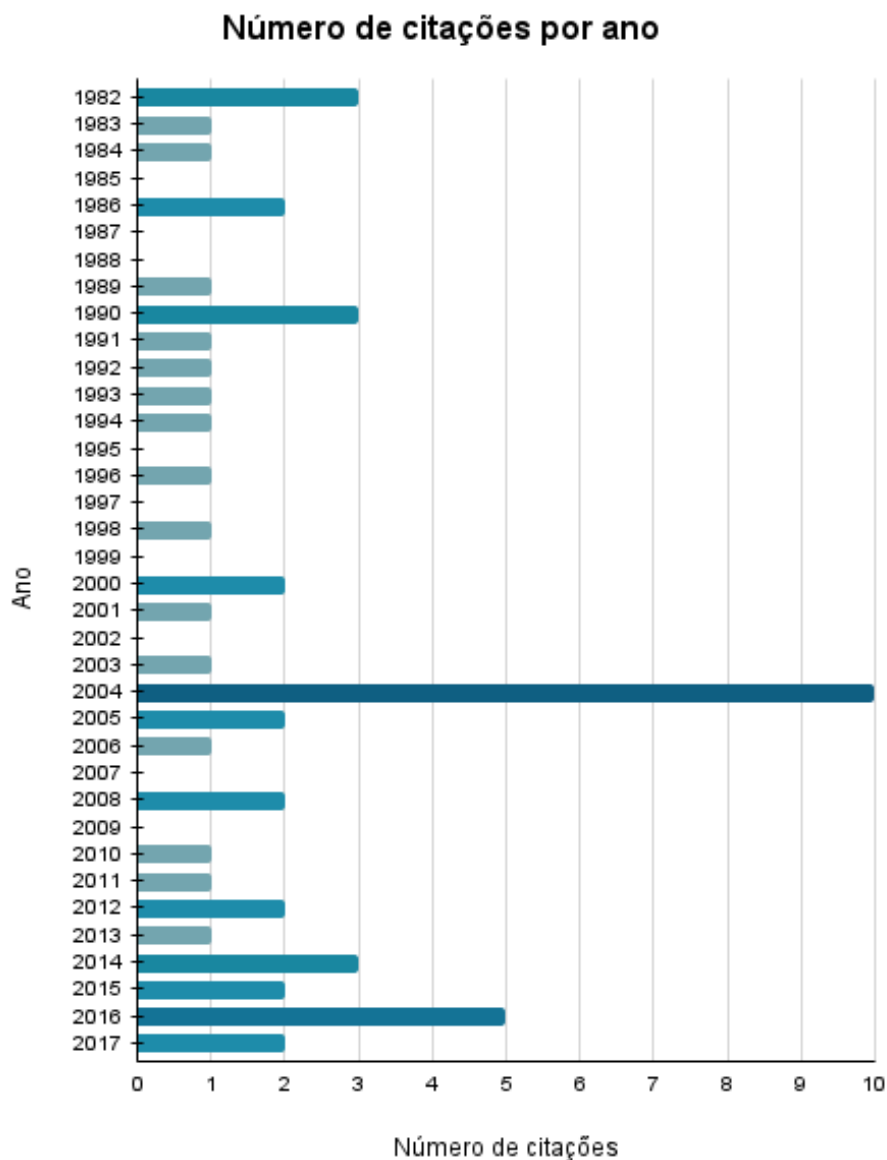
Figura 15: Registro cedido por um dos moradores da região.



Fonte: Autor da pesquisa, 2023

Em relação à recordação das datas em que as inundações ocorreram, a Figura 16 apresenta os anos que foram mais citados durante as entrevistas, em que é evidente uma grande lembrança da população com os eventos ocorridos em 2004 e 2016. Dessa forma, observa-se que os eventos ocorridos recentemente são mais recordados do que eventos mais antigos. O mesmo desvio de dados pode ocorrer em relação aos anos que foram pouco citados, pois a falha na memória da população pode gerar dúvidas ou incertezas sobre as datas de ocorrência dos eventos, e, conseqüentemente, causa uma dispersão em torno dos anos em que há registros de inundações.

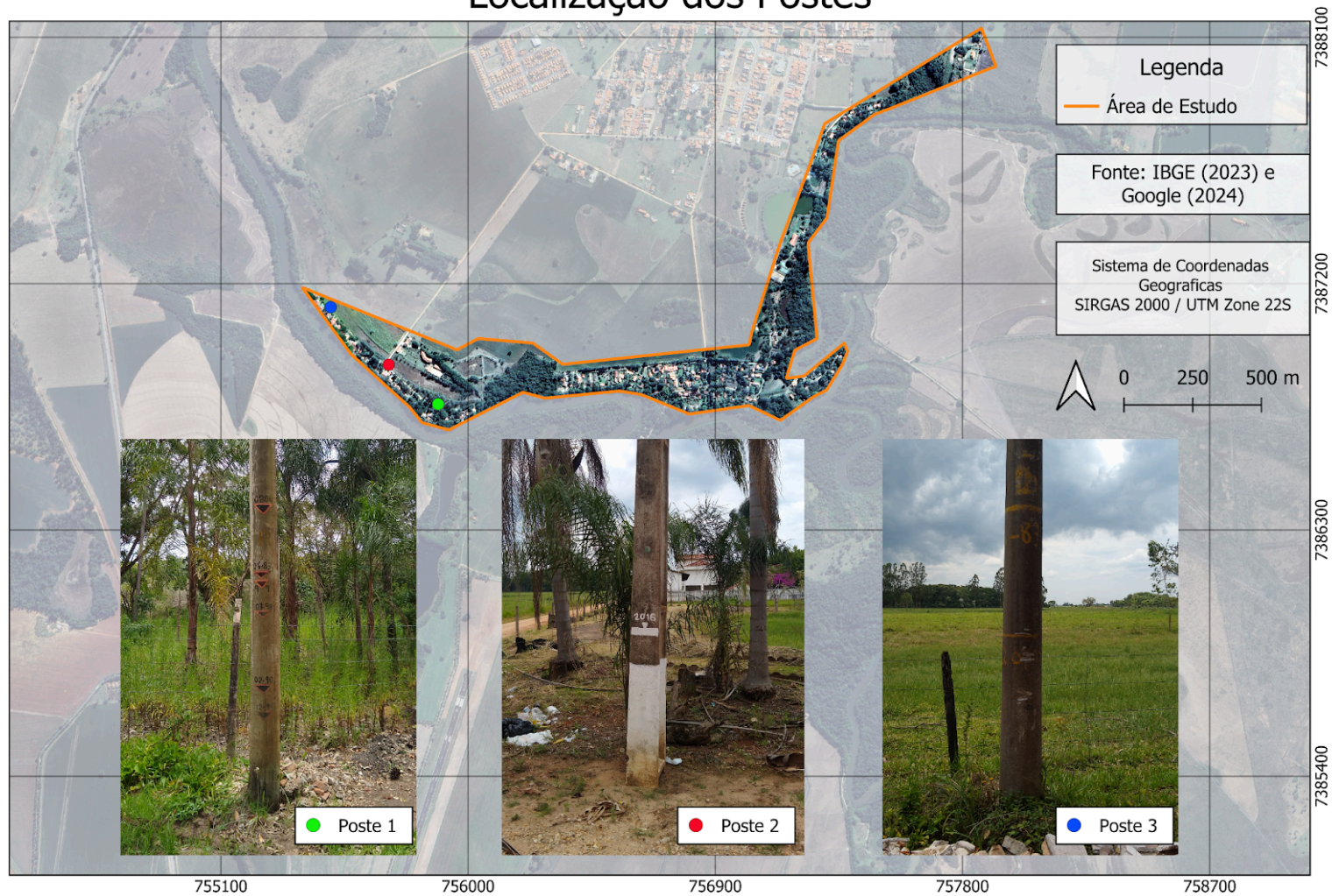
Figura 16: Citações de ocorrência de inundações por ano



Além das marcações causadas pelo próprio nível d'água durante o extravasamento do rio para a planície de inundação, a população possui o costume de demarcar a altura que a água chegou em cada chuva nos postes de transmissão de energia da área de estudo, criando uma espécie de marco hidrológico histórico do local (Figura 17). Esses registros são extremamente valiosos pois demonstram a conscientização da população em relação a estes eventos, como uma forma de registrar suas ocorrências. Essa é uma demonstração da importância da utilização da ciência cidadã para a obtenção de dados em áreas com déficit de levantamento e armazenamento de informações, pois esses registros possibilitam a validação de dados em conjunto com outras fontes, com o objetivo de fundamentá-las.

Figura 17: Postes de luz com marcações de altura da água das inundações

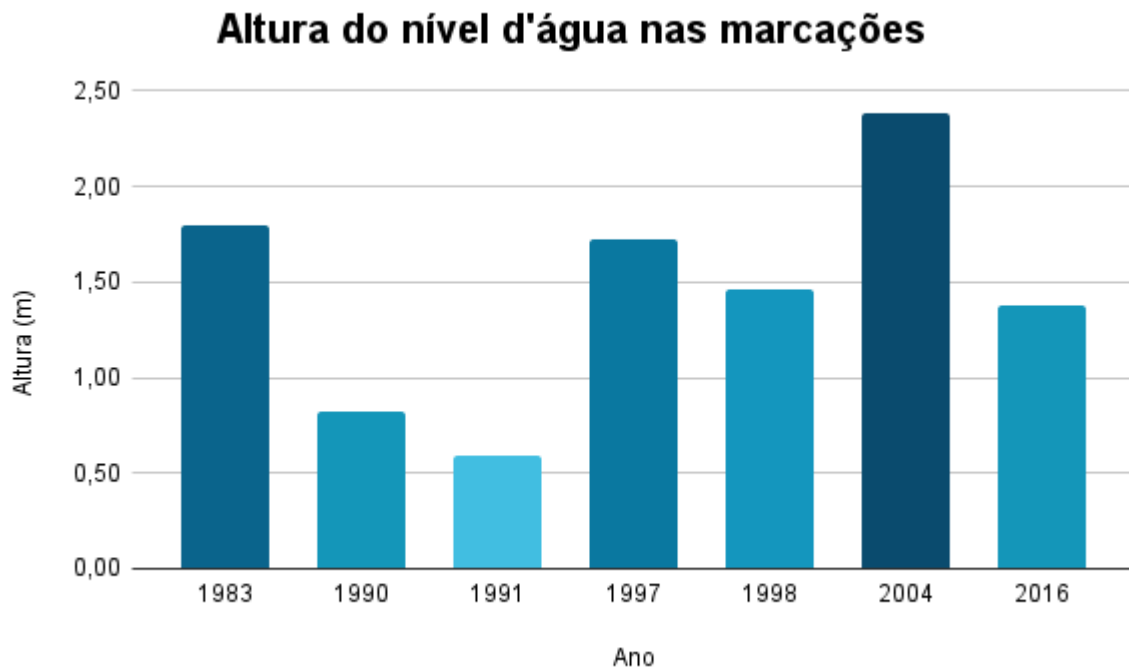
Localização dos Postes



Fonte: Autor da pesquisa, 2025

A partir dessa prática, foram realizadas medições da altura que a água atingiu com relação ao nível do solo naquele local em determinado ano, relacionando os anos em que os eventos extremos aconteceram com sua altura, como demonstrado na Figura 18.

