



MAPEAMENTO DE CORPOS HÍDRICOS UTILIZANDO RADAR DE ABERTURA SINTÉTICA: UM ESTUDO DE CASO DAS INUNDAÇÕES EM ÁREAS URBANAS DO MUNICÍPIO DE MARABÁ-PA

Angelo Bruno Batalha Silva ¹, Milena Marília Nogueira de Andrade ², Carolina Sozinho da Silva ³, Hugo de Souza Ferreira ⁴ Bárbara Souza Paiva ⁵

¹ Universidade Federal do Pará, Mestrando no Programa de Pós- Graduação em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia, Belém/PA, Brasil.
angelosilvageo@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-0035-2933>

² Universidade Federal Rural da Amazônia, Docente no Instituto Ciberespacial - ICIBE/UFRA, Belém/PA, Brasil. milenamarilia.andrade@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-5799-7321>

³ Universidade Federal do Pará, Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Belém/PA, Brasil. carolsozinho99@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0000-5866-9178>

⁴ Universidade Federal do Pará, Mestrando no Programa de Pós- Graduação em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia, Belém/PA, Brasil. hugo.ferreira@ig.ufpa.br
<https://orcid.org/0000-0003-1449-2504>

⁵ Universidade Federal do Pará, Mestra pelo Programa de Pós- Graduação em Gestão de Recursos Naturais e Desenvolvimento Local na Amazônia, Belém/PA, Brasil. paiva.barbara@numa.ufpa.br
<https://orcid.org/0000-0002-2516-3813>

RESUMEN. La teledetección desempeña un papel esencial en la vigilancia y detección de fenómenos extremos como las inundaciones. En la región amazónica, los sensores ópticos se han utilizado ampliamente para vigilar la dinámica fluvial de las inundaciones. Sin embargo, debido a las condiciones climáticas adversas en las que ocurren estos episodios, los datos del Radar de Apertura Sintética (SAR) con alta resolución espacial y emisión activa de ondas electromagnéticas son extremadamente útiles para observar regiones más vulnerables debido a su facilidad de recolección. Por lo tanto, el objetivo principal de este artículo fue analizar las inundaciones ocurridas en el área urbana del municipio de Marabá el 28/03/2023, donde según datos de la estación fluviométrica de la Agencia Nacional de Aguas (ANA), el río Tocantins alcanzó 11,46 m. Utilizando imágenes Sentinel-1, la metodología se dividió en: preprocesamiento de la imagen, corrección de características, binarización de las manchas de inundación, análisis del histograma y posprocesamiento. Los resultados identificaron cerca de 9,26 km² de áreas inundadas en la región de la llanura aluvial del centro de Cidade Nova, bordeada por el río Itacaiúnas. Como resultado, este estudio proporciona apoyo para la preparación y mitigación de nuevos eventos, así como para contribuir a la construcción de ciudades más resilientes al cambio climático.

Palabras-clave: Teledetección; Geoprocusamiento; Catástrofes; Cambio climático; Resiliencia urbana.

RESUMO. O Sensoriamento Remoto desempenha um papel essencial no monitoramento e detecção de eventos extremos, como enchentes e inundações. Na região amazônica, sensores ópticos têm sido amplamente utilizados no monitoramento da dinâmica fluvial de inundações. No entanto, devido às condições climáticas adversas das quais ocorrem estes episódios, dados de Radar de Abertura Sintética (SAR) com alta resolução espacial e emissão ativa de ondas eletromagnéticas, são extremamente úteis na observação de regiões mais vulneráveis devido à facilidade de coleta. Logo, o presente artigo teve como objetivo principal analisar as inundações que ocorreram na área urbana do município de Marabá no dia 28/03/2023, onde segundo dados da estação fluviométrica da Agência Nacional de Águas (ANA), o Rio Tocantins alcançou 11,46 m. A partir de imagens do *Sentinel-1*, a metodologia dividiu-se em: pré-processamento da imagem, correção de feições, binarização das manchas de inundação, análise do histograma e pós-processamento. Os resultados identificaram cerca de 9,26 km² de áreas inundadas na região de várzea do núcleo Cidade Nova, banhado pelo Rio Itacaiúnas. Diante disso, este estudo fornece subsídio à



preparação e mitigação de novos eventos, além de contribuir com a construção de cidades mais resilientes às mudanças climáticas.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto; Geoprocessamento; Desastres; Mudanças Climáticas; Resiliência Urbana.

ABSTRACT. Remote sensing plays an essential role in monitoring and detecting extreme events such as floods. In the Amazon region, optical sensors have been widely used to monitor fluvial flood dynamics. However, due to the adverse climatic conditions in which these episodes occur, Synthetic Aperture Radar (SAR) data with high spatial resolution and active emission of electromagnetic waves is extremely useful in observing more vulnerable regions due to its ease of collection. Therefore, the main objective of this article was to analyze the floods that occurred in the urban area of the municipality of Marabá on march 28, 2023, where, according to data from the fluviometric station of the National Water Agency (ANA), the Tocantins River reached 11.46 meters. Using Sentinel-1 images, the methodology was divided into: image pre-processing, feature correction, binarization of flood spots, histogram analysis and post-processing. The results identified around 9.26 square kilometers of flooded areas in the floodplain region of the Cidade Nova urban center, bordered by the Itacaiúnas River. In view of the above, this study provides support on preparing for and mitigating new events, as well as contributing to building cities that are more resilient to climate change.

