



DINÂMICA DE INUNDAÇÃO NA PLANÍCIE COSTEIRA DO AMAPÁ ATRAVÉS DE IMAGENS DO SATÉLITE SENTINEL-1A

Claudia Funi ¹; Sávio Luís Carmona ²; Valdenira Ferreira dos Santos³; Edineuza dos Santos Rosário⁴

^{1,3,4} Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá, IEPA, Laboratório de Sensoriamento Remoto e Análises Espaciais, Macapá Brasil.

{claudiafuni, valdenirafferreira, edineuza.rosario}@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-4169-2907>

<http://orcid.org/0000-0002-5038-4191>

<https://orcid.org/0009-0008-6216-8948>

² Universidade Federal do Amapá, Departamento de Meio Ambiente, Macapá Brasil.

ssaviox@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0001-7258-3503>

RESUMEN. Este estudio investiga la dinámica de las inundaciones en la desembocadura del río Amazonas, en la llanura costera de Amapá, utilizando imágenes del satélite Sentinel-1A. La metodología consistió en la selección y análisis de cuatro escenas de dos periodos estacionales (diciembre de 2022 y marzo de 2023) para identificar cambios en las zonas inundadas que se analizaron considerando datos de precipitación acumulada, mareas y altitud. Los resultados mostraron una variación en las áreas con puntos de inundación que no mostraron una relación directa con los datos de precipitación acumulada y mareas. Sin embargo, se correlacionaron con variaciones altimétricas en la planicie costera, demostrando que el relieve juega un papel predominante en la ocurrencia de inundaciones en áreas con altitudes inferiores a 1 metro. El análisis fue un esfuerzo inicial para comprender mejor los factores que influyen en la dinámica de las inundaciones en la llanura costera en la desembocadura del río Amazonas.

Palabras clave: Monitoreo satelital; Inundaciones costeras; Radar de apertura sintética; costa Amazónica, teledection.

RESUMO. Este estudo investiga a dinâmica da inundação na foz do rio Amazonas, na planície costeira do Amapá utilizando imagens do satélite Sentinel-1A. A metodologia envolveu a seleção e análise de quatro cenas de dois períodos sazonais (dezembro de 2022 e março de 2023) para identificar mudanças nas áreas inundadas que foram analisadas considerando dados de precipitação acumulada, marés e altitude. Os resultados apresentaram uma variação nas áreas com manchas de inundação que não mostraram relação direta com os dados de precipitação acumulada e de marés. Porém tiveram correlação com variações altimétricas na planície costeira, demonstrando que o relevo possui papel predominante para a ocorrência da inundação em áreas com altitude menores do que 1 metro. A análise foi um esforço inicial para compreensão mais abrangente dos fatores que influenciam a dinâmica das inundações na planície costeira na foz do rio Amazonas.

Palavras-chave: Monitoramento por satélite; Inundações costeiras; Radar de abertura sintética; costa amazônica; sensoriamento remoto.

ABSTRACT. This study investigates the dynamics of flooding at the mouth of the Amazon River, in the coastal plain of Amapá, using images from the Sentinel-1A satellite. The methodology involved the selection and analysis of four scenes from two seasonal periods (December 2022 and March 2023) to identify changes in flooded areas, analyzed considering precipitation data, tides, and altitude. The results showed a variation in the areas with flood



spots that did not show a direct relationship with the accumulated precipitation and tidal data. However, they were correlated with altimetric variations in the coastal plain, demonstrating that relief plays a predominant role in the occurrence of flooding in areas with altitudes lower than 1 meter. The analysis was an initial effort to better understand the factors influencing flood dynamics in the coastal plain at the mouth of the Amazon River.

Keywords: Satellite monitoring; Coastal flooding; Synthetic aperture radar; amazon coast, remote sensing..

1. INTRODUÇÃO

Desastres hidrológicos são frequentemente resultantes de processos naturais que causam excesso de água nos sistemas afetados, mas também podem ser desencadeados por origem antropogênica (Kew *et al.*, 2022). Os desastres podem estar associados a eventos extremos de cheia, principalmente devido às chuvas intensas (Sharannya, 2018), que afetam as áreas úmidas, cuja integridade depende fortemente de suas fontes de água e dinâmica hidrológica (Minotti, *et al.*, 2021). A inundação é um dos desastres naturais cujo poder destrutivo depende do volume e período da precipitação, geologia da região, permeabilidade do solo e topografia (Farhadi; Esmaily; Najafzadeh; 2022), e vem aumentando seu impacto ao longo dos últimos anos (Alvalá *et al.*, 2024), principalmente nas zonas costeiras de baixa elevação como é o caso da planície costeira amazônica (Santos *et al.*, 2022).