Figura 18: Marcação do nível d'água por ano



Fonte: Autor da pesquisa, 2023

Podemos notar que o evento com maior nível d'água atingido ocorreu no ano de 2004, ano que foi o mais citado dentre as entrevistas, seguido do ano de 1983, em que a altura do nível da água chegou a 1,80 metros. Ainda relacionando a análise da Figura 16 e da Figura 18, verificamos que as inundações mais citadas estão entre as maiores marcações, exceto para o ano de 2016, que teve um alto número de citações, mas não está entre os maiores níveis de água. Isto pode se dar devido à proximidade temporal de um evento marcante na memória da população, ou ainda, por se tratar de um longo período, é possível que as pessoas que vivenciaram as primeiras inundações relatadas já não vivam mais na área onde foram realizadas as entrevistas e, portanto, tais relatos não tenham sido registrados por esta pesquisa.

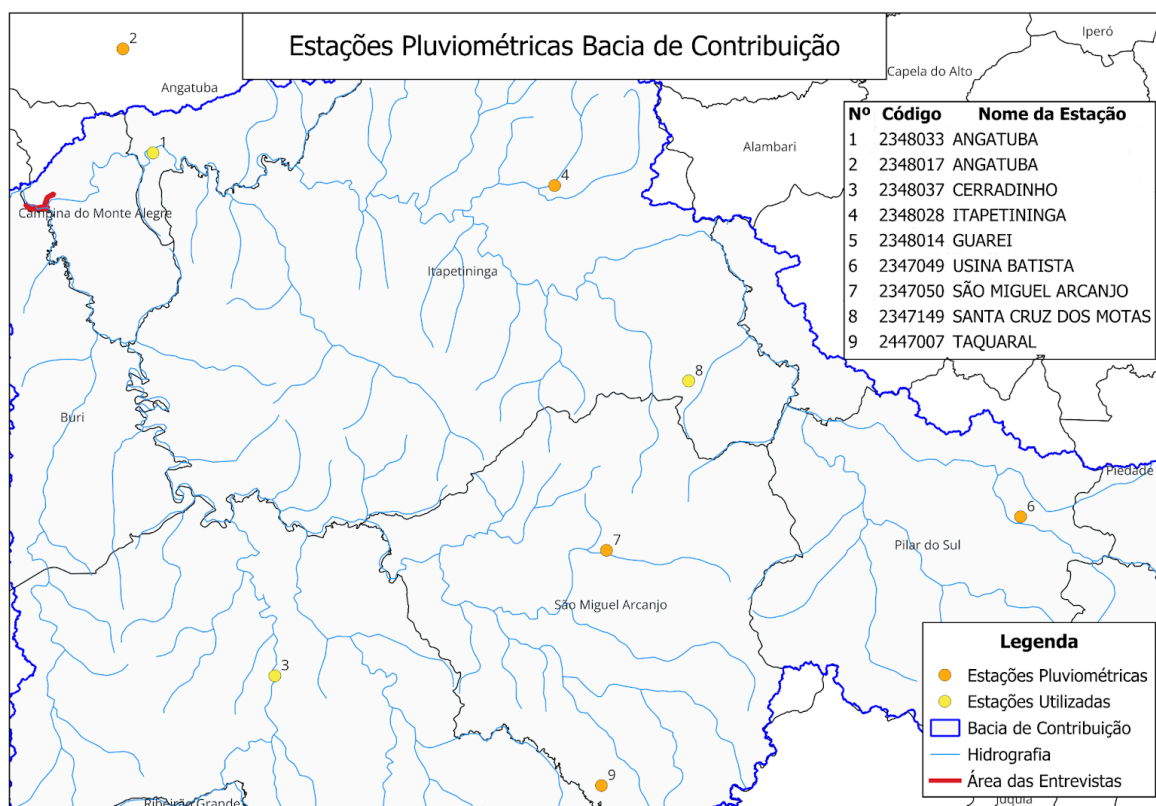
5.2.2. Dados Pluviométricos

Com as informações obtidas no levantamento sócio-hidrológico, foi possível delimitar, dentre os anos que mais foram citados, um período de análise para identificação das chuvas

que causaram as inundações nas séries históricas da região. Considerando que o menor ano citado foi 1982, definiu-se como intervalo os anos de 1982 a 2016, de modo a abranger todas as inundações que foram citadas.

Das 107 estações pluviométricas presentes na Bacia do Alto Paranapanema segundo o SIGRH, apenas 9 foram identificadas como representativas por estarem na área de contribuição da área de estudo. Cinco destas estações possuíam lacunas de dados durante o intervalo desejado. Assim, a fim de evitar o preenchimento de falhas, foram utilizados os dados das 4 estações pluviométricas restantes que possuíam dados consolidados para o período de interesse (Figura 19). Ainda nessa seleção das estações, a estação representada pelo ponto 7 foi descartada da análise pela sua proximidade com a estação representada pelo ponto 8, de modo a não supervalorizar os dados dessa região na ponderação da precipitação média da bacia. Então, através das análises das séries históricas com dados disponíveis, foram selecionadas as estações pluviométricas de Angatuba (2), Cerradinho (3) e Santa Cruz dos Motas (8), identificadas pelos códigos 2348033, 2348037 e 2347149, respectivamente.

Figura 19: Estações pluviométricas da área de contribuição para a área de estudo

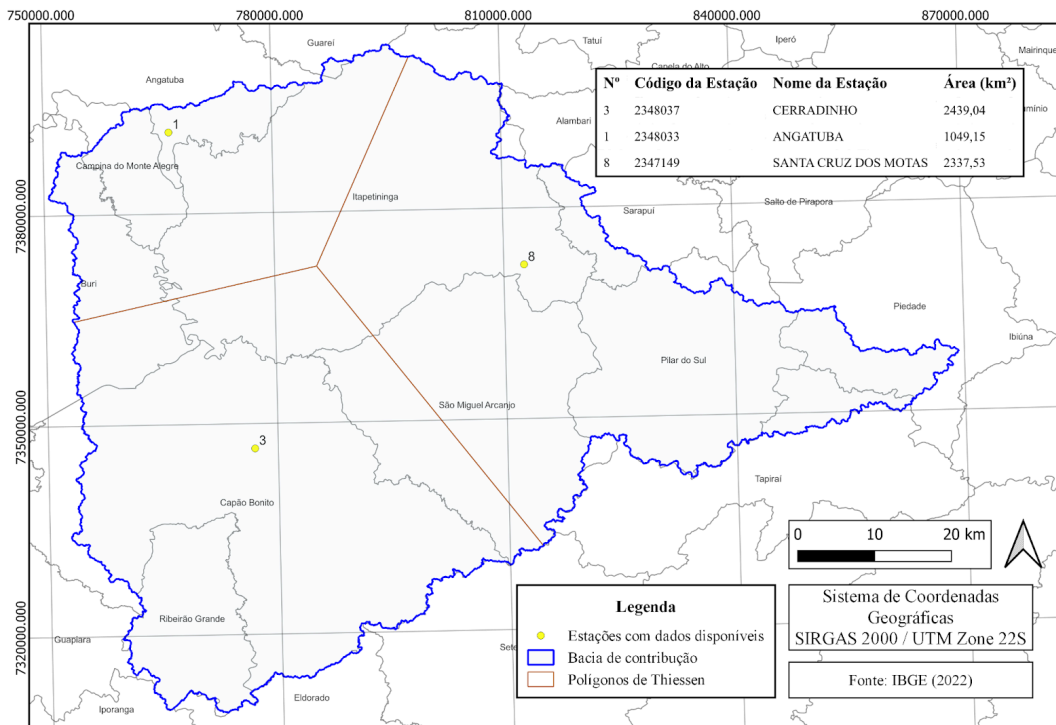


Fonte: Autor da pesquisa, 2023

A fim de determinar uma chuva média para a região, adotou-se o Método de Thiessen

devido a irregularidade do formato da área de estudo, que permitiu a divisão da área em três polígonos das áreas de influência de cada estação analisada, onde encontrou-se $1.049,15 \text{ km}^2$, $2.439,04 \text{ km}^2$ e $2.337,53 \text{ km}^2$ para os postos 1, 3 e 8, respectivamente (Figura 20).

Figura 20: Estações pluviométricas e suas áreas de influência pelo Método de Thiessen.



Fonte: Autor da pesquisa, 2023

Os dados das séries históricas disponibilizados nos sites da ANA e DAEE foram analisados por meio de planilhas eletrônicas, em que se identificaram as chuvas acumuladas de 5 e 7 dias, correspondentes ao intervalo definido no levantamento sócio-hidrológico, de 1982 a 2016, a fim de encontrar as chuvas capazes de causar inundações. Dessa forma, pôde-se determinar a data de início e fim de uma das chuvas, em que, por meio da Equação 1, foi encontrado o volume total precipitado acumulado para cada uma das estações, relacionando com as áreas de influência de cada estação e determinando uma chuva média para a região.

Os valores obtidos foram dispostos na **Tabela 3**, onde ainda é possível notar que a lâmina total precipitada registrada em cada estação difere bastante em um mesmo evento. Em alguns eventos, a distribuição espacial da chuva é mais uniforme, como é o caso dos anos de 1983, 1989 e 1997. Entretanto, em outros eventos, como os ocorridos nos anos de 1998, 2004 e 2016, o volume de chuva registrado em cada estação pluviométrica variou bastante. Isto

também implica que os maiores valores de precipitação total para cada estação não sejam necessariamente do mesmo evento. Por exemplo, nas estações 1 e 3, o maior acúmulo registrado foi durante o ano de 1983, com 370,4 mm e 330,4 mm, respectivamente. Já na estação 8, a maior precipitação acumulada ocorreu durante o ano de 2004.

Tabela 3: Dados das precipitações causadoras das inundações relatadas.

Ano	Data de início	Data de fim	Precipitação acumulada por estação (mm)			Precipitação acumulada média (mm)
			1	3	8	
1983	03/06	12/06	370,4	330,4	381,6	358,2
1989	25/07	31/07	209,4	240,3	232,8	231,7
1990	12/02	15/02	98,6	93,1	136,3	111,4
1991	07/12	28/12	297,8	204,7	189,8	215,5
1997	20/01	29/01	288,6	265,8	273,6	273
1998	21/02	03/03	189,5	307,4	281,1	275,6
2004	22/01	29/01	126,7	296,9	433,7	321,1
2016	09/01	14/01	109,3	209	217	194,3

Fonte: Autor da pesquisa, 2025.