Keywords: Remote Sensing; Geoprocessing; Disasters; Climate Change; Urban Resilience.

1. INTRODUÇÃO

Segundo o Painel Intergovernamental Sobre Mudanças Climáticas (IPCC), as inundações urbanas serão cada vez mais frequentes em todo o mundo, sobretudo no Brasil, em áreas mais vulneráveis. As modificações antrópicas no uso do solo impactam os processos hidrológicos de bacias hidrográficas, contribuindo para o aumento de eventos de inundação (Mendes *et al.*, 2022). Devido ao crescimento das cidades, sem as devidas medidas de prevenção, podem se intensificar as ocorrências em bacias hidrográficas urbanas, pelo curto tempo de concentração de água e o escoamento superficial (Tucci; Bertoni, 2003).

Nesse sentido, para lidar com o desafio, a Organização das Nações Unidas (ONU), elaborou a Agenda 2030 dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), nos ODS 6 aborda o Saneamento, na perspectiva de melhoria nos sistemas de drenagem, para prevenir e mitigar desastres naturais. E ODS 11 de cidades resilientes e sustentáveis, que visa reduzir o número de pessoas afetadas por catástrofes e desastres relacionados à água (ONU, 2015). A sustentabilidade urbana deve adotar iniciativas para cidades resilientes, voltados à mitigação para reduzir e/ou remediar os impactos (Governos Locais pela Sustentabilidade, 2017).

Diante do exposto, o mapeamento de ameaças desempenha um papel fundamental na avaliação de riscos e na implementação de medidas mitigadoras em áreas vulneráveis a inundações. Os sensores ativos e passivos via satélite são instrumentos estratégicos para monitorar a dinâmica das inundações (Twele *et al.*, 2016). Mas as condições meteorológicas adversas são um desafio para o monitoramento eficiente, conforme Pricope (2013), a alta cobertura de nuvens dificulta teledetecção óptica de alta qualidade e a detecção de água sob a cobertura vegetal.

No entanto, para suprir a demanda associada à alta cobertura de nuvens, o conjunto de dados do Radar de Abertura Sintética, da sigla em inglês SAR, possuem alta resolução espacial e são extremamente úteis na observação das condições de inundação. Pois, segundo Giustarini *et al.*, (2012), o sensor emite ativamente ondas eletromagnéticas, as quais não são afetadas pelas condições meteorológicas nem pela hora do dia, portanto, imageadores ativos podem ser utilizados para detectar inundações em áreas com vegetação ou urbanas, devido à capacidade significativa de penetração.

Na região amazônica, os dados de radar são altamente eficazes para mapear detalhes do relevo em ambientes sedimentares de baixa altitude, como as planícies de inundação (Andrade; Brabo, 2022). O uso de dados polarimétricos de radar têm intensificado nos estudos de mapeamento da cobertura terrestre, especialmente em regiões de floresta tropical densa e úmida. Isso ocorre devido às dificuldades associadas ao uso de dados ópticos nessas áreas, em razão da constante cobertura de nuvens na região (Nepomuceno, 2003).

Em estudos relacionados a imagens SAR para vegetação, Diniz (2019) O município de Marabá enfrenta episódios recorrentes de inundação urbana, amplamente divulgados e documentados pela comunidade científica. Segundo Bentes (2018), desde a década de 1920 são registradas ocorrências, sendo o ano de 1980 o episódio mais grave, onde a cota fluviométrica ultrapassou 18 metros acima do normal, causando perdas econômicas e materiais no núcleo urbano de Marabá Pioneira. De acordo com Santos (2008), os períodos de enchentes ocorrem nos meses de fevereiro, março e abril, sendo março o mês mais chuvoso com valores entre 250 a 400 mm, onde há maior amplitude na vazão do Rio Tocantins.

Apesar dos esforços entre poder público e Defesas Civis municipal e estadual, o município de Marabá ainda enfrenta episódios de inundação relacionados, sobretudo, aos níveis dos rios Tocantins e Itacaiúnas somados à rede ineficiente de drenagem urbana durante os períodos mais chuvosos. Diante disso, a fim de fornecer subsídios para prevenção e resposta frente a estes episódios, este trabalho visa realizar o mapeamento de corpos hídricos associados à inundação, utilizando dados de SAR em áreas urbanas do município para o ano de 2023.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

O município de Marabá, está localizado na mesorregião do sudeste do estado do Pará, a aproximadamente 478 km da capital Belém e está situado na confluência de dois grandes rios, Tocantins e Itacaiúnas (Figura 1).

