

792000

794000

796000



SISTEMA DE ALERTA HIDROLÓGICO

7616000

1983 - SIRGAS 2000 / UTM zone 23S

DELIMITAÇÃO DA MANCHA DE INUNDAÇÃO DO RIO POMBA NA ZONA URBANA DE SANTO ANTÔNIO DE PÁDUA/RJ

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM
DIRETORIA DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL – DHT
Departamento de Hidrologia
Divisão de Hidrologia Aplicada

Programa Gestão de Riscos e de Desastres

AÇÃO LEVANTAMENTOS, ESTUDOS, PREVISÃO E ALERTA DE EVENTOS HIDROLÓGICOS CRÍTICOS

**DELIMITAÇÃO DA MANCHA DE INUNDAÇÃO
DO RIO POMBA NA ZONA URBANA DE SANTO
ANTÔNIO DE PÁDUA-RJ**

AUTORES

Marcos Figueiredo Salviano
Luna Gripp Simões Alves

REALIZAÇÃO

Divisão de Hidrologia Aplicada

AUTORES

Marcos Figueiredo Salviano

Luna Gripp Simões Alves

EQUIPE TÉCNICA

Artur José Soares Matos

Vanesca Sartoreli Medeiros

Ricardo Gabriel Bandeira de Almeida

Caluan Rodrigues Capozzoli

Bruno dos Anjos da Motta

FOTO DA CAPA: Imagem da mancha de Inundação do rio Pomba no trecho urbano de Santo Antônio de Pádua-RJ. Elaborada pelos autores.

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

SALVIANO, Marcos Figueiredo

S184d Delimitação da mancha de inundação do rio Pomba na zona urbana de Santo Antônio de Pádua-RJ / Marcos Figueiredo Salviano, Luna Gripp Simões Alves. – São Paulo : CPRM, 2024.
1 E-book : PDF.

Programa Gestão de Riscos e de Desastres. Ação Levantamentos, Estudos, Previsão e Alerta de Eventos Hidrológicos Críticos

1. Hidrologia. 2. Manchas de inundação. 3. Cheias. I. Alves, Luna Gripp Simões. II. Título.

CDD 551

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Claudia Lopes CRB-8 SP010391/0

Ficha catalográfica elaborada pela DIDOTE

Direitos desta edição: Serviço Geológico do Brasil – CPRM
Permitida a reprodução desta publicação desde que mencionada a fonte

Serviço Geológico do Brasil - CPRM
www.sgb.gov.br
seus@sgb.gov.br

APRESENTAÇÃO

As “Manchas de Inundação” são importantes ferramentas na gestão de eventos de inundação, à medida que indicam quais são as áreas dos municípios afetadas por determinados eventos de cheia. Assim, fornecem informações essenciais para o estabelecimento de medidas preparatórias e preventivas em diversas etapas dessa gestão, como a prevenção da construção de estruturas em áreas de risco, a redução de riscos já existentes e adaptações a modificações nos fatores de riscos.

No Serviço Geológico do Brasil, o projeto “Sistema de Mapeamento de Manchas de Inundação” está integrado aos “Sistema de Alerta Hidrológico” (SAH), ambos vinculados à Divisão de Hidrologia Aplicada. Através desta integração, é possível associar os dados hidrológicos de monitoramento e previsão gerados pelos Sistemas de Alerta a informações de níveis de terreno, constantes nas manchas de inundação. Assim, gerando informação de qualidade, para subsidiar de forma responsável a tomada de decisão por parte dos órgãos atuantes na minimização dos impactos relacionados aos eventos hidrológicos extremos.