Com relação à representatividade dos dados levantados pelas entrevistas para a identificação das chuvas que causaram as inundações nas bases de dados e sem outras fontes de informação, foi possível observar que, apesar da divergência de datas nos relatos das inundações, discutida com base na Figura 18, estes dados foram úteis para orientar quais chuvas têm potencial para causar inundações na bacia, descartando chuvas que parecem de grande magnitude, mas que ocorreram em anos que não possuíam nenhum relato de inundação. Ademais, a prática da marcação dos níveis de água das inundações nos postes se mostrou muito útil para refinar esta busca.

Ao se comparar a frequência de citações, o nível de água marcado nos postes e a precipitação média na bacia para cada inundação (**Tabela 4**), é possível observar que a chuva mais citada corresponde ao maior nível d'água marcado nos postes (evento de 2004), porém não a maior precipitação média da bacia (evento de 1983). Isto também evidencia que o número de citações está diretamente relacionado à data de ocorrência das inundações, sendo lembrados eventos mais recentes, mesmo que de menor magnitude. Existem ainda outros

fatores que devem ser analisados, como, por exemplo, o uso e ocupação do solo, que alteram a quantidade de pessoas expostas às inundações ao longo do tempo. Além disso, faz-se necessária a contextualização das datas destes eventos, como no ano de 1983, que ficou marcado por um episódio intenso do El Niño, fenômeno de interação oceano-atmosfera que causa mudança nas temperaturas oceânicas e, conseqüentemente, afeta o ciclo hidrológico. Esse episódio ficou conhecido como o maior El Niño da história, resultando em chuvas intensas no sul do Brasil e regiões próximas, podendo ser considerado como um dos fatores que contribuíram para os eventos extremos citados (Kayano; Moura, 1986).

Tabela 4: Compilação de dados obtidos por diferentes métodos para os eventos de inundação.

Ano	Nº de citações	Altura D'água (m)	Precipitação média da bacia (mm)
1983	1	1,8	358,15
1989	1	-	231,73
1990	3	0,82	111,42
1991	1	0,59	215,49
1997	0	1,72	273,04
1998	1	1,46	275,61
2004	10	2,38	321,14
2016	5	1,38	194,26

Fonte: Autor da pesquisa, 2025.

A **Tabela 4** também possibilita avaliar que a altura d'água atingida pela inundação não está diretamente relacionada apenas ao volume médio precipitado na área de contribuição, visto que também depende de outras características, como distribuição temporal e espacial da chuva e condições hidrológicas da bacia no momento do evento. Neste sentido, o evento de 1990, que possui uma precipitação média bastante inferior aos demais eventos relatados, se destaca. Nele, a lâmina média precipitada é bastante inferior às demais, o que levanta a suspeita de que foi este mesmo o evento de precipitação que causou a inundação. Nestes casos, é importante buscar outras fontes de informações, como reportagens da época ou fotos datadas para validar a data deste evento e certificar que, de fato, o evento identificado neste estudo foi o que causou a referida inundação. Em caso de confirmação, recomenda-se buscar entender o porquê de uma chuva de relativa pequena magnitude ter causado inundação. Estes

achados devem compor as buscas de informações e referências para o planejamento da gestão de riscos de inundações.

5.3. SIMULAÇÃO DAS MANCHAS DE INUNDAÇÕES

5.3.1. Obtenção da cota média das inundações para diferentes evento

Como resultado do levantamento de dados obtidos nas entrevistas com a população, combinados com as marcações identificadas dos postes, foi possível organizar os pontos atingidos por inundação e seu ano de ocorrência. Como cada ponto foi georreferenciado, utilizou-se sua coordenada para extrair, no MDT do Drone, a cota correspondente a cada localização, somando-a a altura atingida pela lâmina d'água. Além disso, como o método de levantamento de dados se baseia na memória da população, foi realizada uma correção nos anos que apresentavam registros de inundação em anos sem ocorrência do evento. Essa adequação foi necessária porque, em alguns casos, os entrevistados provavelmente se recordavam da altura atingida pela água ou possuíam algum registro de marcação, mas não da data exata do evento, o que levou ao ajuste das informações para o ano real de ocorrência. Esse procedimento resultou na determinação de uma cota média de inundação para cada evento, apresentada na **Tabela 5**.

Tabela 5: Cotas médias para geração das manchas de inundação gerada pelo MDT do Drone

Fonte	ID	Cota da inundação no local (m)						
		1983	1990	1991	1997	1998	2004	2016
Entrevistas	1							583,91
	2							583,75
	3							586,47
	4						580,69	
	5						580,04	
	6	588,15						586,20
	7							601,09
	8						593,50	592,91
	12						599,30	
	13						594,17	
	15						591,47	
	19						597,09	
	20						596,71	
	21						585,70	
	30						587,73	
31						586,78	582,98	

	1	583,70	582,72	582,49	583,62	583,36	584,28	
Poste	2							583,17
	3						584,31	
	Cota Média da Inundação	585,92	582,72	582,49	583,62	583,36	589,37	587,56

Fonte: Autor da pesquisa, 2025.

O mesmo processo foi repetido para obtenção da cota média para a geração das manchas de inundações com base no MDT do ANADEM. Dessa forma, foram consideradas as mesmas coordenadas georreferenciadas dos pontos identificados nas entrevistas e nas marcações dos postes, extraindo-se para cada um deles a cota correspondente no MDT do ANADEM. Em seguida, somou-se a altura atingida pela lâmina d'água registrada para cada evento, resultando também em uma cota média de inundação, apresentada na Tabela 6.

Tabela 6: Cotas médias para geração das manchas de inundação gerada pelo MDT do ANADEM

Fonte	ID	Cota da inundação no local (m)						
		1983	1990	1991	1997	1998	2004	2016
Entrevistas	1							587.41
	2							586.41
	3							589.57
	4						583.31	
	5						586.36	
	6	586.11						584.16
	7							595.31
	8						585.92	585.33
	12						586.87	
	13						586.38	
	15						586.97	
	19						585.8	
	20						586.32	
	21						585.93	
30						596.54		
31						587.64	583.84	
Postes	1	587.71	586.73	586.50	587.63	587.37	588.29	
	2							584.05
	3						584.16	
	Cota Média da Inundação	586.91	586.73	586.50	587.63	587.37	586.96	587.01

Fonte: Autor da pesquisa, 2025.

Para gerar a mancha de inundação, foram utilizados dois MDTs como dados de Entrada: o MDT disponibilizado pelo ANADEM e o MDT desenvolvido a partir do levantamento aerofotogramétrico com o drone Phantom Pro 4. Como resultado, foram obtidas manchas de inundação para todos os eventos que apresentaram evidências de marcações durante o levantamento sócio-hidrológico. Essas manchas foram geradas por meio de dois métodos: o primeiro, com o uso do software HAND MODEL seguido da reclassificação por tabela no QGIS; e o segundo, apenas com a reclassificação por tabelas no QGIS. Portanto foram geradas 4 manchas:

- Mancha de inundação gerada pelo MDT do ANADEM através do HAND;
- Mancha de inundação gerada pelo MDT do Drone através do HAND;
- Mancha de inundação gerada pelo MDT do ANADEM através do QGIS;
- Mancha de inundação gerada pelo MDT do Drone através do QGIS.

5.3.2. Manchas de inundação geradas a partir do Hand Model

O HAND Model realiza uma parametrização a partir dos pontos mais baixos do MDT ao longo da rede de drenagem, atribuindo a cota do rio como zero. Diante dessa metodologia, foi necessário corrigir as cotas médias obtidas para os diferentes eventos, adotando como referência a menor cota do rio em cada MDT (**Tabela 6**). Para o modelo gerado pelo drone, a menor cota identificada no trecho do rio foi de 573 m, enquanto para o MDT do ANADEM a menor cota registrada foi de 579 m. A utilização da menor cota garante que, após a correção altimétrica, tanto a cota do rio quanto os pontos com evidências de inundação sejam preservados, evitando distorções que poderiam alterar a estimativa da altura da inundação.

Tabela 7: Cotas médias das inundações para HAND Model

Parâmetros	Eventos						
	1983	1990	1991	1997	1998	2004	2016
Cota Média da Inundação (m)	585,92	582,72	582,49	583,62	583,36	589,37	587,56
Altura Média de Inundação para o MDT Drone (m)	12,92	9,72	9,49	10,62	10,36	16,37	14,56

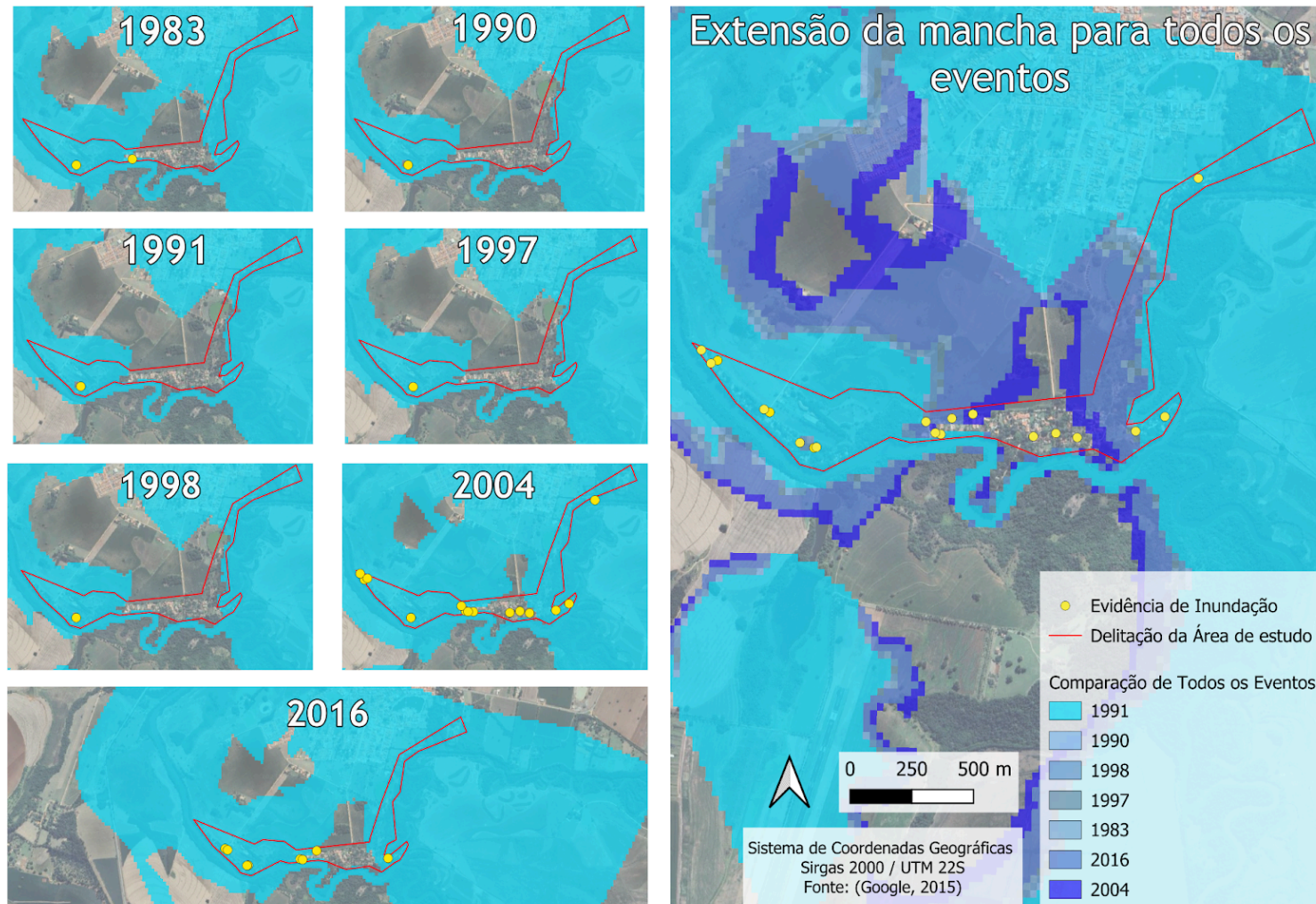
Altura Média de Inundação para o MDT ANADEM (m)	7,91	7,73	7,50	8,63	8,37	7,96	8,01
---	------	------	------	------	------	------	------