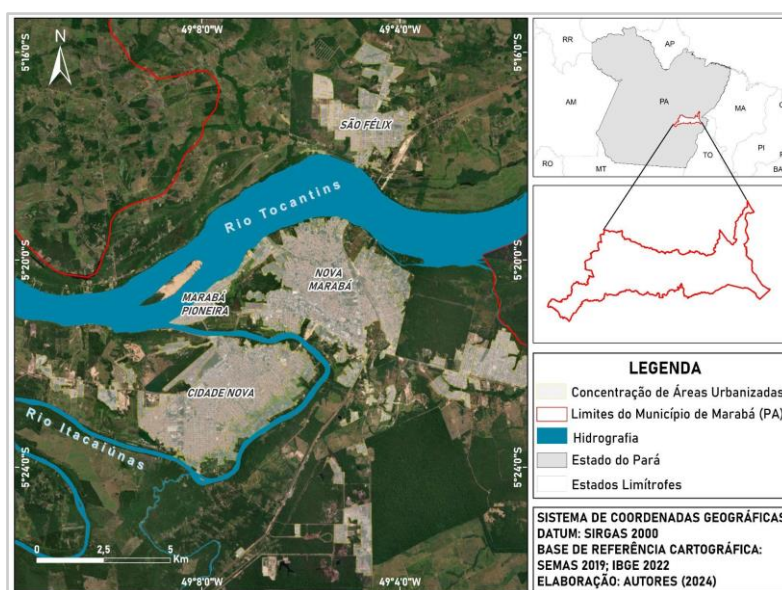


Figura 1. Mapa de localização e áreas urbanas do município de Marabá.
Elaboração: Autores (2024).

Conforme o Plano Diretor Participativo (2006), é formado por seis núcleos urbanos, sendo eles: Cidade Nova, Industrial, Morada Nova, Nova Marabá, São Félix e Velha Marabá. Segundo o IBGE (2022), o município possui 266.533 habitantes, uma extensão territorial de 15.157,90 km² e área urbanizada de aproximadamente 62,49 km².

O município possui clima tropical, segundo Koppen, com precipitação média anual em torno de 2200 mm e temperatura média do ar de 26 °C e está localizado em uma área de planície fluvial com baixas altitudes, na Depressão Interplanáltica do Araguaia-Tocantins. A cidade enfrenta inundações devido à sua morfotopografia e à influência direta de dois rios, Itacaiúnas e o Tocantins, caracterizando-se uma imensa área de risco, relacionada à ocupação irregular em terrenos naturalmente sujeitos a alagamentos sazonais, provocados por aumento pluviométrico nas cabeceiras dos rios (BRASIL, 2012).

O município é composto por 10 bacias hidrográficas, sendo elas: Aquirí, Cinzento, Tapirapé, Preto, Parauapebas, Vermelho, Sororó, Tauarizinho, Itacaiúnas e Tocantins. Quase toda a extensão do município está inserida na Bacia Hidrográfica do Rio Itacaiúnas (BHRI). De acordo com Silva-Júnior (2017), a bacia possui uma área de 42.000 km² e é composta pelas sub-bacias dos rios: Itacaiúnas (19.589 km²), Parauapebas (9.522 km²), Vermelho (7.208 km²), Cateté (3.657 km²), Tapirapé (2.663 km²) e Sororó (Figura 2).

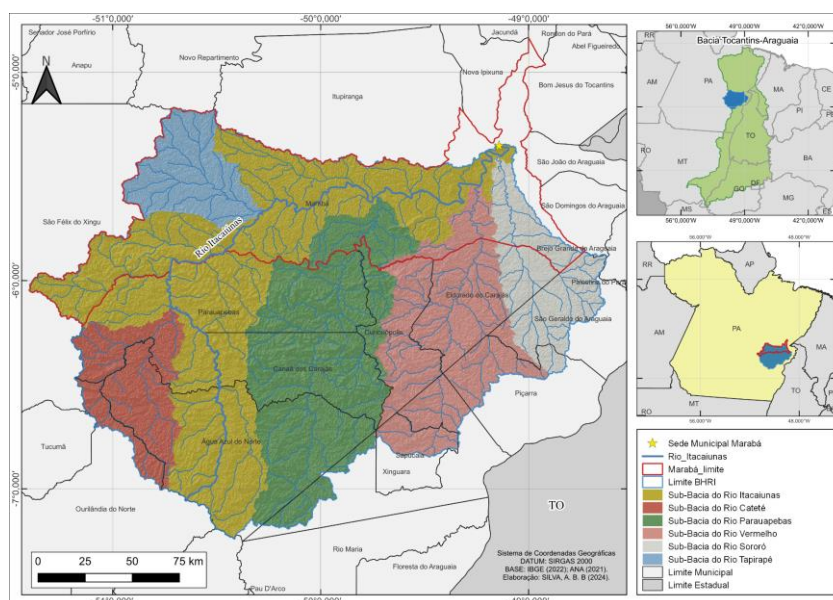


Figura 2. Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Itacaiúnas.
Elaboração: Autores (2024).

A partir da série histórica de 1973 a 2023 da estação fluviométrica do município (código 29050000), localizada à margem direita do Rio Tocantins e próxima ao núcleo urbano da Velha Marabá, permitiu observar que o município acompanha a dinâmica pluviométrica da região amazônica e apresenta as maiores cotas fluviométricas nos primeiros meses do ano, considerado o período de chuvas na região.