SUMÁRIO

1. Introdução.....	9
2. Materiais e Métodos	10
3. Mancha de Inundação	14
4. Considerações Finais.....	17
5. Agradecimentos	18
6. Referências Bibliográficas	19

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1- Área de drenagem a montante da estação fluviométrica de Santo Antônio de Pádua II, com as altitudes oriundas do produto SRTM. 10
- Figura 2- Ortofoto e localizações das seções batimétricas realizadas em Santo Antônio de Pádua. Fonte: Elaborado pelos autores. 11
- Figura 3- Produto final do MDE, incluindo a topografia do canal. Fonte: Elaborado pelos autores. 11
- Figura 4- Comparação entre os valores de altitude simulados (pontos laranja) com os calculados pela curva chave para a estação fluviométrica Santo Antônio de Pádua (58790002). 14
- Figura 5 - Mapa dos vetores dos mapas de inundação de Santo Antônio de Pádua/RJ em função das cotas. Fonte: Elaborado pelos autores. 15
- Figura 6- Mapa dos vetores dos mapas de inundação de Santo Antônio de Pádua/RJ em função dos tempos de retorno. Fonte: Elaborado pelos autores.. 16

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Cotas de Referência da estação Santo Antônio de Pádua (Código RHN 58790002)..... 12

Tabela 2 – Cotas locais (cm) consideradas na geração dos mapas com as correspondentes Altitudes ortométricas (m), Tempo de retorno (anos) e Vazão (m^3/s)..... 13

Tabela 3 - Tempos de retorno (anos) considerados na geração dos mapas com as correspondentes: Cota local (cm), Altitude ortométrica (m) e Vazão (m^3/s)..... 13

1. INTRODUÇÃO

Nos anos de 2021 e 2023, eventos de chuvas intensas ocasionaram inundações do rio Pomba ocasionando danos sociais, materiais e econômicos. No evento de 2021, 84 municípios decretaram estado de calamidade ou emergência, com 7 óbitos e 40 mil desalojados (CEMADEN, 2020). Dentre os municípios afetados está Santo Antônio de Pádua/RJ, cujo centro urbano é atravessado pelo rio Pomba. O município, com uma população de 41.325 habitantes (IBGE, 2022), também sofreu com os impactos de inundações do rio Pomba nos anos 2003, 2008 e 2012.

No contexto da ocorrência de inundações, os produtos conhecidos como “manchas de inundação” constituem uma fonte de informações valiosas para a população, órgãos de proteção (e.g. Defesas Civas, Corpo de bombeiros) e gestores públicos. Estes produtos complementam os Sistemas de Alerta Hidrológico, em que Santo Antônio de Pádua é atendido pelo Sistema de Alerta Hidrológico da bacia do rio Pomba (SAH-Pomba) (<https://sace.sgb.gov.br/pomba/>). O município é contemplado com previsões de nível com antecedência da ordem de 20 horas, sempre que o nível do rio supera a cota de alerta. Enquanto o SAH-Pomba tem como objetivo principal prever qual o nível futuro e quando ocorrerá, a mancha de inundação fornece a informação da extensão da inundação de acordo com o nível d’água a ser atingido pelos rios. A mancha de inundação também pode ser apresentada em função dos tempos de retorno, neste caso sendo uma ferramenta importante para o planejamento urbano e social (Heimann et al., 2019; 2020; Dunn et al., 2020).

Assim, o objetivo deste trabalho é descrever o procedimento de delimitação da mancha de inundação do rio Pomba na zona urbana de Santo Antônio de Pádua-RJ. As manchas são apresentadas em formato de mapas, elaborados em função de variados valores de cotas (300 a 550 cm, em intervalos de 25 cm em 25 cm) e de tempos de retorno (2, 5, 10, 15, 20, 50 e 100 anos).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O município de Santo Antônio de Pádua está localizado no estado do Rio de Janeiro, nas margens do Rio Pomba, próximo à sua foz no rio Paraíba do Sul (Figura 1).