Na região costeira amazônica, os processos de inundação são influenciados tanto pelos ciclos de cheias dos rios quanto pelas marés (Santos *et al.*, 2022). A combinação simultânea desses processos pode levar a grandes inundações, caracterizadas por uma duração limitada no tempo (geralmente durante o período chuvoso) e no espaço (abrangência espacial da planície de inundação). O excesso de chuvas, quando combinado com os momentos de maior amplitude do ciclo de maré, pode desencadear os piores cenários nas áreas úmidas, que atualmente enfrentam forte pressão devido à exploração intensiva de recursos, urbanização e poluição (LIAN; XU; MA, 2013).

O uso de tecnologias por satélite pode rapidamente identificar desastres hidrológicos e auxiliar na emissão de alertas prévios, principalmente em áreas com pouca cobertura de observações in situ. Essas tecnologias fornecem uma visão sinótica a custos reduzidos em comparação com outras metodologias (Kordzakhia *et al.*, 2011; Farhadi; Esmaily; Najafzadeh; 2022). Dados de radar por satélite são excelentes fontes de informação para o monitoramento das inundações, especialmente na região amazônica com densa cobertura de nuvens (Wagner *et al.*, 2020; Lee, Chang, 2024). Entretanto, para o entendimento completo da dinâmica das inundações, outras variáveis devem ser consideradas, como precipitação, maré e condições do terreno.

Neste estudo, foram utilizadas imagens do satélite Sentinel-1A, analisadas no Google Earth Engine (GEE), para investigar a dinâmica das áreas inundadas na planície costeira do estado do Amapá, entre dezembro de 2022 e abril de 2023. O objetivo é compreender melhor os padrões espaciais e temporais das inundações, contribuindo para o desenvolvimento de estratégias de mitigação e resposta a esses eventos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

As análises foram conduzidas em uma área piloto na planície costeira do Amapá, ao norte da foz do rio Amazonas, em áreas de campos inundáveis rodeados por floresta de várzea (IEPA, 2017) (Figura 1), na planície de inundação influenciada por marés (Santos *et al.*,

2009) que envolve a planície do rio Araguari, a Região dos Lagos e a margem esquerda do Canal do Norte do rio Amazonas. .