Além disso, observou-se que os anos de 1985 e 2004 apresentaram os maiores níveis onde a precipitação anual registrada pelo INMET foi de 2463 e 2240 mm, respectivamente. Para análise deste trabalho, o ano de 2023 apresentou durante os meses de fevereiro, março e abril os maiores níveis no ano, tendo o seu pico no mês de março com 1187 cm, aproximadamente 12 metros. Os menores níveis foram de maio a outubro, período de seca em que é observado uma diminuição na atividade convectiva da região amazônica (Figura 3).

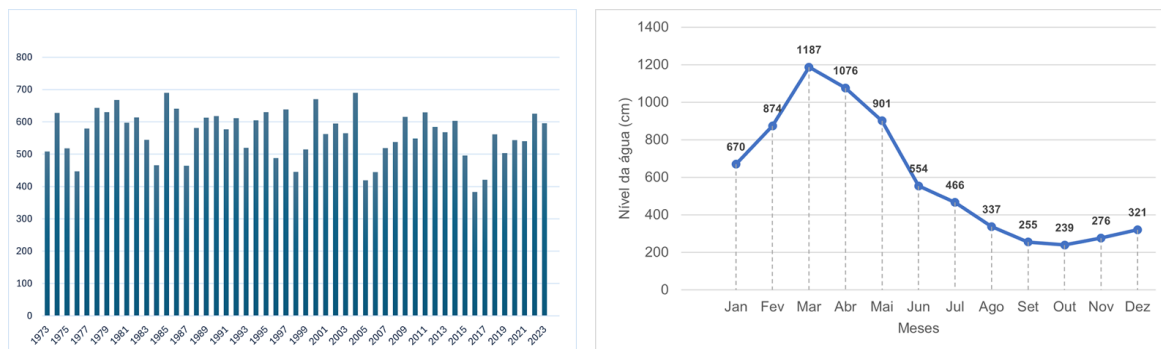


Figura 3. Série histórica da estação fluviométrica de 50 anos e dados fluviométricos de Marabá no ano de 2023.

Fonte: ANA, 2023 e 2024.

2.2. Materiais

O presente artigo realizou levantamento bibliográfico por meio de artigos, teses, dissertações, notas técnicas e relatórios oficiais relacionados à temática de inundação urbana e risco hidrológico. Além disso, para elaboração de mapas temáticos, foram utilizados os dados vetoriais dos seguintes órgãos oficiais: a) ANA ano 2019 (hidrográfica Ottocodificada Nível 4 e dados fluviométricos); b) IBGE ano 2022 (limites estaduais, municipais e de área urbana); c) CEMADEN e CPRM ano 2023 (delimitação de áreas de risco hidrológico); d) INMET ano 2023 (pluviométricos).

Para análise de inundação do município, este trabalho considerou o período de máxima do nível fluviométrico observado pela ANA no mês de março de 2023 e utilizou o conjunto de dados de imagens SENTINEL-1 disponibilizados no site da Agência Espacial Europeia (ESA, 2024) mostrados no Quadro 1. Os dados brutos do Sentinel-1 obtidos gratuitamente pela ESA, foram pré-processados no software livre *Sentinel Applications Platform* (SNAP), disponibilizado pela própria agência espacial. O pós-processamento da imagem e extração permanente de corpos d'água e inundações foram realizados no software de mapeamento gratuito QGIS 3.28.

Satélite	SENTINEL-1
Data de aquisição	16/03/2023 e 28/03/2023
Modo de aquisição	IW (Modo Interferométrico de Grande Alcance)
Polarização	VV, VH
Nível	Deteção de grande alcance terrestre (GRD)
Resolução espacial	5m x 20m (tamanho do pixel 10 x 10m)
Direção do ângulo da órbita de incidência	Descendente
Comprimento de onda	Banda-C (7,5 cm)
Tempo de revisitação	6 dias

Quadro 1. Base de dados oficiais.

Fonte: ESA (2024).

Na maioria dos sensores ativos, o comprimento de onda do radar é transmitido e recebido, os comprimentos são horizontais (H) ou verticais (V) em relação à antena do satélite, dessa forma, criando quatro polarizações: HH, HV, VH, e VV. Logo, a transmissão de ondas eletromagnéticas em ambas as polarizações resultam em uma onda retroespalhada com polarizações variadas (Andrade *et al.*, 2007). De acordo com a Agência Espacial Europeia (ESA), o satélite opera em quatro modos de aquisição: Mapa de Faixa (SM); Faixa Larga Interferométrica (IW); Faixa Extralarga (EW); e Onda (WV) (Figura 5).