Fonte: Autor da pesquisa, 2025.

Na **Tabela 6** é possível observar uma grande diferença entre as cotas corrigidas do MDT gerado pelo drone e do MDT do ANADEM. Esse resultado pode estar associado à ausência de RTK no drone, que pode ocasionar erros altimétricos que variam entre 2 m e 10 m (Laipelt *et al.*, 2024). Além disso, esse erro atribuído ao modelo torna-se evidente ao analisar a variação entre a menor cota média e a maior cota média dos eventos: enquanto o drone apresenta uma variação de 6,88 m, o MDT do ANADEM apresenta apenas 1,13 m, o que reforça a análise de declividade desenvolvida na Análise do item 5.2.1, a qual demonstra que essa área não possui elevações bruscas.

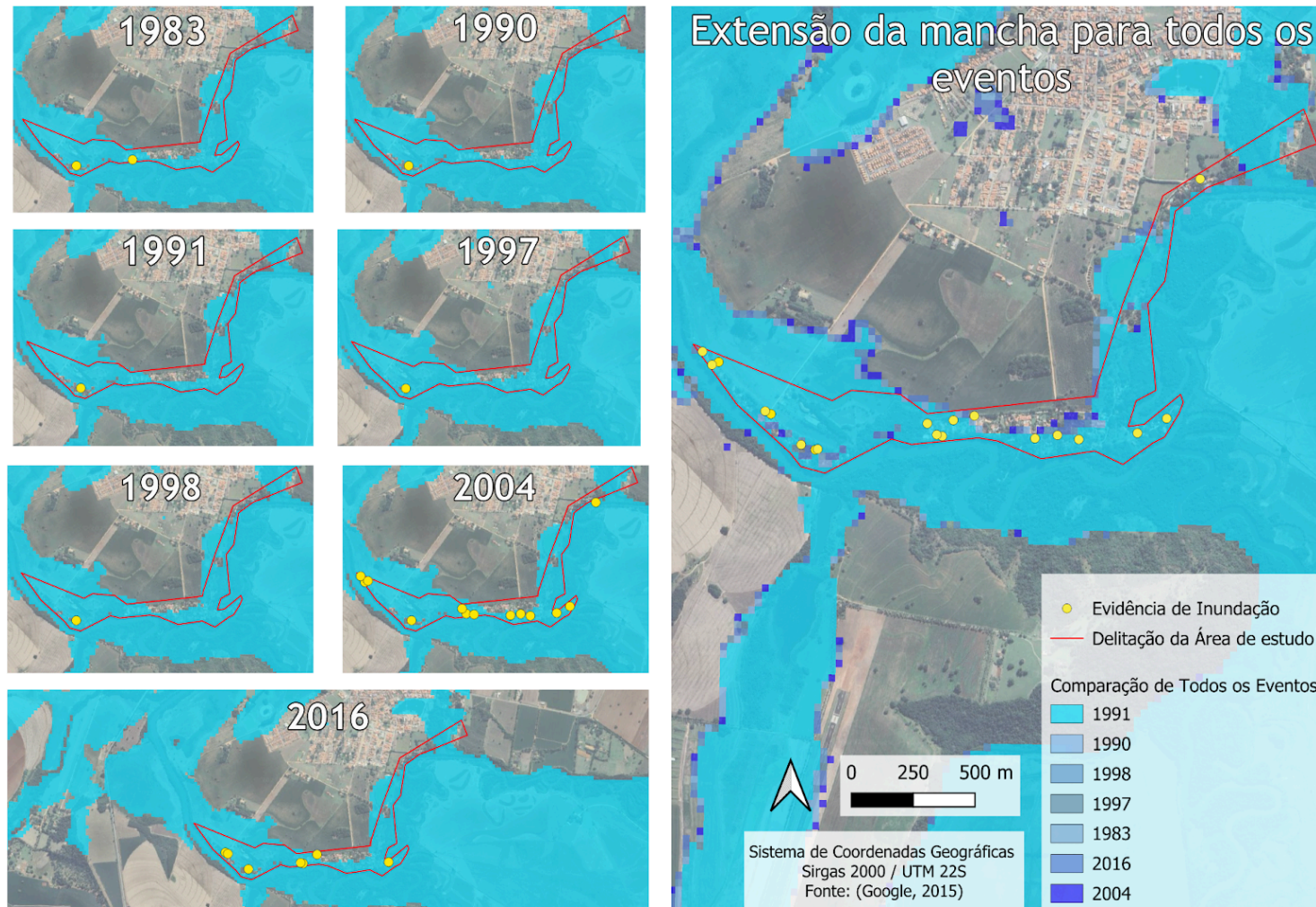
Para a parametrização do MDT do ANADEM no software HAND Model, utilizou-se o limiar de 1000, valor que apresentou melhor correspondência com a rede de drenagem disponibilizada pelo IBGE. A fim de garantir a comparabilidade entre as manchas, o mesmo limiar foi mantido para o MDT do drone. Após a parametrização dos MDTs no HAND Model, aplicou-se a ferramenta Classificar por Tabela do QGIS para delimitar as manchas de inundação (Figura 21 e Figura 22).

Figura 21: Mancha de inundação gerada pelo MDT do Drone através do HAND



Fonte: Autor da pesquisa, 2025.

Figura 22: Mancha de inundação gerada pelo MDT do ANADEM através do HAND



Fonte: Autor da pesquisa, 2025.

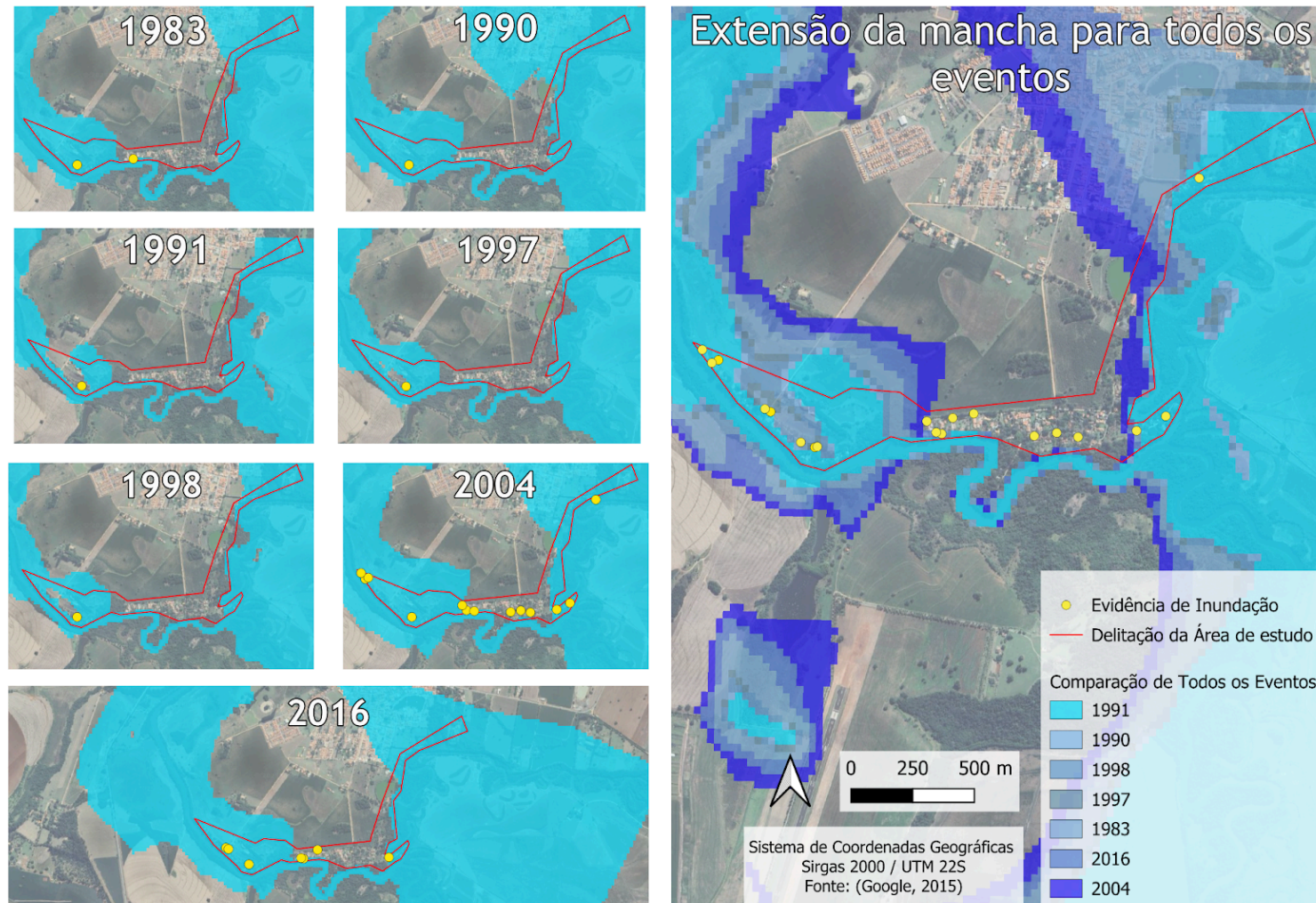
Comparando as Figura 21 e 22 é possível fazer uma relação direta entre os modelos, evidenciando que, sob as mesmas condições espaciais, o modelo do drone apresentou inconsistências na delimitação da mancha de inundação, atribuídas à ausência de um RTK, deixando de inundar áreas que possuem marcações de inundações e inundando áreas em que não há registros de inundações, como o núcleo urbano do município.