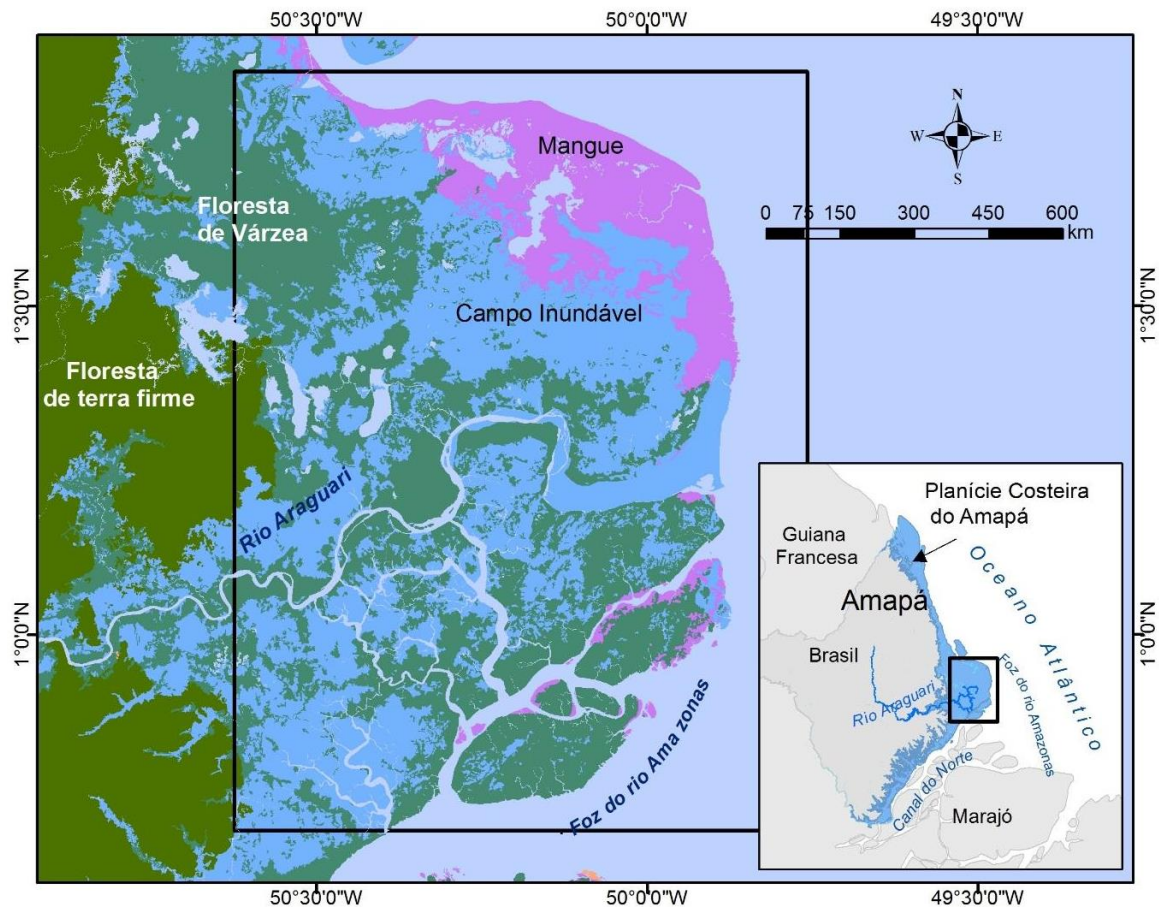


Figura 1 – Localização e cobertura vegetal predominante na área de estudo. Fonte: IEPA (2017)

O regime de chuvas na região é influenciado pela variação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e modulada pelos fenômenos de El Niño e La Niña, com média de precipitação anual em torno de 3800 mm. A variabilidade da ZCIT é responsável pelas chuvas sazonais que concentram-se entre janeiro a junho (média mensal de 270 mm a 600 mm), com períodos de mínima precipitação (média mensal entre 0 a 120 mm) (Santos; Vitorino; Pereira; 2019). A área é influenciada pelas marés, que alcançam amplitudes em torno de 4 a 5 metros. As maiores inundações ocorrem na superposição das cheias com as marés de sizígia (Santos, 2006).

Aquisição e processamento de imagens

Para analisar a dinâmica das manchas de inundação foi realizado um levantamento de imagens do radar de abertura sintética (SAR) Sentinel-1A, banda C (<https://developers.google.com/earth-engine/guides/sentinell1>), através do Google Earth Engine, entre dezembro de 2022 e abril de 2023. Das 11 cenas retornadas, foram selecionadas quatro cenas, considerando as condições climáticas da região: duas de dezembro de 2022 (15/12/2022 e 27/12/2022) e duas de março de 2023 (09/03/2023 e 21/03/2023). A escolha do mês de março deve-se à maior probabilidade de influência das macromarés (sizígia no período de equinócio).



Devido à heterogeneidade das imagens do Sentinel-1 (diferentes configurações de instrumentos, resoluções e combinações de bandas), é comum filtrar os dados para obter um subconjunto homogêneo antes de iniciar o processamento (Mullissa *et al.*, 2021). Os campos de metadados comuns usados para filtragem incluem polarização do transmissor/receptor: VV, HH, VH, HV.

Para melhor visualização das áreas inundadas foi criada uma composição RGB temporal através de uma função de Stack. Técnica usada para criar imagens coloridas que representam mudanças ao longo do tempo, combinando três bandas espectrais (vermelho, verde e azul) em uma única imagem colorida derivada dos canais de polarização de cada uma das datas. Foi criada ainda nesta função a RGB temporal com cada banda da imagem representando uma data específica. Cada cor na imagem resultante representa a mudança na reflectância entre os períodos.

Dados Colaterais

Para a validação da extensão das manchas de inundação foram utilizados dados altimétricos, dados de precipitação e dados de marés.

A variação da altitude na planície costeira foi analisada utilizando o Modelo Digital do Terreno, proveniente da Base Cartográfica Digital Contínua do Amapá - BCDC-AP (Funi *et al.*, 2023). Os dados foram tratados de forma a realçar as áreas mais baixas do terreno, onde espera-se maior influência da inundação devido aos processos hidrometeorológicos e oceanográficos.

Os dados de precipitação acumulada foram calculados para os 15 dias anteriores à passagem do satélite e foram adquiridos através do site BDMEP - INMET (<https://bdmep.inmet.gov.br>): estação meteorológica Macapá (82098). Planilhas com informações anuais das estações de Porto Grande (A244) e Macapá (A249), foram recuperadas no Portal INMET (<https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>). As estações meteorológicas estão localizadas a uma distância aproximada de 150 km a 200 km da área de estudo.