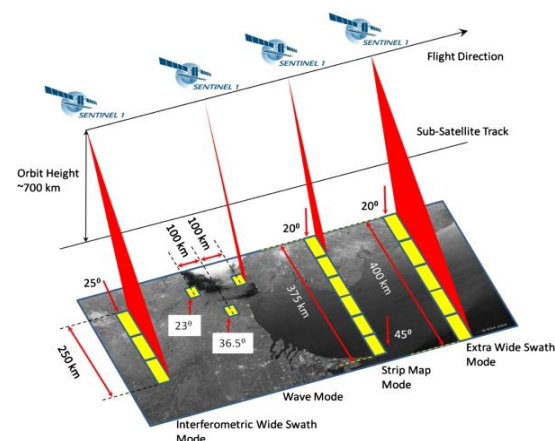


Figura 5. Modos de aquisição do Sentinel-1.
Fonte: ESA, 2023.

O Sentinel-1 coleta imagens na polarização VH e VV no modo IW, ambas com possibilidade de erros de classificação, entretanto, pesquisas recentes indicam que a polarização VV oferece uma vantagem na identificação de inundações em relação às demais (Twele *et al.*, 2016). De acordo com Diniz (2019), os principais parâmetros relacionados ao sensor incluem frequência, ângulo de incidência, azimuth de visada, resolução espacial e polarização. Já os parâmetros associados aos alvos são rugosidade da superfície, propriedades dielétricas e inclinação.

Vale ressaltar que em ambientes com cobertura florestal, o coeficiente de retroespalhamento representa a interação entre o espalhamento direto e a atenuação da radiação eletromagnética pelas diferentes camadas florestais, incluindo o dossel, troncos e a superfície (Bourgeau-Chavez, 1997; Townsend, 2002; Lang; Kasischke, 2008). Para sensores que operam na banda C, o coeficiente de retroespalhamento é principalmente influenciado pelo topo do dossel. Isso também ocorre quando a radiação é transmitida em grandes ângulos de incidência, resultando em uma diminuição na transmissividade da copa (Lang *et al.*, 2008; Diniz, 2019).

Em áreas com a predominância de vegetação herbácea em solo seco, a interação com a radiação eletromagnética resulta em espalhamentos múltiplos, o que gera um baixo retorno do sinal (Figura 6). Em solos úmidos, no entanto, pode ocorrer o efeito de espalhamento *double-bounce*, devido ao aumento da constante dielétrica da vegetação e do solo. Em áreas com vegetação inundada, a energia incidente é completamente refletida em direção oposta ao sensor, gerando um retroespalhamento menor do que em solos secos (Bourgeau-Chavez *et al.*, 2005; Diniz, 2019).

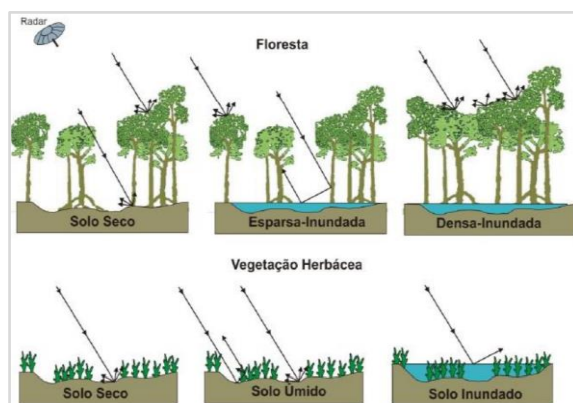


Figura 6. Exemplo de retroespalhamento na banda C em áreas de floresta e vegetação herbácea, em condições de inundação e não inundação.
Fonte: Adaptada de Bourgeau-Chavez et al. (2005) e Diniz (2019).

2.3. Métodos

A abordagem adotada baseou-se na detecção de áreas inundadas utilizando dados de radar de abertura sintética (SAR). As técnicas de SAR para detecção e monitoramento de inundações incluem métodos de limiarização, segmentação de imagens, contorno ativo estatístico, classificação baseada em regras e fusão de dados (Tien Bui *et al.*, 2015). Entre essas técnicas, os métodos baseados em limiar são os mais comumente utilizados para detecção de inundações. Atualmente, eles são considerados os mais eficientes e fornecem resultados confiáveis para mapeamento quase em tempo real (Amitrano *et al.*, 2018).

O pré-processamento da imagem é uma etapa crucial para a análise do conjunto de dados, possibilitando a identificação de corpos d'água e áreas úmidas através da sequência de retroespalhamento. Este procedimento permite a binarização das imagens (1 = verdadeiro e 0 = falso) criando uma máscara para delimitar a superfície inundada e posterior conversão da imagem para GeoTiff para o cálculo de área. Assim, destacadas em vermelho, as manchas de inundação no mapa aparecem não apenas no perímetro urbano do município, mas também na área rural ao longo do Rio Itacaiúnas.

Diante disso, esta pesquisa analisou os dias 16/03/2023 (pré-inundação) e 28/03/2023 (pós-inundação). No primeiro dia analisado, conforme os dados fluviométricos, o nível do rio esteve em 9,78m e no segundo em 11,46m, uma diferença de aproximadamente 2 metros. Vale ressaltar que o município adota uma cota de elevação dos rios de até 10 metros, a probabilidade com que os rios Tocantins e Itacaiúnas ultrapassem essa cota é considerada alta (Bentes, 2018). A metodologia deste artigo dividiu-se no pré-processamento, correção de feições, binarização das manchas de inundação, análise do histograma e pós-processamento (Figura 7).