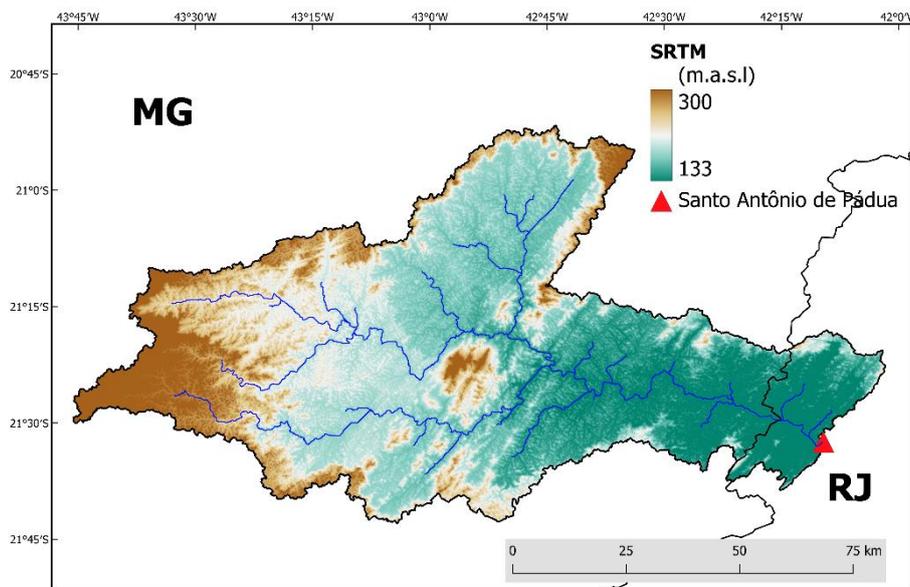


Figura 1- Área de drenagem a montante da estação fluviométrica de Santo Antônio de Pádua II, com as altitudes oriundas do produto SRTM. Fonte: Elaborada pelos autores

O Modelo Digital de Elevação (MDE) do terreno foi gerado a partir de dados de um mapeamento obtido com VANTE (Veículo Aéreo Não Tripulado) com resolução original de 10 cm, posteriormente reamostrada para 10 m, realizado com apoio da Divisão de Cartografia (DICART). O sistema de referência utilizado foi o UTM da zona 23S com o Datum horizontal SIRGAS 2000 e o *hgeoHNOR_IMBITUBA* como Datum vertical.

O Modelo Digital de Elevação do canal foi elaborado a partir de 60 seções batimétricas (Figura 2) geradas com informações coletadas com aparelho de medição acústica de vazão, o ADCP M9[®]. Os dados levantados em campo com o ADCP foram processados por meio do software RiverSurveyor Live versão 4.3 (SonTek, 2022). Os dados de profundidade da água foram então interpolados por meio do método do quadrado do inverso da distância (IDW), aplicado por meio do software QGIS[®] versão 3.30.0 (QGIS, 2024).