A tábua de maré da localidade de Ponta do Céu, na foz do rio Amazonas, disponível em <https://tabuademares.com/br/amapa> foi utilizada para cálculo da situação das marés, que pode ser um fator determinante para inundação em áreas úmidas costeiras na costa amapaense (Santos, 2006). Espera-se que nas marés de sizígia, em situação de preamar ou próxima a ela, tenha-se maiores manchas de inundação nas imagens de satélite, do que as marés de quadratura em situação de baixamar ou próxima a ela. Os valores das tábuas de marés foram ajustados utilizando dados de campo coletados nas proximidades do local de interesse.

3. RESULTADOS

A área de estudo apresenta extensas áreas planas, com altitudes abaixo de 1 metro ao sul do Rio Araguari. Ao norte desse rio, a altitude predominante está entre 1 e 2 metros (Figura 2a). Variações tão baixas de altitude só foram possíveis de serem obtidas para Amapá, porque o estado possui cobertura de radar aerotransportado, banda P, através do qual foi gerado MDT para seu território. Esta clareza da variação das nuances do relevo para planície costeira não seria passível de ser observada com dados como o Modelo Digital de Superfície do (*Shuttle Radar Topography Mission*), disponibilizado pela NASA (Figura 2b)

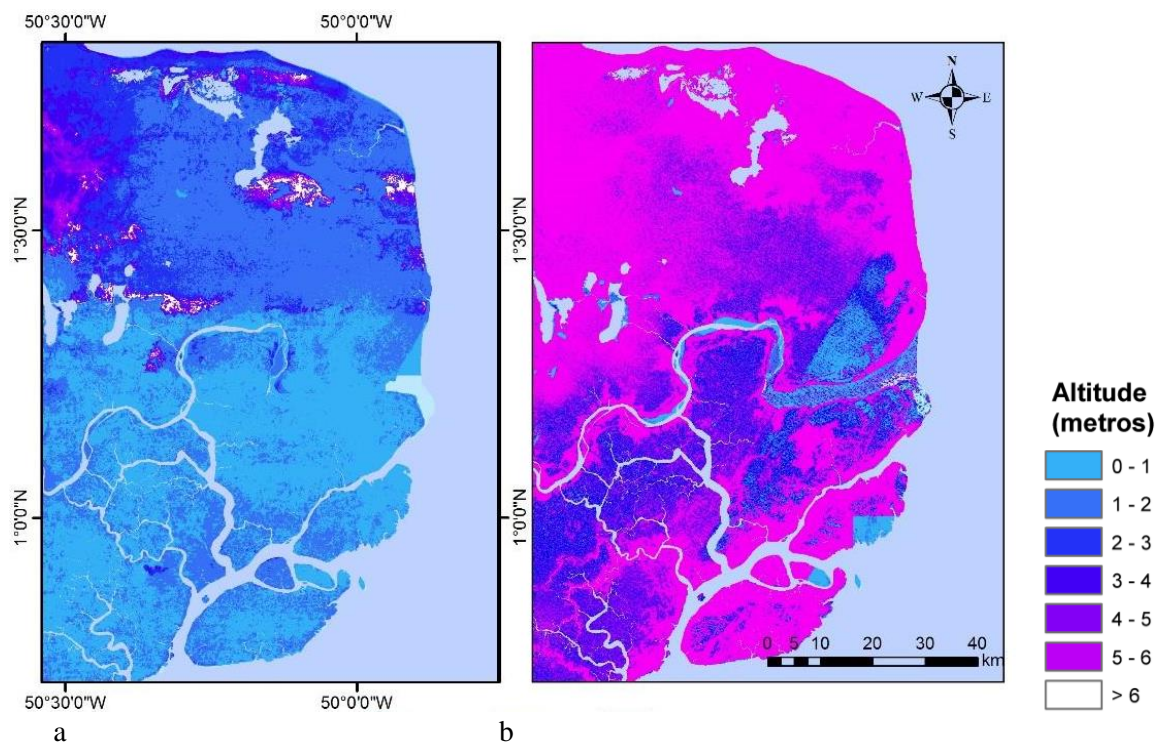


Figura 2 –Altitude da área de estudo.

Fonte: (a) Modelo Digital do Terreno (BCDC-AP), (b) Modelo Digital de Superfície (SRTM).