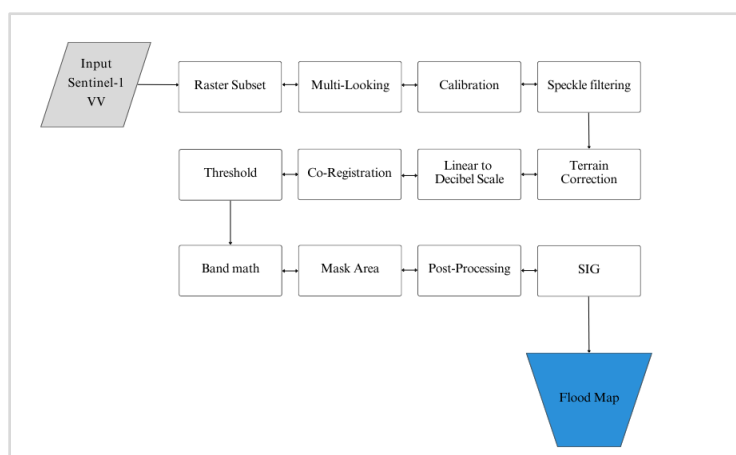


Figura 7. Fluxograma metodológico

Fonte: Autores, 2024.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através do processamento dos dados SAR do Sentinel-1, estimaram aproximadamente 9,26 km² de extensão de área inundada, sobretudo na região de várzea da Cidade Nova, banhada pelo Rio Itacaiúnas. É possível observar que diversos pontos de inundação estão inseridos na planície de inundação do Itacaiúnas (Figura 8). Conforme a setorização de risco do CPRM (2012), nestas áreas ocorrem naturalmente o extravasamento das águas, ocasionado principalmente pelo aumento pluviométrico das cabeceiras e pelo aumento do nível do Rio Tocantins, que funciona

como uma barragem para o Rio Itacaiúnas, segurando as águas e diminuindo o fluxo de água neste.

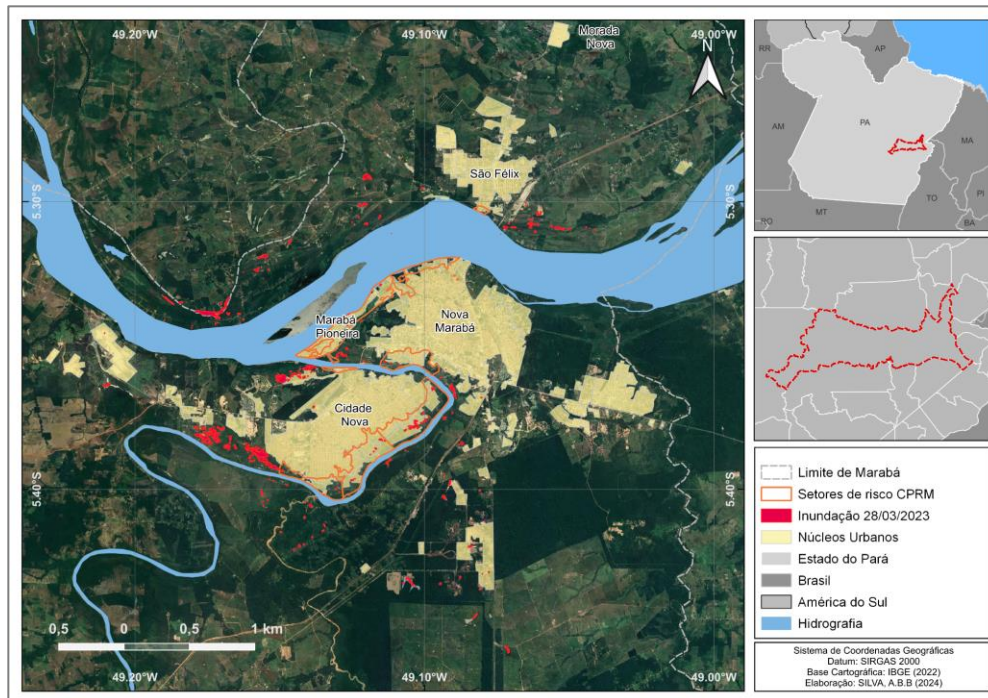


Figura 8. Mapa de Inundação (28/03/2023).
Fonte: Autores, 2024.

As variações espaciais e temporais na extensão das cheias podem ser atribuídas a diversos fatores, como as características da precipitação, condições topográficas e os tipos de cobertura do solo. A precipitação desempenha um papel crucial na ocorrência das cheias. Os valores obtidos pelas estações pluviométricas do INMET e da ANA indicaram que o mês de março do ano de 2023 apresentou pico com 1187 cm, aproximadamente 12 metros, os maiores índices de precipitação no município.

As margens dos rios são caracterizadas por baixas altitudes em relação à área da bacia hidrográfica, que pode ser considerada uma área com maior influência da ação dos ventos e marés (Cabral *et al.*, 2023). Em casos de precipitação intensa e solo com pouca capacidade de infiltração, ocorre um grande volume de água escoada para o sistema de drenagem, excedendo sua capacidade natural de escoamento. Com isso, o excesso de volume que não consegue ser drenado ocupa a área inundando conforme a topografia das áreas próximas aos rios (Tucci, 2003).