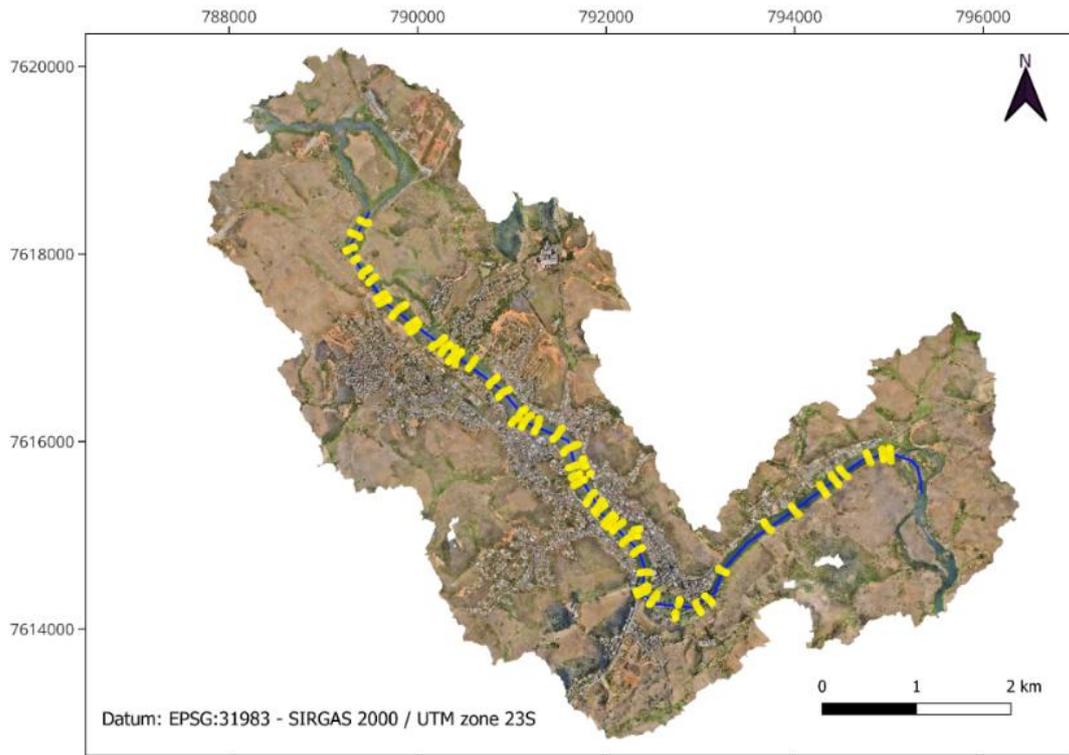


Figura 2- Ortorectificação e localizações das seções batimétricas realizadas em Santo Antônio de Pádua. Fonte: Elaborado pelos autores.

Os modelos de elevação da parte não submersa (i.e. parte seca) e submersa foram agregados para a geração do produto final do Modelo Digital de Elevação (Figura 3).

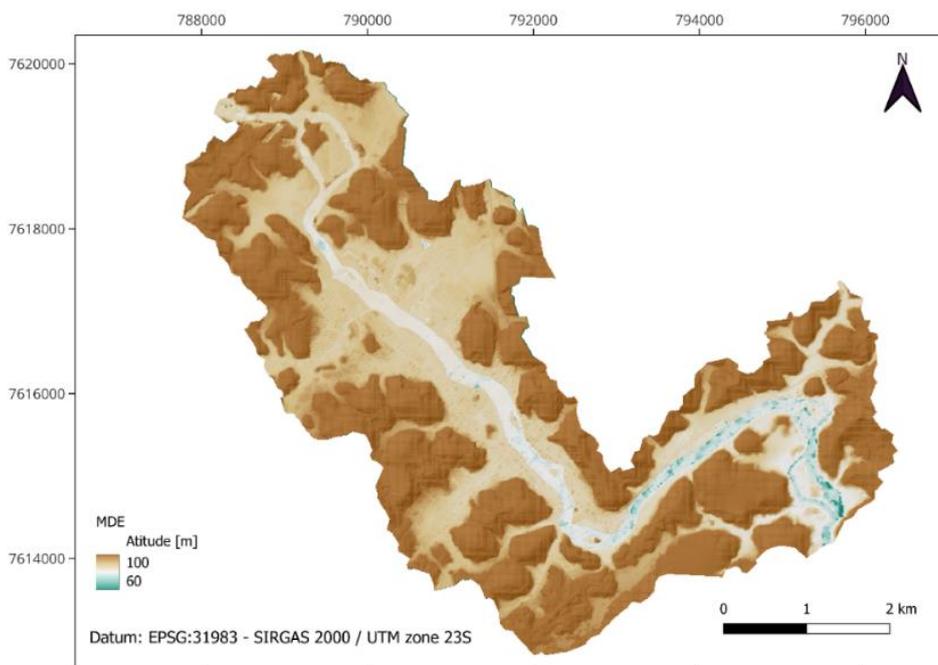


Figura 3— Produto final do MDE, incluindo a topografia do canal. Fonte: Elaborado pelos autores.