Dados de Precipitação e Maré Relacionados às Passagens do Sentinel-1A

Os dados levantados incluem informações sobre a precipitação acumulada nos 15 dias anteriores à passagem do satélite Sentinel-1A, assim como o tipo e a situação (preamar, baixamar, enchente ou vazante) da maré durante essas passagens (Tabela 1).

Data da passagem do Sentinel 1A	Precipitação acumulada (mm) 15 dias antes da passagem			Tipo de maré	Situação da maré
	Macapá 82098	Macapá A249	Porto Grande A244		
15/12/2022	57,4	61,8	133,6	Quadratura	1h30 antes da baixamar
27/12/2022	18,6	28	150	Quadratura	37min antes da baixamar
09/03/2023	230,1	149,8	156	Sizígia	1h20 após baixamar
21/03/2023	114,8	141	149,8	Sizígia	2h25 após a baixamar

Tabela 1 – Precipitação acumulada (mm) 15 dias antes da passagem do Sentinel 1A, por estação de coleta meteorológica. Tipo e situação de maré para as datas de passagem.

Passagem em 15/12/2022. A precipitação acumulada em Porto Grande foi significativamente maior (133,6 mm) comparada a Macapá 82098 e Macapá A249. A maré estava em quadratura e em situação de vazante, o que sugere menor influência das marés altas na extensão das áreas inundadas visíveis nas imagens.



Passagem em 27/12/2022. Novamente, a precipitação em Porto Grande (150 mm) foi muito maior que nas duas estações em Macapá. A maré estava em quadratura e na situação de maré, similar à passagem anterior.

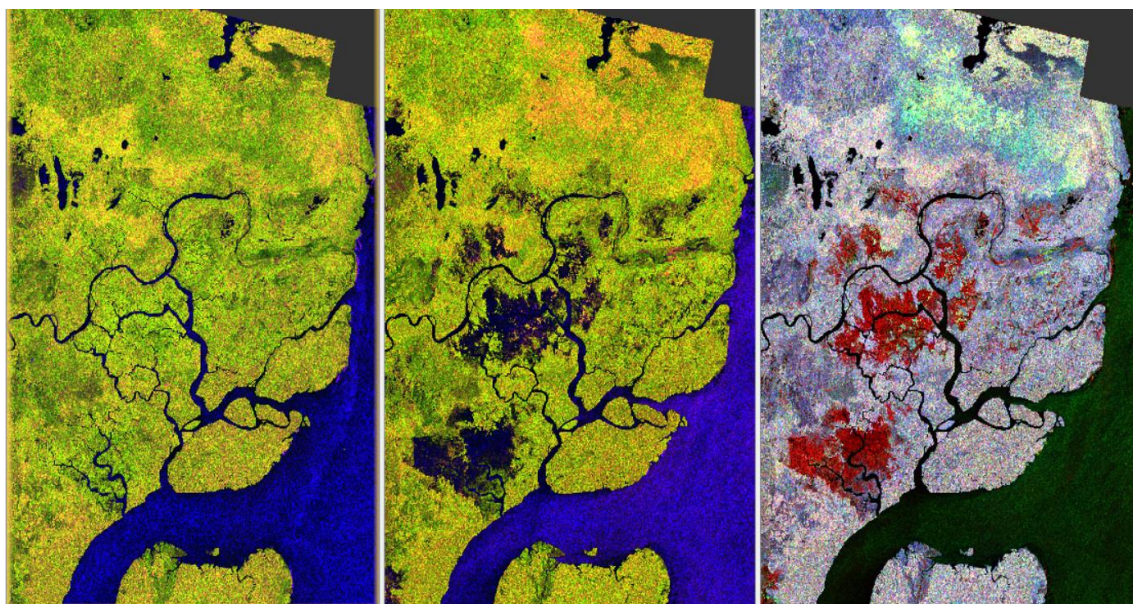
Passagem em 09/03/2023. A precipitação acumulada foi muito alta em todas as estações, especialmente em Macapá 82098 (230,1 mm). A maré estava em sizígia, o que significa que maiores amplitudes de marés, mas a imagem foi adquirida na maré vazante.

Passagem em 21/03/2023. A precipitação foi alta em todas as estações, com valores mais semelhantes entre Macapá e Porto Grande. A lua condicionava a maré de sizígia e a imagem novamente foi adquirida em situação de maré vazante.

Manchas de Inundação nas imagens Sentinel 1A

Os resultados mostraram que imagens SAR do Sentinel 1A permitiram a identificação de manchas de inundações e de áreas de vegetação alagada, bem como a detecção da variabilidade espacial e temporal das áreas inundadas.