A relação conflituosa entre áreas urbanas e os rios resulta na degradação da qualidade dos recursos hídricos. Com isso, a presença de residências e estabelecimentos comerciais leva ao lançamento de dejetos nas águas, onde o esgoto prejudica a flora e fauna aquáticas, impactando negativamente a pesca e a economia (Cabral *et al.*, 2023).

Através da análise do histograma, foi possível identificar a frequência dos pixels da superfície inundada entre -22,5 e -13,5 em intensidade de decibéis para a banda VV durante o evento de inundação (Figura 9). A polarização VV se apresentou mais indicada para o mapeamento da área inundada.

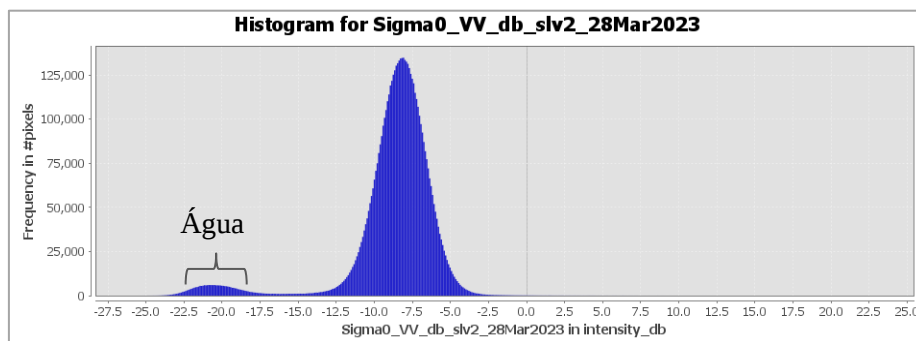


Figura 9. Histograma do evento de inundação destacando o intervalo e resposta de retroespalhamento de água.

Fonte: Autores, 2024.

Os dados SAR estão disponíveis em todos os tipos de condições climáticas, seja durante o dia ou à noite e apresentam facilidade em penetrar nuvens. Sendo assim, configuram-se como uma eficiente ferramenta de mapeamento de desastres e possui uma resolução temporal de 12 dias de tempo de revisita. Estudos anteriores em áreas sujeitas a inundações obtiveram bons resultados ao utilizar imagens SAR e técnicas precisas de pré-processamento de imagens (Meyer, 2019).

Diante do exposto, é importante ressaltar que, para uma gestão de riscos e desastres eficiente, é necessário considerar o tempo de mapeamento cartográfico de eventos de inundação para que a resposta possa ser o mais rápido possível (Andrade; Brabo, 2022). Logo, os estados e municípios devem estar conforme a Política Nacional de Defesa e Proteção Civil (Lei nº 12.608/2012) para garantir avanços em procedimentos de mapeamento de risco.

4. CONCLUSÕES

A partir dos bons resultados obtidos, este trabalho pretende difundir o uso de imagens SAR para detecção rápida e monitoramento de inundações, tendo como principal objetivo um modelo eficiente de resposta para o município de Marabá. Outros dados e etapas podem ser acrescentados nesta metodologia, como séries temporais, índices NDWI, MNDWI, NDVI, comparação entre diferentes sensores, entre outros. Com isso, este tipo de mapeamento pode contribuir com cidades amazônicas localizadas em áreas de risco e que sofrem até hoje com inundações por não haver ações de preparação e prevenção, uma vez que estes dados são distribuídos gratuitamente.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Científico - CNPq processo 422354/2023-6 (MONITORAMENTO E AVISOS DE MUDANÇAS DE COBERTURA DA TERRA NOS BIOMAS BRASILEIROS – CAPACITAÇÃO E SEMI AUTOMATIZAÇÃO DO PROGRAMA BIOMASBR) e ao Projeto TerraClass Amazônia, sediados e executados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Processos de bolsa (384902/2023-5; 383241/2024-3).



