

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

Dinâmica da Linha de Costa em Baía da Traição (PB): Uma Abordagem Comparativa com LANDSAT e SENTINEL-2 na Plataforma CASSIE

Felipe Daniel de Oliveira Santos¹ ; Antônio Edmilson de Alcântara Dantas²

Abstract: The Brazilian coastal zone, one of the most extensive in the world, encompasses hundreds of municipalities and a significant portion of the national population, being fundamental for the economy and the maintenance of ecosystems. In this context, the present study aims to analyze the spatiotemporal variability of the shoreline in the coastal region of Baía da Traição – PB, using the CASSIE program integrated with the Google Earth Engine platform, in order to improve monitoring and support territorial management strategies. Results from both satellites for the study region, LANDSAT (1984–2025) and SENTINEL-2 (2016–2025), were selected. The present study conducted a comparative analysis of the temporal evolution of shorelines, allowing for the classification of segments according to degrees of erosivity. The results indicated a predominance of eroded stretches, confirming the erosive pattern already documented in the literature. The CASSIE platform demonstrated efficiency in coastal mapping, even without the direct incorporation of tide gauge data, and reinforced the need for management actions and continuous monitoring of the identified critical areas.

Resumo: A zona costeira brasileira, uma das mais extensas do mundo, abrange centenas de municípios e uma parcela significativa da população nacional, sendo fundamental para a economia e para a manutenção de ecossistemas. Diante desse cenário, o presente estudo propõe analisar a variabilidade espaço-temporal da linha de costa na região litorânea de Baía da Traição – PB, utilizando o programa CASSIE, integrado à plataforma Google Earth Engine, para aprimorar o monitoramento e apoiar estratégias de gestão territorial. Foram selecionados os resultados em ambos os satélites para a região de estudo, LANDSAT (1984–2025) e SENTINEL-2 (2016–2025). O presente estudo realizou a análise comparativa da evolução temporal das linhas de costa, permitindo classificar trechos em graus de erosividade. Os resultados indicaram uma predominância de trechos erodidos, confirmando o padrão erosivo já documentado na literatura. A plataforma CASSIE demonstrou eficiência no mapeamento costeiro, mesmo sem a incorporação direta de dados maregráficos, e reforçou a necessidade de ações de gestão e monitoramento contínuo das áreas críticas identificadas.

Palavras-Chave – CASSIE; Shorelines; Baía da Traição

1. INTRODUÇÃO

Crescimento urbano acelerado no Brasil tem impulsionado a expansão territorial e populacional, frequentemente sem o respaldo de um planejamento urbano adequado para garantir infraestrutura e logística eficientes. O modo como o espaço urbano é organizado impacta diretamente

1) Afiliação: Times New Roman, 8 pt com endereço completo, fone, fax e e-mail

2) Afiliação: Times New Roman, 8 pt com endereço completo, fone, fax e e-mail

a qualidade de vida, influenciando fatores como mobilidade, acesso a serviços e distribuição de áreas residenciais e de lazer (Aghlmand, 2021; Ennouri, 2021). A falta de gestão participativa e eficaz no planejamento urbano contribui para o aumento de riscos e vulnerabilidades socioambientais, especialmente em áreas sujeitas a ameaças naturais, como as zonas costeiras, que enfrentam desafios crescentes devido à elevação do nível do mar e à erosão costeira (Salvo, 2023; Bellert, 2021).

A zona costeira brasileira, uma das mais extensas do mundo, abrange centenas de municípios e uma parcela significativa da população nacional, sendo fundamental para a economia e para a manutenção de ecossistemas (Bellert, 2021). A análise e o monitoramento dessas áreas são essenciais, pois a expansão urbana desordenada pode agravar processos erosivos e aumentar a exposição a riscos ambientais (Salvo, 2023; Bellert, 2021). Entre os principais indicadores para avaliar a erosão costeira está a linha de costa, cuja dinâmica é influenciada por múltiplos fatores e cuja análise demanda dados precisos e atualizados.