A altitude ortométrica da estação fluviométrica Santo Antônio de Pádua II (Código RHN 58790002) foi levantada por meio de um GPS Geodésico, obtendo-se uma altitude do zero da régua de 79,709 metros acima do nível do mar (hgeoHNOR_IMBITUBA). As cotas de referência para Alerta Hidrológico da estação, definidas pelo SAH Pomba encontram-se apresentadas na Tabela 1. A cota de atenção representa a cota em que há possibilidade moderada de ocorrência, a cota de alerta representa possibilidade elevada de ocorrência de inundação e a cota de inundação representa a cota em que o primeiro dano é observado no município. A cota máxima registrada na estação foi 431 cm, no dia 08/01/2023.

Tabela 1 - Cotas de Referência da estação Santo Antônio de Pádua (Código RHN 58790002)

Referência	Cota (cm)	Descrição
Cota de Atenção	240	Possibilidade moderada de ocorrência de inundação
Cota de Alerta	275	Possibilidade elevada de ocorrência de inundação
Cota de Inundação	310	Cota em que o primeiro dano é observado no município

Os mapas de inundação foram calculados para 11 diferentes valores de cota, com intervalos de 25 cm entre as cotas 300 e 550 cm (

Tabela 2). A partir da altitude ortométrica da estação, foram calculadas as altitudes correspondentes a cada cota. As vazões foram calculadas a partir da curva-chave válida para a estação e utilizada na geração de dados para o projeto Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN). Os tempos de retorno foram calculados por meio do método de Gumbel de cotas máximas a partir da série histórica diária de cotas. Analogamente, foram elaborados mapas de inundação a partir dos tempos de retornos com valores entre 2 e 100 anos (Tabela 3).

Tabela 2 – Cotas locais (cm) consideradas na geração dos mapas com as correspondentes Altitudes ortométricas (m), Tempo de retorno (anos) e Vazão (m³/s).

Cota local (cm)	Altitude ortométrica (m)	Tempo de retorno (anos)	Vazão (m ³ /s)
300	82,71	#	624
325	82,96	2	728
350	83,21	3	839
375	83,46	5	957
400	83,71	7	1.080
425	83,96	11	1.210
450	84,21	17	1.346
475	84,46	26	1.488
500	84,71	39	1.636
525	84,96	60	1.789
550	85,21	91	1.948

Tabela 3 - Tempos de retorno (anos) considerados na geração dos mapas com as correspondentes: Cota local (cm), Altitude Ortométrica (m) e Vazão (m³/s).

Tempo de retorno (anos)	Cota local (cm)	Altitude ortométrica (m)	Vazão (m ³ /s)
2	310	82,81	665
5	376	83,47	960
10	419	83,90	1.178
15	443	84,14	1.310
20	461	84,31	1.405
50	514	84,85	1.723
100	555	85,26	1.978

Para a modelagem hidrodinâmica, foi utilizado o software HEC-RAS versão 6.5 Beta (USACE, 2024). Para o cálculo dos perfis de elevação do nível d’água para cada seção transversal foi considerado um fluxo retilíneo, uniforme e unidimensional. O coeficiente de Manning foi calibrado a partir da comparação entre as altitudes da linha d’água obtidas com curva-chave da seção da fluviométrica e as simuladas (Figura 4). Foram obtidos valores de 0,025 para o

canal principal e de 0,050 para as margens. Os valores coincidiram com os levantados na bibliografia (Pinto, 2024).

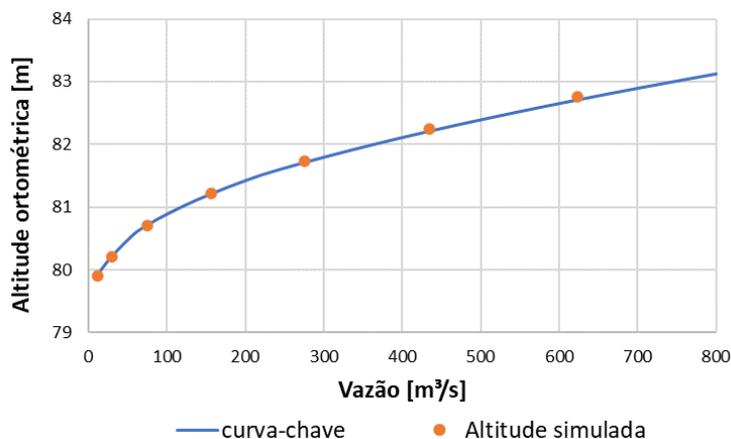


Figura 4– Comparação entre os valores de altitude simulados (pontos laranja) com os calculados pela curva chave para a estação fluviométrica Santo Antônio de Pádua (58790002).