A imagem do dia 15 de dezembro (3a) apresenta maiores valores de σ_0 . Quando inundadas estas áreas apresentaram valores bem menores de σ_0 , devido a presença de água e ao mecanismo de espalhamento superficial (3b). Com o aumento do conteúdo de água, tanto no substrato como na estrutura das diferentes fitofisionomias, é de se esperar uma maior frequência de mecanismos de reflexão de canto (double bounce), que aparece destacada em cyan (3c) na porção norte da Figura 3. As áreas realçadas em vermelho (Figura 3c) apresentaram menores valores de σ_0 .



(a)

(b)

(c)

Figura 3 – Composição RGB (VV/VH/ CR) para as datas de 15/12/2022 (a), 27/12/2022 (b) e RGB temporal (c) com destaque para as manchas de inundação (em vermelho) e área com domínio de reflexão de canto (em cyan,)

No mês de dezembro, especificamente na cena de 27/12/2022 (Figura 3b), observou-se a presença das maiores e mais proeminentes manchas de inundação, que foram retroespalhadas pela frequência da banda C.

Embora os dados meteorológicos consultados tenham apresentado os maiores índices de precipitação acumulada para imagem de 09/03/23 (4a) e 21/03/23 (4b), com marés de sizígia, essas imagens mostraram menor ocorrência das manchas de inundação em relação à imagem de 27/12/2022 (Figura 4b), em maré de quadratura

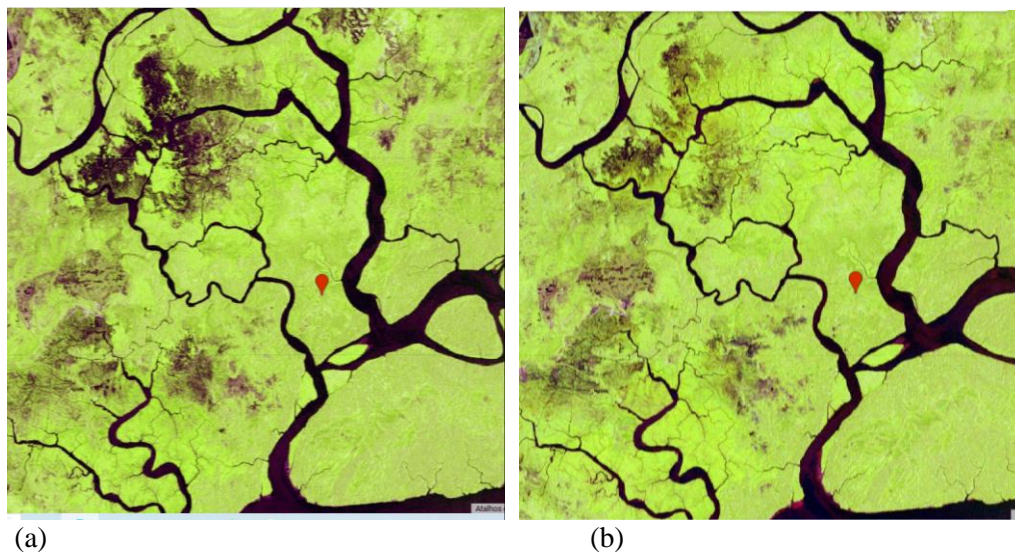


Figura 5 – Comparação entre a composição colorida RGB (VV/VH/ CR) das imagens Sentinel 1A para (a) 09/03/2023 1h e 20 minutos após a baixamar, (b) 21/03/2023, 2h e 25 minutos após a baixamar.

Precipitação e Inundações

A passagem com maior valor de precipitação (09/03/2023) não foi a que apresentou maior área inundada nas imagens do Sentinel-1A, indicando que outras variáveis são mais determinantes para formação e manutenção das manchas de inundação na planície costeira, ou que os dados meteorológicos históricos disponíveis no banco de dado do INMET podem ser insuficientes para representar o cenário correto de precipitação para aquela área.. As diferenças de precipitação entre as estações de Macapá e Porto Grande e a distância destas estações para a área de estudo podem refletir variações locais significativas nas condições de inundação. Por outro lado, deve-se ainda considerar a existência de três hidrelétricas no rio Araguari (Rosário; Santos; Santos, 2017) que podem influenciar através da abertura de suas comportas.