Outro ponto que contribui para maior aderência da mancha gerada pelo MDT do ANADEM à realidade das inundações observadas na área de estudo, é a delimitação mancha, onde, na Figura 21 (drone), a diferença entre um evento e outro fica mais nítida com faixas bem delimitadas em tons de azul. Já na Figura 22 (ANADEM), as faixas de delimitação entre um evento e outro se distinguem por pixels, com áreas suscetíveis a inundações bem delimitadas em azul claro. Esse comportamento reforça a influência da variação altimétrica entre as cotas da mancha gerada pelo MDT do drone e a mancha gerada pelo MDT do ANADEM, uma vez que a maior variação de cotas no MDT do Drone resulta em faixas mais discrepantes, enquanto a mancha gerada pelo MDT do ANADEM evidencia um relevo suave e com ausência de variações bruscas de altitude.

5.3.3. Manchas de inundação geradas a partir do qgis

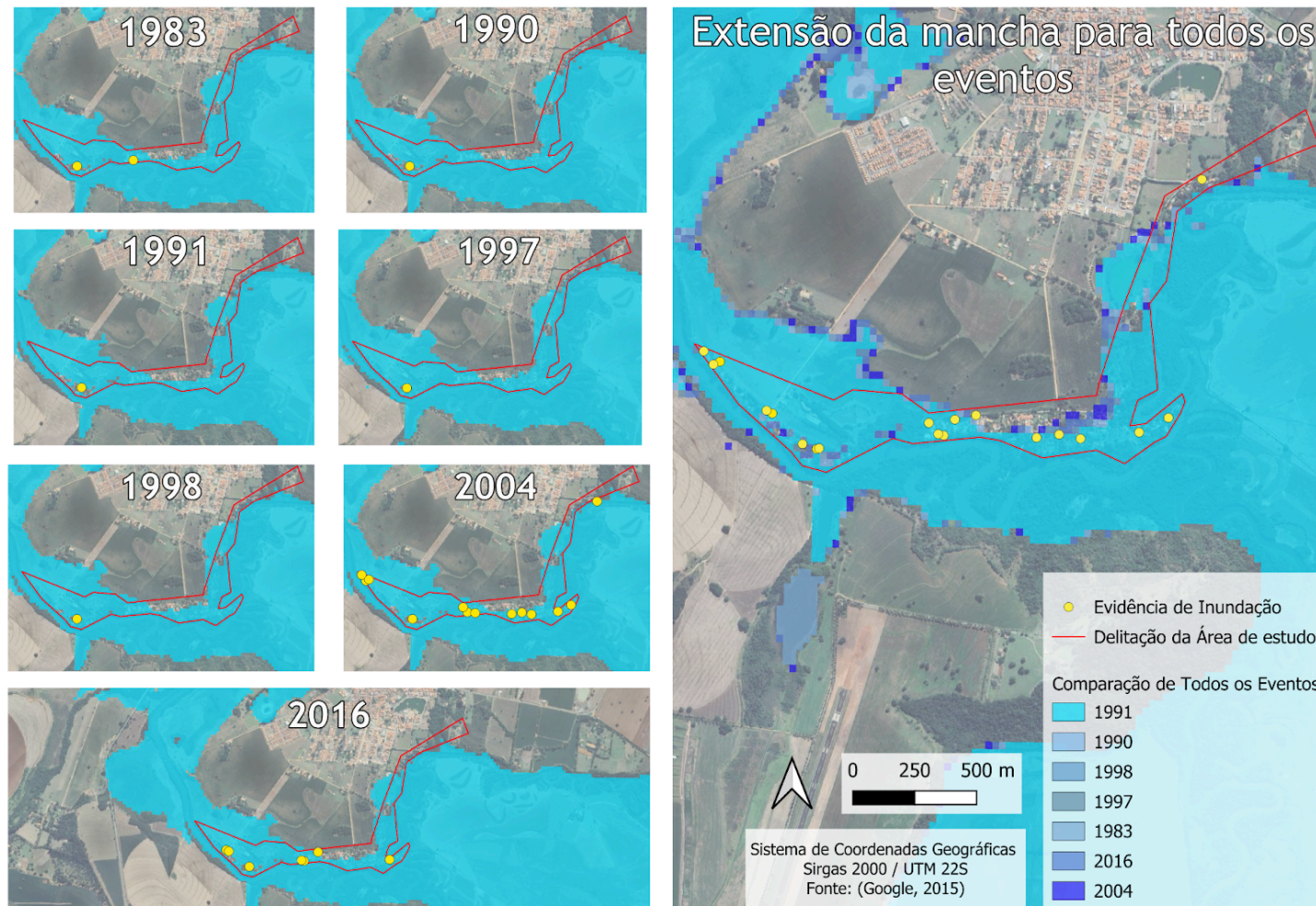
O segundo método de análise foi utilizando o MDT gerado pelo drone e pelo ANADEM diretamente na classificação por tabela do QGIS, sem nenhum tratamento preliminar como o realizado no método anterior, com o HAND. Como consequência disso, não foi necessário realizar a correção das cotas de inundação, sendo as manchas desse método apresentadas nas Figuras 22 e 23.

Figura 23: Mancha de inundação gerada pelo MDT do Drone através do QGIS



Fonte: Autor da pesquisa, 2025.

Figura 24: Mancha de inundação gerada pelo MDT do ANADEM através do QGIS



Fonte: Autor da pesquisa, 2025.

Nas Figuras 23 e 24 ocorre o mesmo erro evidenciado nas manchas geradas pelo HAND, que reforça o erro ser atribuído ao modelo do drone, e o ANADEM ser o modelo mais representativo para o local dentre os analisados neste estudo.

Apesar do método do QGIS, utilizando a ferramenta de reclassificação por tabela, ser um método mais prático por não ser necessário fazer correção de cota e teste de aderência ao limiar, ele desconsidera a declividade longitudinal do rio, parâmetro esse que é corrigido no software HAND Model por meio da parametrização, que considera a altura relativa da inundação em relação ao rio, sendo um método mais consistente para a geração de manchas de inundação.

5.4. ANÁLISE COMPARATIVA DAS MANCHAS DE INUNDAÇÕES GERADAS

Para análise da acurácia das manchas de inundação, utilizou-se o complemento AcATaMa do QGIS. A adoção dessa metodologia se deu pela falta de imagens de satélite que comprovem a extensão da mancha de inundação. A falha no registro desses momentos é um acontecimento comum por conta de condições climáticas, ocorrência de nuvens e neblina que causam interferências na visualização de uma imagem limpa, e da posição do satélite em relação à Terra, pois nem sempre eles registram o local no momento do evento, gerando essa lacuna no registro de inundações.

Sendo exatamente esse o ocorrido na área de estudo, há registros de inundação por imagens de satélite, entretanto, esse registro só ocorreu para o ano de 2016, capturado pelo Sentinel-2 L1C para o dia 21/01/2016. Nos dias anteriores e seguintes a este, não há mais registros de imagens de satélite com inundação. De acordo com a Tabela 3, o evento acumulado para o ano de 2016 ocorreu entre os dias 09/01 e 14/01, ou seja, a imagem de satélite ocorreu alguns dias após o evento, não sendo possível capturar a extensão da mancha de inundação em seu pico, sendo representado na Figura 25, onde nota-se que a mancha para esse evento já está menor, não atingindo os pontos levantados por ciência cidadã que relataram inundação no evento de 2016.

Figura 25: Registro da mancha de inundação para o evento de 2016 pelo satélite sentinel-2

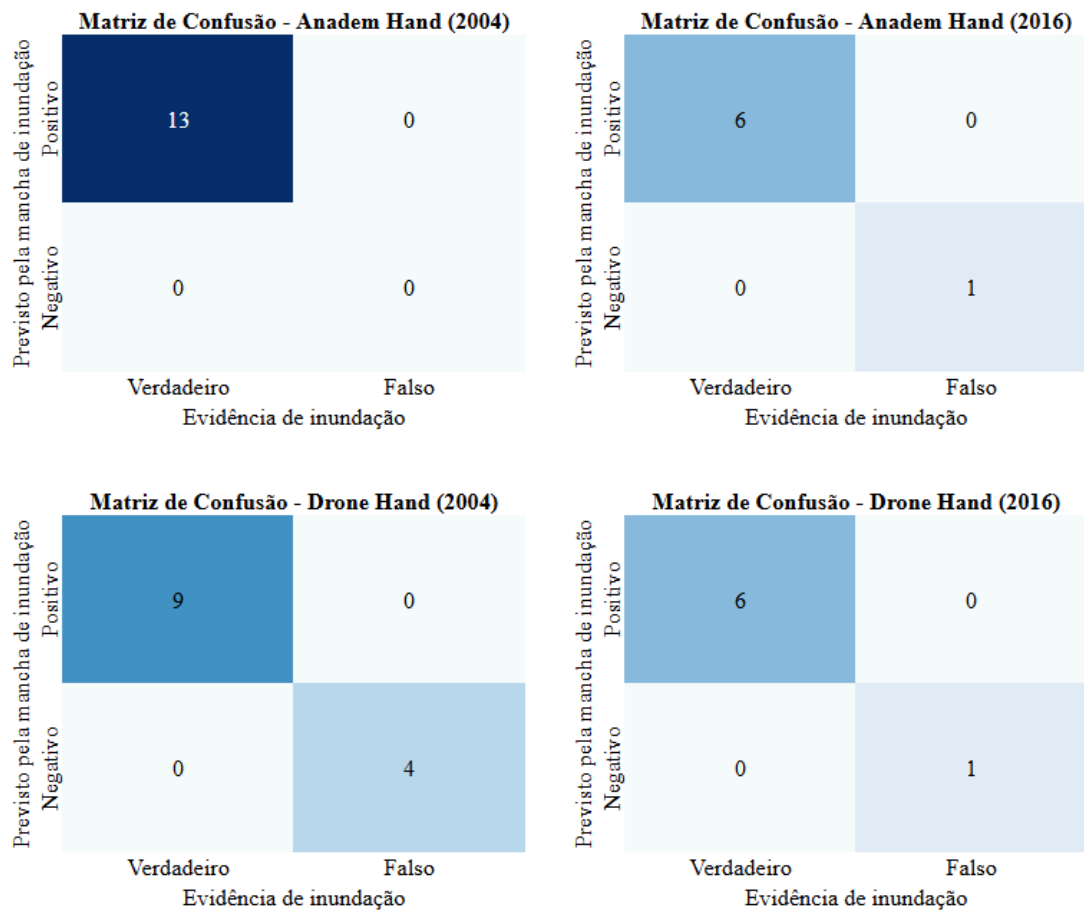


Fonte: Autor da pesquisa, 2025.