3. MANCHA DE INUNDAÇÃO

Os mapas de inundação em função das cotas (Figura 5) e dos tempos de retorno (Figura 6) estão apresentados nas figuras abaixo. Cada mapa foi gerado em formato vetorial sendo possível a sua visualização na plataforma eletrônica SACE (https://www.sgb.gov.br/sace/index_manchas_inundacao.php).

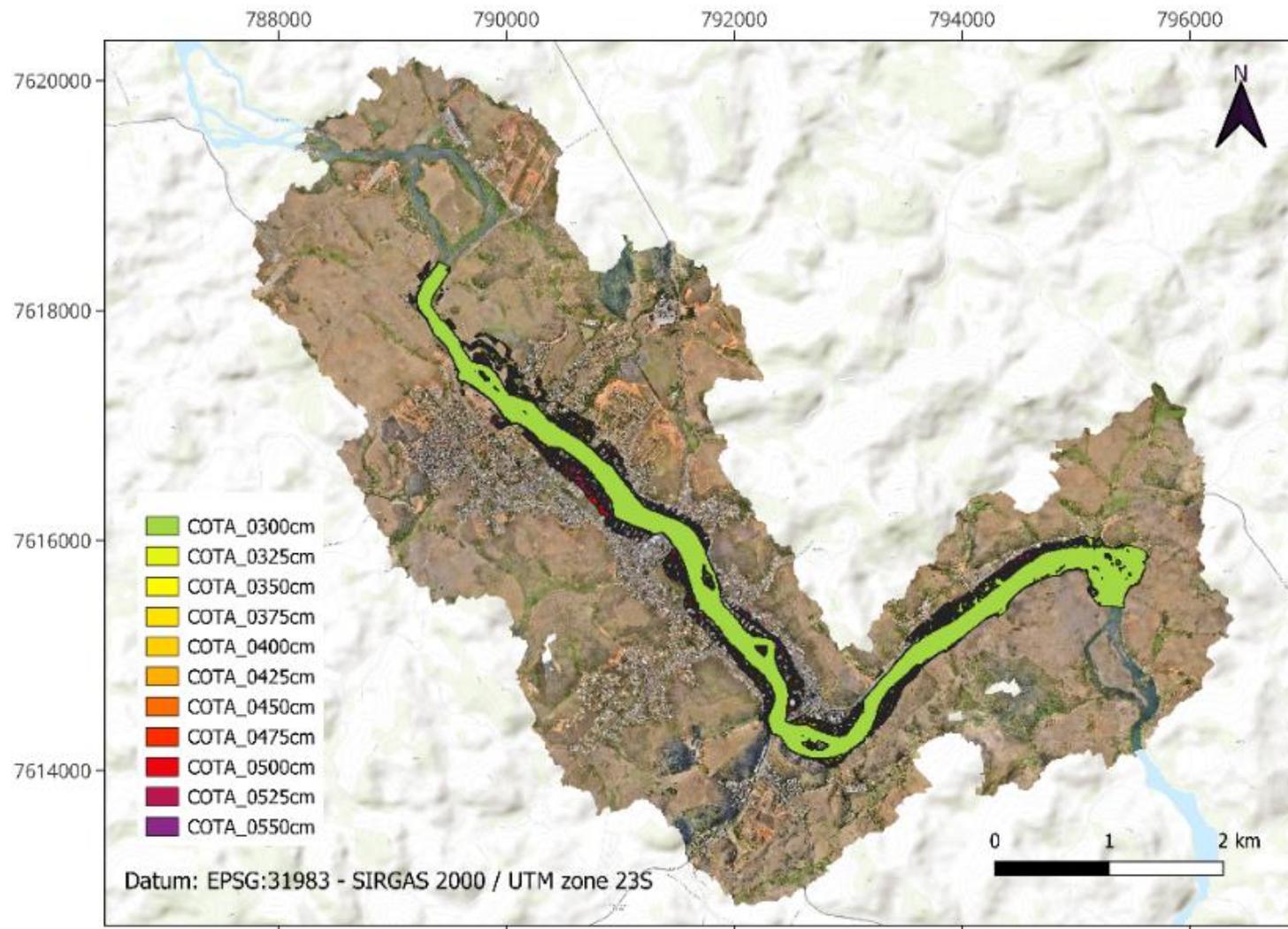


Figura 5 – Mapa dos vetores dos mapas de inundação de Santo Antônio de Pádua/RJ em função das cotas. Fonte: Elaborado pelos autores.