REFERÊNCIAS

- AMITRANO, D. *et al.* Unsupervised rapid flood mapping using Sentinel-1 GRD SAR images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 56, n. 6, p. 3290-3299, 2018.
- ANDRADE, N.; S.; O.; ROSA, A.; N.; C.; FARIA, P.; C.; C. (2007); Fundamentos de Polarimetria SAR. *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Florianópolis, Brasil, INPE, p. 4775-4782.
- ANDRADE, M. M. N. de; BRABO, L. S. **Técnicas com multi-sensores para mapeamento de inundação**: um estudo de caso na cidade de Tarauacá (Acre, bacia Amazônica, Brasil). *Revista Geonorte*, [S. l.], v. 13, n. 42, 2022. DOI: 10.21170/geonorte.2022. V.13.N.42.90.111. Disponível em: [/periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/10517](http://periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/10517). Acesso em: 25 mai. 2024.
- BENTES, K. L. L. M. **Inundações em Marabá: avaliação estratégica para declarar emergência**. 2018. 61 f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2018. Disponível em: <http://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/11707>. Acesso em: 06 jun. 2024.
- BOURGEAU-CHAVEZ, L. L. et al. **Remote sensing of regional inundation patterns and hydroperiod in the greater Everglades using synthetic aperture radar**. *Wetlands*, v.25, p. 176-191, 2005.
- BRASIL, C.-S. G. D. **Ação emergencial para delimitação de áreas em alto e muito alto risco a enchentes e movimentos de massa**: Marabá, Pará. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/18336>. Acesso em: 10 jun. 2024.
- CABRAL, M. V. A. *et al.* Aspectos geofísicos da dinâmica dos rios em áreas urbanas na Amazônia. **Caderno Pedagógico**, [s. l.], v. 20, n. 7, p. 2545–2563, 2023. DOI <https://doi.org/10.54033/cadpedv20n7-007>. Disponível em: <https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/cadped/article/view/1682>. Acesso em: 10 jun. 2024.
- DINIZ, J. M. F. de S. **Avaliação Do Potencial Dos Dados Polarimétricos Sentinel-1a Para Mapeamento Do Uso E Cobertura Da Terra Na Região De Ariquemes - RO**. 2019. 134 p. Dissertação (Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto) - Discente, São José dos Campos, 2019. Disponível em: <http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/3SL65N8>. Acesso em: 16 ago. 2024.
- GIUSTARINI, L. *et al.* A change detection approach to flood mapping in urban areas using TerraSAR-X. *IEEE transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 51(4), 2417-2430, 2012.
- GOVERNOS LOCAIS PELA SUSTENTABILIDADE. **Relatório Analítico Cidades Inteligentes pelo Clima**, ano 2017. Disponível em: <https://americadosul.iclei.org/wp-content/uploads/sites/78/2021/05/cidades-inteligentes-pelo-clima.pdf> Acesso em: 16 mar 2024.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, ano 2022. Disponível em: https://report.ipcc.ch/ar6/wg2/IPCC_AR6_WGII_FullReport.pdf Acesso em: 12 jun 2024.
- LANG, M.W.; KASISCHKE, E. S. **Using C-band synthetic aperture radar data to monitor forested wetland hydrology in Maryland's coastal plain, USA**. *Remote Sensing of Environment*, v.112, p.3898-3907, 2008
- MENDES, T. A. et al.. Uso do modelo HEC-RAS com base em informações de LiDAR para avaliação de inundações urbanas. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 27, n. 1, p. 141–157, jan. 2022.
- MEYER, F. Spaceborne Synthetic Aperture Radar: Principles, Data Access, and Basic Processing Techniques. In: FLORES-ANDERSON, A. I.; HERNDON, K. E.; THAPA, R. B.; CHERRINGTON, E. (ed.). **The Synthetic Aperture Radar (SAR) Handbook: Comprehensive Methodologies for**



Forest Monitoring and Biomass Estimation. Nasa, 2019. p. 21-44. DOI: <https://doi.org/10.25966/nr2c-s697>.

NEPOMUCENO, A. M., ROSA, A. N. C. S., MENESES, P. R. (2003). Reconhecimento de Fitofisionomias do Cerrado no Parque Nacional de Brasília através de Classificação de Imagens de Radar de Abertura Sintética. *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 11, 2823-2830.

ONU. Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, ano 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/sites/default/files/2020-09/agenda2030-pt-br.pdf>. Acesso em: 07 jun. 2023.

PRICOPE, N. G. *et al.* The climate-population nexus in the East African Horn: Emerging degradation trends in rangeland and pastoral livelihood zones. **Global environmental change**, v. 23, n. 6, p. 1525-1541, 2013.

SANTOS, D. M. **Análise e modelagem hidrometeorológica na Bacia do Rio Tocantins em Marabá-PA**. 2008. 118 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Museu Paraense Emílio Goeldi, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Belém, 2008. Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais. Disponível em: <<http://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/2901>>. Acesso em: 10 de jun. 2024.

SILVA JÚNIOR, R. O. DA. **Resposta Hidrológica Devido Às Mudanças No Uso Do Solo E Cobertura Vegetal Na Bacia Hidrográfica Do Rio Itacaiúnas (Bhri) - Amazônia Oriental**. 2017. 136 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém - PA. 11 de agosto de 2017. Disponível em: <<https://repositorio.museu-goeldi.br/handle/mgoeldi/1965>> Acesso em: 10 jun. 2024.

TIEN BUI, D. *et al.* Spatial prediction models for shallow landslide hazards: a comparative assessment of the efficacy of support vector machines, artificial neural networks, kernel logistic regression, and logistic model tree. **Landslides**, v. 13, n. 2, p. 361–378, 2015.

TOWNSEND, P. A. **Relationships between forest structure and the detection of flood inundation in forested wetlands using C-band SAR**. *International Journal of Remote Sensing*, v.23, n. 3, p. 443-460, 2002.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. Inundações urbanas na América do Sul. Ed. dos Autores, 2003.

TWELE, André *et al.* Sentinel-1-based flood mapping: a fully automated processing chain. **International Journal of Remote Sensing**, v. 37, n. 13, p. 2990-3004, 2016.