Influência das Marés

Os dados de marés sugerem que as áreas inundadas visíveis nas imagens estariam menos influenciadas pela maré alta no momento aquisição da imagem do satélite. Mas as marés de sizígia nos dias anteriores podem ter sido determinantes para acúmulo de água nos dias que antecederam as passagens. Nenhuma das cenas analisadas apresentavam-se em situação de preamar ou próxima a ela (Tabela 1). Considerando-se a influência das marés, a imagem de 21/03/2023 (Figura 5b) deveria apresentar uma área maior de inundação. Porém observa-se que



a imagem anterior (Figura 5a) apresenta maior área com manchas de inundação, o que é esperado se considerar apenas a precipitação.

Influência da Altitude nas Inundações

A altitude da área parece ser um fator predominante para as inundações. Embora haja predominância do habitat "campos inundáveis" tanto ao norte quanto ao sul do rio Araguari, a área inundada foi significativamente maior ao sul do referido rio, onde as altitudes estão abaixo de 1 metro. Em contraste, a parte ao norte do rio, que possui altitudes predominantes entre 1 e 2 metros, onde as áreas inundadas não são significativas para o período analisado.

As manchas de inundação aparentemente tendem a se concentrar em áreas rebaixadas, formando zonas inundadas durante o período hidrológico das chuvas. Essas inundações geralmente ocorrem nos domínios das vegetações campestres que possuem menor porte vegetal. Portanto, são mais facilmente detectadas pelo comprimento da banda C. Dados de campo (Santos, 2006) corroboram a tendência de maior alagamento dessas áreas que são topograficamente mais rebaixadas na planície costeira. Não se pode excluir a hipótese da existência de maior área inundada abaixo do dossel vegetado (não detectadas pela frequência do radar utilizado no trabalho).

4. CONCLUSÕES

A metodologia de classificação das imagens radar Sentinel 1-A mostrou-se eficaz na detecção de manchas de inundação em áreas de vegetação herbácea ou de pequeno porte, mas limitada em vegetação densa devido à menor capacidade de penetração da banda C. Não foi possível correlacionar diretamente as manchas de inundação com precipitação e maré, sugerindo a necessidade de monitoramento prolongado e dados mais precisos. A influência das marés deve ser monitorada continuamente e a altitude é um fator crítico para estratégias de mitigação de risco. Uma modelagem hidrológica confiável exige a integração de dados de precipitação, maré e topografia.

5. REFERÊNCIAS

ALVALÁ, R.D.S.; RIBEIRO, D.F.; MARENGO, J.; SELUCHI, M.E.; GONÇALVES, D.A.; SILVA, L.A.; PINEDO, L.A.C.; SAITO, S.M. **Analysis of the hydrological disaster occurred in the state of Rio Grande do Sul, Brazil in September 2023: vulnerabilities and risk management capabilities.** *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 104645 (in press). DOI: [10.1016/j.ijdr.2024.104645](https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2024.104645).

FARHADI, H.; ESMAEILY, A.; NAJAFZADEH, M. **Flood monitoring by integration of remote sensing technique and multi-criteria decision making method.** *Computers & Geosciences*, v. 160, p. 105045, 2022. DOI: [10.1016/j.cageo.2022.105045](https://doi.org/10.1016/j.cageo.2022.105045).

FUNI, C.; FERREIRA DOS SANTOS, V.; WATANABE, E.; CARMONA, S. **Produtos da Base Cartográfica Digital Contínua do Estado do Amapá.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 20., 2023, Florianópolis. *Anais do XX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. São José dos Campos: INPE, 2023. Disponível em:



<https://proceedings.science/sbsr-2023/trabalhos/produtos-da-base-cartografica-digital-continua-do-estado-do-amapa?lang=pt-br>. Acesso em: 30 jun. 2024.

GOOGLE EARTH ENGINE. **Sentinel-1 User Guide**. Disponível em: <https://developers.google.com/earth-engine/guides/sentinel1>. Acesso em: 30 jun. 2024

INSTITUTO DE PESQUISAS CIENTÍFICAS E TECNOLÓGICAS DO ESTADO DO AMAPÁ (IEPA). **Banco de Dados Geográficos do Projeto Cartas SAO para a Bacia Marítima Foz do Amazonas**. Versão 1. Dez. 2017. Macapá: IEPA, 2017. Disponível em: <http://www.iepa.ap.gov.br/saofza/base.php>. Acesso em: 23 jun. 2023

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br>. Acesso em: 10 abr. 2024.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Dados Históricos**. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>. Acesso em: 10 abr 2024.