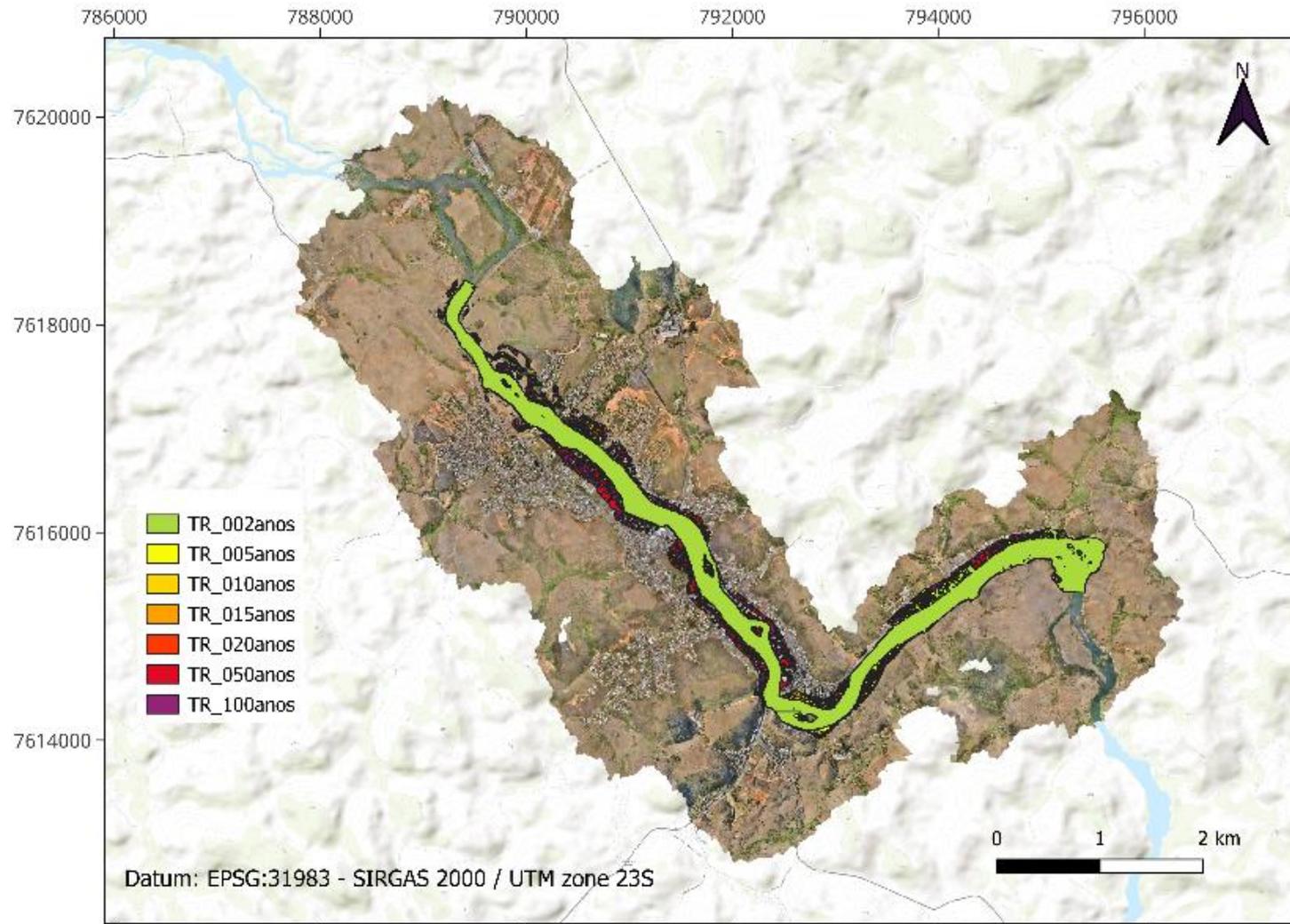


Figura 6– Mapa dos vetores dos mapas de inundação de Santo Antônio de Pádua/RJ em função dos tempos de retorno. Fonte: Elaborado pelos autores.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As manchas produzidas no presente trabalho serão uma ferramenta importante para a gestão e mitigação de riscos relacionados às inundações em Santo Antônio de Pádua/RJ.

Para a execução deste produto, a atividade que mais demandou tempo foi a geração do MDE final, podendo esta ser separada nas seguintes etapas: i) levantamento em campo e processamento dos dados da superfície seca; ii) batimetria e processamento do levantamento batimétrico do canal; iii) interpolação para a geração do MDE do canal e iv) integração do MDE da superfície com o MDE do canal.

O levantamento da extensão observada em futuros eventos hidrológicos de inundações no município é fundamental para a validação e ajustes nos mapas apresentados neste estudo. Este levantamento pode ser tanto realizado *in loco* quanto via a obtenção de imagens de satélite.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) por viabilizar a operação da estação de monitoramento hidrológico no município de Santo Antônio de Pádua/RJ.

Agradecimentos à Alexandre do Prado, Especialista em Geoprocessamento da ANA, pelo auxílio no processamento dos dados levantados com o GPS Geodésico.

Agradecimentos à Divisão de Cartografia do SGB- CPRM (DICART), em especial aos Analistas Rubens Esteves Kenup e Ricardo Duarte de Oliveira pela obtenção das informações essenciais à geração do MDE do município.