Dessa forma, adotou-se como metodologia da análise de acurácia da mancha de inundação os próprios pontos levantados por meio do questionário sócio-hidrológico, onde por meio do complemento AcATaMa, é gerada uma matriz de confusão considerando os parâmetros Verdadeiro Positivo (VP), Verdadeiro Negativo (VN), Falso Positivo (FP), Falso Negativo (FN) e Número total de pontos identificados (N).

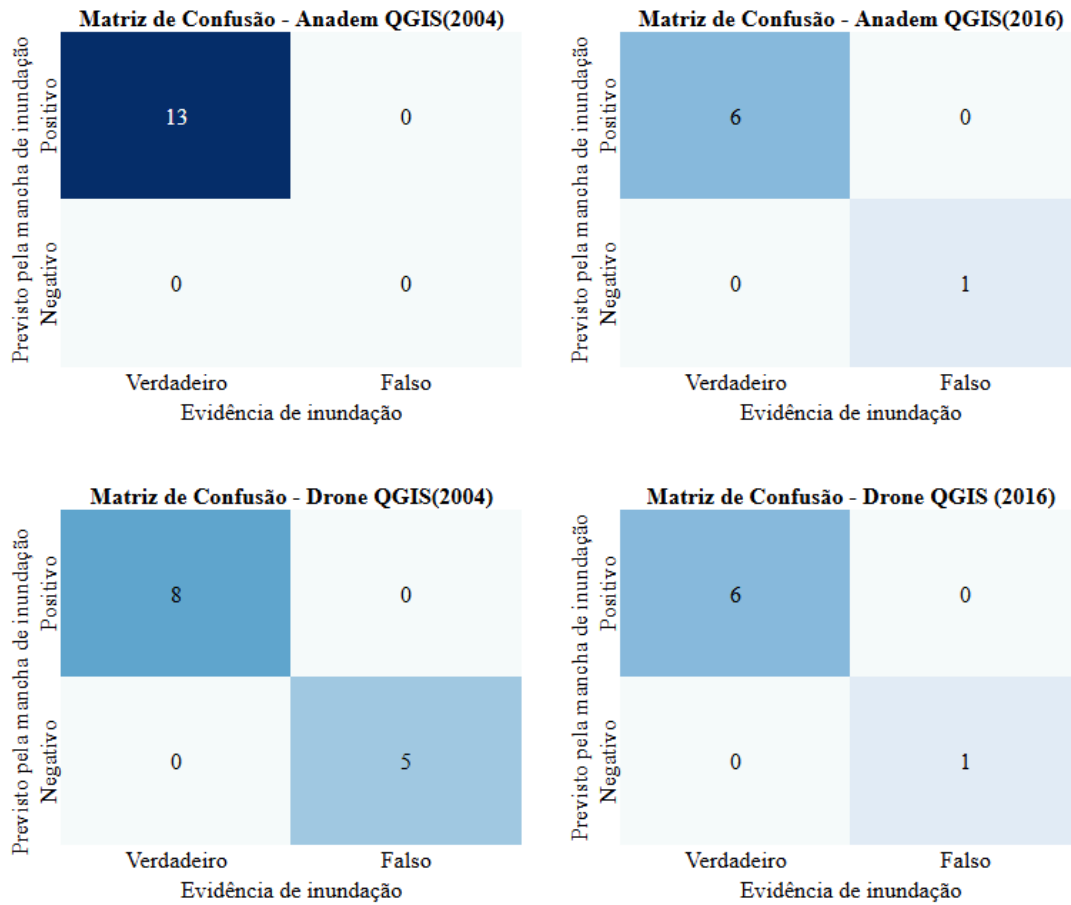
A definição desses parâmetros é realizada através da análise de ponto a ponto para verificar se a mancha de inundação gerada atingiu os pontos que a mancha de inundação real atinge. Considerando os pontos levantados com marcações para cada evento, utilizou-se como parâmetro os eventos de 2004 e 2016 por terem maior quantidade de pontos levantados (13 e 7 pontos, respectivamente), sendo esses resultados apresentados nas Figuras 26 e 27.

Figura 26: Matriz de confusão de acurácia das manchas de inundações geradas pelo HAND



Fonte: Autor da pesquisa, 2025.

Figura 27: Matriz de confusão de acurácia das manchas de inundações geradas pelo QGIS



Fonte: Autor da pesquisa, 2025.

A partir da determinação desses valores é possível determinar as análises de Acurácia Geral (AG), a Taxa de Alarme Falso (TAF), o F1-Score e a Estatística Kappa, representadas pelas equações 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

De acordo com a Tabela 8, as manchas geradas pelo MDT do ANADEM apresentaram melhores resultados, em ambos os softwares, HAND Model e QGIS, apresentando, inclusive, os mesmos valores de acurácia geral (AG) e F1-Score para os anos de 2004 e 2016.

De modo geral, o método HAND mostrou-se mais robusto, principalmente para o Drone em 2004, onde ainda conseguiu capturar 9 dos 13 pontos (69,2%), contra apenas 8 pontos no QGIS (61,5%). Esse resultado reforça que o HAND, ao considerar a altura relativa em relação ao rio, é menos sensível a deslocamentos verticais absolutos do MDE do que a simples reclassificação por cotas.

Tabela 8: Métricas de avaliação de desempenho das manchas de inundação geradas

MDT	Método	Eventos	AG	Precisão	Revocação	F1	z-score
		2004	100.00%	1.00	1.00	1.00	1.96
ANADEM	HAND	2016	85.71%	1.00	0.86	0.92	1.96
		2004	69.23%	1.00	0.69	0.82	1.96
Drone	HAND	2016	85.71%	1.00	0.86	0.92	1.96
		2004	100.00%	1.00	1.00	1.00	1.96
ANADEM	Qgis	2016	85.71%	1.00	0.86	0.92	1.96
		2004	61.54%	1.00	0.62	0.76	1.96
Drone	Qgis	2016	85.71%	1.00	0.86	0.92	1.96

Fonte: Autor da pesquisa, 2025.

Ainda é possível notar que a precisão manteve-se em 1.0 para todos os modelos, indicando que todas as áreas simuladas como inundadas realmente correspondiam a locais atingidos. No entanto, a revocação apresentou variação significativa para as manchas geradas pelo drone, entre 0,62 e 0,69 no ano de 2004, deixando de representar pontos que foram identificados com marcações no levantamento sócio-hidrológico, o que se refletiu no F1-Score (F1).

Apesar de, estatisticamente, as manchas geradas pelo drone apresentarem valores considerados altos, que poderiam indicar um desempenho satisfatório, observa-se que não houve validação em áreas classificadas como não inundadas. Isso se evidencia nas matrizes de confusão, que não apresentam registros nos parâmetros Falso Positivo (FP) e Verdadeiro Negativo (VN), uma vez que a análise contemplou apenas pontos de inundação, sem contemplar áreas efetivamente não atingidas, resultando em métricas de avaliação com limitações.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo comparar a geração de manchas de inundação a partir de dois métodos, um MDT gerado por um drone sem RTK e o outro, o MDT disponibilizado pelo ANADEM. Também foram avaliados dois modelos de geração de manchas, o HAND Model e a Reclassificação de tabela no QGIS. Os resultados demonstraram que o MDT do ANADEM combinado com o HAND Model apresentou o melhor desempenho com AG de 100% e F1 de 1,00 para o evento de 2004. Para o ano de 2016, esta configuração apresentou um AG de 85,71% e um F1 de 0,92. Já as manchas geradas pelo MDT do drone apresentaram resultados menos representativos, com AG de 69,23% (HAND) e 61,54% (QGIS) para o ano de 2004 e AG de 69,23% (HAND) e 61,54% (QGIS) para o ano de 2016. Essas distorções do modelo gerado pelo drone podem ser resultado da ausência do RTK, que, em conjunto com outros erros atrelados ao modelo, como o caso do uso do método direto de reclassificação por tabela do QGIS, desconsidera o perfil longitudinal do rio, gerando uma mancha inconsistente com a realidade. Dessa forma, reforça-se que a escolha metodológica deve priorizar modelos e abordagens capazes de representar adequadamente o comportamento hidrológico da bacia, garantindo maior confiabilidade aos resultados.

Esses resultados estão diretamente associados às características físicas da bacia de contribuição, composta por solos argilosos a montante e gleissolos a jusante, relevo plano e suavemente ondulado e pela presença de 143 barramentos a montante, fatores que aumentam a vulnerabilidade a inundações bruscas em eventos extremos. Essas condições naturais e antrópicas explicam o comportamento das manchas simuladas e confirmam a existência de uma planície de inundação ativa na área de estudo.

Outro ponto que deve ser considerado como resultado satisfatório no estudo, foi a utilização da ciência cidadã como ferramenta para levantamento de dados. O uso dessa ferramenta também gera incertezas atreladas ao método, pois depende da memória da população que muitas vezes podem não se recordar ou as pessoas que presenciaram eventos de maior escala temporal não estarem mais presentes no local do estudo. Entretanto, as informações obtidas junto à população local, incluindo relatos de moradores, registros fotográficos e marcações em campo, mostraram-se fundamentais para a identificação de eventos históricos de inundação e validação dos modelos gerados.

É importante ressaltar que o alto desempenho obtido nas análises estatísticas está diretamente relacionado à amostragem com pontos coletados em entrevistas em campo,

considerando apenas pontos que tiveram registros de marcações. Caso houvesse um número maior de pontos, dados de registro das áreas efetivamente atingidas pelas inundações ou ainda uma amostra de pontos que representasse áreas que não são inundadas, seria possível gerar uma representação para mancha com estatísticas mais fideis, sendo essa uma recomendação para estudos futuros.

No que se refere ao desenvolvimento de MDT a partir de drone, recomenda-se a utilização de um drone com RTK acoplado, a fim de diminuir o erro embutido na etapa de geoprocessamento e garantir uma maior acurácia altimétrica, e conseqüentemente, obter manchas de inundação mais representativas.

Apesar das limitações do método, a integração entre conhecimento técnico e saber local demonstrou-se eficiente não apenas para confirmar a ocorrência de inundações, mas também para revelar áreas de risco que não constam nos instrumentos oficiais, como o Plano de Bacia e o Plano Nacional de Proteção e Defesa Civil.

A metodologia desenvolvida mostrou que para essa área de estudo a utilização de dados disponibilizados em plataformas governamentais, como o caso do MDT do ANADEM, e das séries hidrológicas das estações pluviométricas da região, e *softwares* de livre acesso, como o HAND Model e o QGIS, configura-se como uma alternativa viável e de baixo custo para o levantamento e monitoramento de áreas suscetíveis a inundações em regiões que carecem de redes de medição e de informações sistematizadas, realidade presente em grande parte do território brasileiro. Assim, este estudo reforça o potencial da ciência cidadã como instrumento de democratização da informação ambiental e de fortalecimento da gestão pública frente aos desastres naturais.