KEW, S. F.; SELTEN, F. M.; LENDERINK, G.; HAZELEGER, W. **Assessment of the effects of natural and anthropogenic drivers on extreme flood events in coastal regions**. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 2022. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00477-022-02291-3>. Acesso em: 30 jun. 2024.

KORDZAKHIA, G.; SHENGELIA, L.; TVAURI, G.; TATISHVILI, M.; MKURNALIDZE, I. Remote sensing for early warning of natural meteorological and hydrological disasters and provision of transportation safety over the Black Sea in Georgia. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, v. 19, p. 532-536, 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187704281101281X>.

LEE, H.; CHANG, C.-H. **Rapid and robust monitoring of flood events using Sentinel-1 and other satellite data**. *NASA Applied Sciences*, 2024. Disponível em: <https://appliedsciences.nasa.gov>. Acesso em: 30 jun. 2024.

LIAN, J. J.; XU, K.; MA, C. **Joint impact of rainfall and tidal level on flood risk in a coastal city with a complex river network: a case study of Fuzhou City, China**. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 17, p. 679–689, 2013. DOI: [10.5194/hess-17-679-2013](<https://doi.org/10.5194/hess-17-679-2013>).

MINOTTI, P.G.; RAJNGEWERC, M.; SANTORO, V.A.; GRIMSON, R. **Evaluation of SAR C-band interferometric coherence time-series for coastal wetland hydropattern mapping**. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 106, p. 102976, 2021. DOI: [10.1016/j.jsames.2020.102976](<https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102976>).

MULLISSA, A.; BALLING, J.; GOU, Y.; GORELICK, N.; REICHE, J. **Sentinel-1 SAR backscatter analysis ready data preparation in Google Earth Engine**. *Remote Sensing*, v. 13, n. 10, p. 1954, 2021. DOI: [10.3390/rs13101954](https://doi.org/10.3390/rs13101954).

NASA Jet Propulsion Laboratory. **NASA Shuttle Radar Topography Mission Global 1 Arc Second**. *NASA EOSDIS Land Processes DAAC*, 2000. DOI: [10.5067/MEaSURES/SRTM/SRTMGL1.003](<https://doi.org/10.5067/MEaSURES/SRTM/SRTMGL1.003>).



ROSÁRIO, E. S.; SANTOS, V. F.; SANTOS, S. L. C. **Dinâmica de sedimentos em suspensão no estuário do rio Araguari a partir de imagens de sensores remotos óticos e conexões com o rio Amazonas.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2017, Santos. *Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Santos: INPE, 2017

SANTOS, M.R.S.; VITORINO, M.I.; PEREIRA, L.C.C. **Spatiotemporal variation in the precipitation of the Amazon coastal zone: use of remote sensing and multivariate analysis.** *Revista Brasileira de Climatologia*. v. 25. (<https://doi.org/10.5380/abclima.v25i0.64892>)

SANTOS, V. F. **Ambientes costeiros amazônicos: avaliação de modificações por sensoriamento remoto.** 2006. Tese (Doutorado em Geologia e Geofísica Marinha) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 2006. DOI: 10.13140/RG.2.1.5018.4162.

SANTOS, V. F.; NOBRE JUNIOR, B. B.; SOUZA, F. M.; SILVA, L. M. Amapá: um estado costeiro - reflexões sobre Vulnerabilidades, Riscos e Adaptações a Mudanças Climáticas. In: PORTO, J. (org.). *Encontros e Percepções Geográficas: diálogos e provocações*. Maringá: UNIEDUSUL, 2022. p. 110-132. DOI: [10.51324/54180221](<https://doi.org/10.51324/54180221>).

SHARANNYA, T. M.; MUDBHATKAL, A.; MAHESHA, A. **Assessing climate change impacts on river hydrology—a case study in the Western Ghats of India.** *Journal of Earth System Science**, v. 127, n. 6, p. 1–11, 2018. DOI: [10.1007/s12040-018-1007-3](<https://doi.org/10.1007/s12040-018-1007-3>).

WAGNER, W.; FREEMAN, V.; CAO, S.; MATGEN, P.; CHINI, M.; SALAMON, P.; McCORMICK, N.; MARTINIS, S.; BAUER-MARSCHALLINGER, B.; NAVACCHI, C.; SCHRAMM, M.; BRIESE, C. **Data processing architectures for monitoring floods using Sentinel-1.** *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. V-3, p. 641-648, 2020. DOI: [10.5194/isprs-annals-V-3-2020-641-2020](<https://doi.org/10.5194/isprs-annals-V-3-2020-641-2020>).