Agradecimentos aos Técnicos em Geociências Francisco Eugênio Ernandes Dias e Bruno dos Anjos da Motta por participarem da campanha de campo para a batimetria do trecho urbano do rio Pomba no município. O primeiro realizou a operação da embarcação, enquanto o segundo operou e processou os dados do GPS Geodésico.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN). (2020). Boletim da Sala de Situação. 1º trimestre de 2020. Ano 01. Número 1.
- Dunn, A.P., Straub, T.D., and Manaster, A.E.,. (2020). Flood-inundation maps for the Little Calumet River from Lansing to South Holland, Illinois, 2020: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2020–5074, 10 p., <https://doi.org/10.3133/sir20205074>.
- Heimann, D.C., Voss, J.D., and Rydlund, P.H., Jr. (2019). Flood-inundation maps for Joachim Creek, De Soto, Missouri, 2018: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2019–5068, 10 p., <https://doi.org/10.3133/sir20195068>.
- Heimann, D.C., Voss, J.D., and Rydlund, P.H., Jr. (2020). Flood-inundation maps for Dardenne Creek in St. Charles County, Missouri, 2019: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2020–5060, 14 p., <https://doi.org/10.3133/sir20205060>.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2022). Censo Demográfico. Publicação on-line. Visualizado em 01/08/2024.
- Pinto, M. G. M. (2024). Aplicação de modelagem computacional unidimensional na avaliação da evolução morfológica do Rio Paraíba do Sul (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).
- Quantum GIS (QGIS). (2024). QGIS Desktop 3.34 User Guide.
- SonTek. (2022). RiverSurveyor S5/M9 system manual firmware version 4.30.
- U.S. Army Corps of Engineers (USACE). (2024). HEC-RAS 6.5 Beta Development.