Apesar de o Plano de Bacia do Alto Paranapanema apresentar planos importantes para a gestão de inundações e eventos extremos, observa-se que municípios pequenos, como Campina do Monte Alegre, acabam sendo negligenciados nesse processo. A ausência de monitoramento sistemático e de identificação prévia das áreas suscetíveis, impede que essas localidades tenham medidas eficientes que mitiguem os impactos desses eventos. Nesse contexto, o presente trabalho reforça a relevância de combinar múltiplas bases de dados e métodos, com abordagem integradas que podem suprir lacunas históricas de informação, especialmente em regiões com déficit de dados.

Além disso, os resultados mostraram que, mesmo sem apoio governamental, a população desenvolve estratégias adaptativas, como redes de apoio e formas próprias de lidar

com os eventos de inundação, que são experiências valiosas que representam um importante patrimônio cultural e social da região, sendo essencial que políticas públicas futuras valorizem o conhecimento local e integrem essas práticas ao planejamento oficial.

Conclui-se, portanto, que a abordagem aplicada pode ser de fácil reprodução para outras áreas, socialmente inclusiva e tecnicamente robusta, podendo servir de referência para o desenvolvimento de metodologias simplificadas de mapeamento e desenvolvimento de planos de gerenciamento de risco e apoio à tomada de decisão em municípios de pequeno porte.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA BRASIL. Brasil tem 1.942 cidades com risco de desastre ambiental. Brasília, 08 maio 2024. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2024-05/brasil-tem-1942-cidades-com-risco-de-desastre-ambiental> Acesso em: 11 set. 2025.

ALCÁNTARA-AYALA, Irasema. Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. *Geomorphology*, v. 47, n. 2–4, p. 107–124, 2002.

"ARONOFF, S. *Geographic Information Systems: a management perspective*. Ottawa: WDL Publications, 1989. 294 p. Disponível em: <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1313558> . Acesso em: 22 set. 2025."

BATES, P. D.; DE ROO, A. P. J. A simple raster-based model for flood inundation simulation. *Journal of Hydrology*, v. 236, p. 54–77, 2000. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/223022759_A_Simple_Raster-Based_Model_for_Flood_Inundation_Simulation. Acesso em: 25 set. 2025.

BEAR, J. *Dynamics of fluids in porous media*. New York: Elsevier, 1972. 764 p.

BONNEY, R. Citizen science: a lab tradition. *Living Bird*, Ithaca, v. 15, n. 4, p. 7–15, 1996.

BONNEY, R.; COOPER, C. B.; DICKINSON, J.; KELLING, S.; PHILLIPS, T.; ROSENBERG, K. V.; SHIRK, J. Citizen Science: a developing tool for expanding science knowledge and scientific literacy. *BioScience*, Washington, v. 59, n. 11, p. 977–984, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1525/bio.2009.59.11.9>.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Planos de Recursos Hídricos de Bacias Hidrográficas. Brasília, DF, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/planos-de-recursos-hidricos/planos-de-recursos-hidricos-de-bacias-hidrograficas>. Acesso em: 25 set. 2025.

BRASIL. Lei n.º 12.651, de 25 de maio de 2012. “Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis n.º 6.938, de 31 de agosto de 1981, e n.º 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis n.º 4.771, de 15 de setembro de 1965, e n.º 7.754, de 14 de abril de 1989, e dispositivos da Lei n.º 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.” *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 28 maio 2012. Seção 1, p. 1. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm . Acesso em: 27 set. de 2025.

BRASIL. Lei n.º 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, 8 jan. 2007. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm. Acesso em: 25

set. 2025.

BRASIL. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano 146, n. 248, p. 109–112, 30 dez. 2009.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI). AdaptaBrasil: índices e indicadores de impactos das mudanças climáticas. Brasília, 2021. Disponível em: <https://www.ccst.inpe.br/adapta-brasil-integra-indices-e-indicadores-de-impactos-das-mudancas-climaticas/>. Acesso em: 11 set. 2025.

BRASIL. MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO E DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL (MDR). Plano Nacional de Proteção e Defesa Civil lança método para identificação de riscos de desastres e cenários prospectivos. Brasília, DF, 2024a. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/noticias/plano-nacional-de-protecao-e-defesa-civil-lanca-metodo-para-identificacao-de-riscos-de-desastres-e-cenarios-prospectivos>. Acesso em: 25 set. 2025.

BRASIL. MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO E DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL (MDR). Saiba tudo sobre o Plano Nacional de Proteção e Defesa Civil. Brasília, DF, 2024b. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/noticias/saiba-tudo-sobre-o-plano-nacional-de-protecao-e-defesa-civil>. Acesso em: 25 set. 2025.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES. Periferia sem Risco. Brasília, DF, 2024c. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/acao-a-informacao/acoes-e-programas/periferias/periferia-sem-risco>. Acesso em: 6 out. 2025.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES. Política Nacional de Desenvolvimento Urbano. Brasília, DF, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/cidades/pt-br/assuntos/publicacoes/arquivos/arquivos/puliccompletaport_alt.pdf. Acesso em: 25 set. 2025.

BRUBACHER, João Paulo et al. Preenchimento de Falhas e Espacialização de Dados Pluviométricos: Desafios e Perspectivas. Revista Brasileira de Meteorologia, Porto Alegre, v. 15, n. 1, p. 1-15, abr. 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/NJKZzyRfmcKGGd6cyDZqxFb/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 22 abr. 2024.

CÂMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J. SPRING: integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. Computers & Graphics, v. 20, n. 3, p. 395–403, maio/jun. 1996. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_geo.html. Acesso em: 23 set. 2025.

CAMPINA DO MONTE ALEGRE. Cidade de Campina do Monte Alegre. Campina do

Monte Alegre, SP, [s.d.]. Disponível em: <https://www.campinadomontealegre.sp.gov.br/cidade>. Acesso em: 6 out. 2025.

CEMADEN – Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. Glossário de termos técnicos em desastres naturais. São José dos Campos: CEMADEN, 2016. Disponível em: <http://www.cemaden.gov.br>. Acesso em: 28 set. 2025.

CEMADEN – Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. Sobre o evento: 10 anos Cemaden. [S. l.], [2025]. Disponível em: <https://www.gov.br/cemaden/pt-br/assuntos/10-anos-cemaden/sobre-o-evento#:~:text=Assim%2C%20em%201%C2%BA%20de%20julho,para%20subsidiar%20a%20gest%C3%A3o%20de>. Acesso em: 11 set. 2025.

CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS (CEMADEN). Estudo do Cemaden e do Inpe identifica pela primeira vez a ocorrência de uma região árida no país. São José dos Campos, 18 jan. 2024. Disponível em: https://www.gov.br/cemaden/pt-br/assuntos/noticias-cemaden/estudo-do-cemaden-e-do-inpe-identifica-pela-primeira-vez-a-ocorrencia-de-uma-regiao-arida-no-pais/nota-tecnica_aridas.pdf. Acesso em: 6 out. 2025.

CEPEL / CRESESB. Atlas Eólico do Estado de São Paulo, 2012. Disponível em: https://cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/atlas_eolico_SP.pdf. Acesso em: 28 set. 2025.

CHOW, V. T. Open-channel hydraulics. New York: McGraw-Hill, 1959. 680 p.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO PARANAPANEMA (CBH-ALPA). Plano da Bacia Hidrográfica do Alto Paranapanema (UGRHI 14) 2016–2027: Relatório I – Informações Básicas. São Paulo: TCA Soluções e Planejamento Ambiental; Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, 2016. Disponível em: <https://sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/CBH-ALPA/12024/relatorioalparevisaodeze mbrov5.pdf>. Acesso em: 30 set. 2025.

CUARTAS, L. A.; NOBRE, A. D.; HODNETT, M. G.; et al. Modelagem hidrológica distribuída de uma microbacia hidrográfica de floresta tropical na Amazônia: avaliação de modelos e avanços na calibração usando o novo modelo de terreno HAND. *Journal of Hydrology*, v. 404, p. 13–29, 2012.

DANTAS, Antônio Edmilson de Alcântara. Uso da aerofotogrametria com VANTs e SIG na análise de áreas sujeitas a inundações. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018. Disponível em:

<https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/34747/1/Ant%C3%B4nio%20Edmilson%20de%20Alc%C3%A2ntara%20Dantas%20-%20TCC%20%281%29.pdf>

. Acesso em: 7 set. 2025

EMBRAPA TERRITORIAL. Agricultura e preservação ambiental: uma análise do cadastro ambiental rural. Campinas, 2020. Disponível em: < www.embrapa.br/car >. Acesso em: 29 set. 2025

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Classes de relevo. In: Agência de Informação Embrapa – Território Mata Sul Pernambucana: Recursos Naturais – Relevo. Brasília, DF: Embrapa, [2023]. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/territorios/territorio-mata-sul-pernambucana/caracteristicas-do-territorio/recursos-naturais/relevo>. Acesso em: 6 out. 2025.

Fonte: HARTWIG (2012, apud IFSUL, s.d.). Disponível em: http://tics.ifsul.edu.br/matriz/conteudo/disciplinas/_pdf/hidr.pdf. Acesso em: 09 set. 2025.

GLANTZ, M. H.; RAMIREZ, I. J. Reviewing the Oceanic Niño Index (ONI) to enhance societal readiness for El Niño's impacts. *International Journal of Disaster Risk Science*, [S.l.], v. 11, p. 394–403, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13753-020-00275-w>. Acesso em: 22 set. 2025.

GOERL, R. F.; KOBAYAMA, M. Redução dos desastres naturais: desafio dos geógrafos. *Ambiência – Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais*, Guarapuava, v. 9, n. 1, p. 145-172, 2013.

HORTON, R. E. The role of infiltration in the hydrologic cycle. *Transactions, American Geophysical Union, Washington*, v. 14, p. 446-460, 1933. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/TR014i001p00446>. Acesso em: 28 set. 2025.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Desastres naturais: 59,4% dos municípios não têm plano de gestão de riscos. Agência de Notícias, 05 jul. 2018. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/21633-desastres-naturais-59-4-dos-municipios-nao-tem-plano-de-gestao-de-riscos>. Acesso em: 11 set. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Sensoriamento remoto. Rio de Janeiro, [s.d.]. Disponível em: <https://atlascolar.ibge.gov.br/cartografia/21735-sensoriamento-remoto.html> Acesso em: 23 set. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). AdaptaBrasil integra índices e indicadores de impactos das mudanças climáticas. [S. l.], 08 dez. 2020. Disponível em: <https://www.ccst.inpe.br/adapta-brasil-integra-indices-e-indicadores-de-impactos-das-mudancas-climaticas/>. Acesso em: 10 set. 2025.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Edited by V. Masson-Delmotte et al. Cambridge: Cambridge University Press, 2022. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>. Acesso em: 6 out. 2025.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Climate Change 2022: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC, 2022. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>. Acesso em: 28 set. 2025.

IRWIN, A. Citizen Science: a study of people, expertise and sustainable development. London: Routledge, 1995. 216 p.

KOBIYAMA, Masato; MENDONÇA, Magaly; MORENO, Davis Anderson; MARCELINO, Isabela Pena Viana de Oliveira; MARCELINO, Emerson Vieira; GONÇALVES, Edson Fossatti; BRAZETTI, Letícia Luiza Penteadó; GOERL, Roberto Fabris; MOLLERI, Gustavo Souto Fontes; RUDORFF, Frederico de Moraes. Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos. Florianópolis: Organic Trading, 2006. 122 p. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/proclima/wp-content/uploads/sites/36/2014/05/prevencaodedesastresnaturaisconceitosbasicos.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2025.

KRON, Wolfgang et al. Water-related hazard and risk management. In: Handbook of Water Resources Management: Discourses, Concepts and Examples. Cham: Springer International Publishing, 2021. p. 675-734.

LAIPELT, L.; COMINI DE ANDRADE, B.; COLLISCHONN, W.; TEIXEIRA, A. de A.; PAIVA, R. C. D.; RUHOFF, A. ANADEM: um modelo digital de terreno para a América do Sul. Sensor Remoto, v. 16, p. 2321, 2024. Disponível em: <https://www.preprints.org/manuscript/202404.1305/v1>. Acesso em: 23 set. 2025.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. Biometrics, v. 33, n. 1, p. 159-174, 1977. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/843571/>. Acesso em: 25 set. 2025.

LIMA, W. de P. Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas. 2. ed. Piracicaba: IPEF, 2008. 245 p.

MARENGO, J. A. et al. Extreme rainfall and hydroclimatic disasters in Brazil. Climatic Change, [S.l.], v. 166, n. 1, p. 1-22, 2021. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/climate/articles/10.3389/fclim.2021.610433/full> Acesso em: 22 set. 2025.

MARQUES, Luísa; BORTONI, Samantha; GOMES, Maria Helena Rodrigues. Análise da bacia hidrográfica do Ribeirão Marmelo sob o enfoque da geometria fractal. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 11., 2012, [local não identificado]. Anais... [S. l.]: [s. n.], nov. 2012. v. 1.

Disponível em: <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1551.3769>. Acesso em: 18 out. 2025.

MCMILLAN, Hilary K. et al. Hydrological data uncertainty and its implications. Wires Water, California, v. 5, n. 6, p. 1-15, 20 set. 2018. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/wat2.1319>. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/327807488_Hydrological_data_uncertainty_and_its_implications. Acesso em: 22 maio 2024. MACKLIN, Mark G.; LEWIN, John. The rivers of civilization. *Quaternary Science Reviews*, [S.L.], v. 114, p. 228-244, abr. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quascirev.2015.02.004>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0277379115000608>. Acesso em: 17 abr. 2024.

MCMILLAN, Hilary K. et al. Hydrological data uncertainty and its implications. *Wires Water*, California, v. 5, n. 6, p. 1-15, 20 set. 2018. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/wat2.1319>. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/327807488_Hydrological_data_uncertainty_and_its_implications. Acesso em: 22 maio 2024. MACKLIN, Mark G.; LEWIN, John. The rivers of civilization. *Quaternary Science Reviews*, [S.L.], v. 114, p. 228-244, abr. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quascirev.2015.02.004>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0277379115000608>. Acesso em: 17 abr. 2024.

MORGAN, E.; MING, X.; MESSNER, F. Evaluating flood inundation models using F1-score and other accuracy metrics: a case study of data-driven and hydraulic approaches. *Journal of Hydrology*, v. 603, p. 127–145, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169421011951>. Acesso em: 18 out. 2025.

MUHADI, N. A.; ABDULLAH, A. F.; BEJO, S. K.; MAHADI, M. R.; MIJIC, A. The use of LiDAR-derived DEM in flood applications: a review. *Remote Sensing, Basel*, v. 12, n. 14, p. 2308, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/14/2308>. Acesso em: 11 set. 2025.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). El Niño–Southern Oscillation (ENSO) Diagnostic Discussion. Washington, D.C., 2023. Disponível em: <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/>. Acesso em: 22 set. 2025.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva: IPCC, 2023. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_FullVolume.pdf?. Acesso em: 6 out. 2025.

ONU. ONU confirma 2024 como o ano mais quente já registrado, com cerca de 1,55 °C acima dos níveis pré-industriais. Brasília, 10 jan. 2025. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/287173-onu-confirma-2024-como-o-ano-mais-quente-j%C3%A1-registrado-com-cerca-de-155%C2%B0c-acima-dos-n%C3%ADveis>. Acesso em: 6 out. 2025.

PASSOS, Priscilla Nogueira Calmon de. A CONFERÊNCIA DE ESTOCOLMO COMO PONTO DE PARTIDA PARA A PROTEÇÃO INTERNACIONAL DO MEIO AMBIENTE. *Revista Direitos Fundamentais & Democracia*, Curitiba, v. 25, n. 1, p. 1-25, 17 dez. 2019. Disponível em: <https://revistaeletronicardfd.unibrasil.com.br/index.php/rdfd/article/view/18>.

Acesso em: 22 abr. 2024.

POLLACK, G.; GIERLINGER, S.; HAIDVOGL, G. et al. Uso e abuso de um rio urbano torrencial: o Rio Viena antes e durante a industrialização. *Water History*, v. 8, p. 329–355, 2016. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12685-016-0177-7>. Acesso em: 8 set. 2025.

RENNÓ, C. D.; NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; SOARES, J. V.; HODNETT, M. G.; TOMASELLA, J.; WATERLOO, M. J. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. *Remote Sensing of Environment*, v. 112, n. 9, p. 3469–3481, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.03.018>. Acesso em: 6 out. 2025.

SANTOS, Humberto Gonçalves dos; JACOMINE, Paulo Klinger Tito; ANJOS, Lúcia Helena Cunha dos; OLIVEIRA, Virlei Álvaro de; LUMBRERAS, José Francisco; COELHO, Maurício Rizzato; ALMEIDA, Jaime Antonio de; ARAÚJO FILHO, José Coelho de; LIMA, Hedinaldo Narciso; MARQUES, Flávio Adriano; OLIVEIRA, João Bertoldo de; CUNHA, Tony Jarbas Ferreira. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 6. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2025. 393 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1176834/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos>. Acesso em: 6 out. 2025.

SGB — Serviço Geológico do Brasil. *Isoietas – Atlas Pluviométrico do Brasil*. Disponível em: <https://www.sgb.gov.br/isoietas>. Acesso em: 28 set. 2025.

SILVEIRA, A. L. L.; GOLDENFUM, J. A. Influência do período de retorno no grau de perigo de inundação. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 12, n. 2, p. 71-82, abr./jun. 2007. DOI: <https://doi.org/10.21168/rbrh.v12n2.p71-82>. Acesso em: 26 ago. 2025

SIVAPALAN, M. et al. Socio-hydrology: a new science of people and water. *Hydrological Processes*, Chichester, v. 26, n. 8, p. 1270-1276, abr. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/hyp.8426>. Acesso em: 28 set. 2025.

STARKEY, Eleanor et al. Demonstrating the value of community-based (‘citizen science’) observations for catchment modelling and characterisation. *Journal Of Hydrology*, [S.L.], v. 548, p. 801-817, maio 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.03.019>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169417301646>. Acesso em: 22 maio 2024.

STORY, M.; CONGALTON, R. G. Accuracy assessment: a user’s perspective. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 52, n. 3, p. 397–399, 1986. Disponível em: https://www.asprs.org/wp-content/uploads/pers/1986journal/mar/1986_mar_397-399.pdf. Acesso em: 25 set. 2025.

STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin*, New York, v. 63, n. 11, p. 1117-1142, 1952. Disponível em:

[https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1952\)63\[1117:HAAOET\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1952)63[1117:HAAOET]2.0.CO;2). Acesso em: 10 set. 2025.

TORRES, S. N.; ANDRADE, M. V. A.; TORRES, F. T. A.; CARVALHO, L. A. V. A low-cost UAV for environmental and agricultural monitoring applications. In: Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). Cape Town: IEEE, 2009. p. 3723–3726. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5158229>. Acesso em: 23 set. 2025.

TRIGG, M. A.; SMITH, A.; BATES, P. D.; NEAL, J. C.; ALFIERI, L.; SAMUELSSON, P. The credibility challenge for global fluvial flood risk analysis. *Surveys in Geophysics*, v. 37, p. 1071–1087, 2016. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10712-016-9378-y>. Acesso em: 25 set. 2025

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2009. 943 p.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA (UFSC). Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991 a 2012. 2. ed. rev. ampl. Florianópolis: CEPED UFSC, 2013. Disponível em: https://educacao.cemaden.gov.br/wp-content/uploads/2017/07/atlas_brasileiro_desastres_naturais.pdf. Acesso em: 11 set. 2025.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. Primeiros pontos do Mapa Cidadão 2024 estão disponíveis para consulta. Porto Alegre, 14 maio 2024. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/site/noticias/primeiros-pontos-do-mapa-cidadao-2024-estao-disponiveis-para-consulta/>. Acesso em: 6 out. 2025.

VAREJÃO-SILVA, M. A. Meteorologia e climatologia. Brasília: INMET, 2001. 532 p.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. Hidrologia aplicada. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245 p.

APÊNDICE A - Roteiro da Entrevista com a População Local

1. Nome
2. Endereço
3. Telefone
4. Qual é a sua relação com esta casa?
 - () Casa própria e moro a maior parte do tempo nela
 - () Casa alugada e moro a maior parte do tempo nela
 - () Caseiro(a) e moro a maior parte do tempo nela
 - () Casa própria e venho esporadicamente
 - () Casa alugada e venho esporadicamente
 - () Caseiro(a) e fico aqui apenas durante a realização de serviços
 - () Outra: _____
5. Há quantos anos vive ou frequenta a região?
6. Há quantos anos frequenta esta casa?
7. Você se lembra da ocorrência de alguma inundação dos rios Itapetininga e Paranapanema que tenha atingido esta casa?
 - a. Se sim, quando, aproximadamente?
 - b. Você saberia dizer em que altura chegou a água?
 - c. Você tem registros da época, como fotos, por exemplo? Se sim, poderia compartilhar?
8. Você se lembra de alguma inundação marcante na região?
 - a. Se sim, quando, aproximadamente?
 - b. Você saberia dizer em que altura chegou a água em relação a algum ponto de referência da cidade?
 - c. Você tem registros da época, como fotos, por exemplo? Se sim, poderia compartilhar?
9. Outras informações (relatos das experiências, danos e prejuízos, alterações na rotina devido à ocorrência, etc.)