O monitoramento da linha de costa enfrenta desafios como a obtenção e o processamento de grandes volumes de dados, além de custos elevados. Nesse contexto, o sensoriamento remoto, especialmente por meio de plataformas como o Google Earth Engine (GEE), tem se destacado por permitir o acesso e a análise de imagens de satélite em larga escala, facilitando o acompanhamento de mudanças ambientais e urbanas ao longo do tempo (Liang, 2020; Seyed, 2020; Tamiminia, 2020). O GEE integra bases de dados e ferramentas de processamento em nuvem, tornando-se uma solução eficiente para estudos de dinâmica costeira e planejamento urbano sustentável (Liang, 2020; Seyed, 2020; Tamiminia, 2020; GORELICK, 2017).

A análise da variação espaço-temporal das linhas de costa constitui processamento fundamental para avaliar a dinâmica litorânea e os processos de avanço ou recuo do mar sobre o continente. A plataforma CASSIE (Coast Analyst System From Space Imagery Engine) é uma aplicação web gratuita e de código aberto integrada ao Google Earth Engine (GEE), voltada para o mapeamento e análise temporal do comportamento de linhas costeiras a partir de imagens de satélite, a ferramenta proporciona acesso facilitado a dados de satélites internacionais de domínio público, otimizando o monitoramento e a análise espacial do litoral. (Almeida et al., 2021). A ferramenta permite a seleção de diferentes satélites para compor sua análise, a série Landsat com resolução espacial de 30 metros, e imagens desde 1984, e o satélite Sentinel-2, com resolução espacial de 10 metros e imagens iniciando de 2013

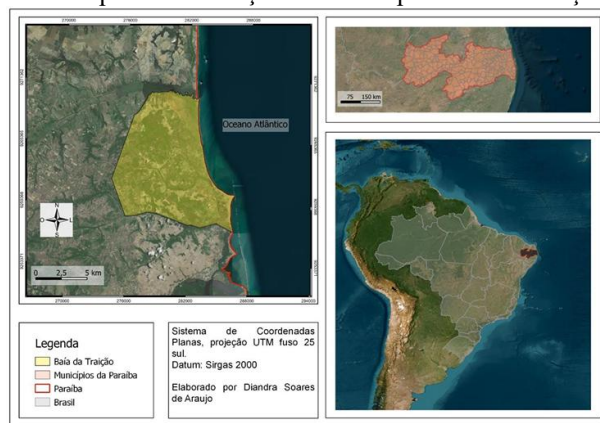
Diante desse cenário, o presente estudo propõe analisar a variabilidade espaço-temporal da linha de costa na região litorânea de Baía da Traição – PB, região amplamente conhecida por problemas envolvendo erosão costeira, utilizando a plataforma CASSIE, e analisar o impacto de diferentes fontes de imagens de satélite na obtenção dos resultados.

2. METODOLOGIA

2.1. Área de estudo

A área selecionada para a análise do estudo, é a região litorânea do município da Baía da Traição (PB), como visto na Figura 1. O município de Baía da Traição localiza-se no litoral norte da Paraíba, entre as coordenadas aproximadas 6°41'S e 34°56'W, e abrange cerca de 102 km² e uma população total de 9.224 habitantes (IBGE, 2022). O clima é tropical úmido, com temperatura média anual de 26°C e precipitação anual média de 1.800 mm, concentrada principalmente entre março e agosto (INMET, 2023). A região possui praias arenosas, falésias, manguezais e recifes, compondo um mosaico de ambientes costeiros sensíveis à erosão (PROCOSTA, 2018).

Figura 1: Mapa de localização do município Baía da Traição - PB



Fonte: Araujo, 2023.

Segundo dados do Censo de 2010, cerca de 71% dos habitantes de Baía da Traição se identificam como indígenas, o que coloca o município entre os quatro do Brasil com maior representatividade indígena em sua população total. O litoral local é caracterizado por falésias, dunas, praias e a presença de uma linha de arenitos denominada "beach rocks", que se estende por aproximadamente 5 km ao norte a partir da divisa sul municipal (Mota, 2011, citado por Araujo, 2023). De acordo com o Serviço Geológico do Brasil (CPRM), Baía da Traição integra a unidade geoambiental dos Tabuleiros Costeiros, com vegetação predominante de floresta subperenifólia, além de trechos de floresta subcaducifólia e áreas de transição entre cerrado e floresta. O clima

predominante é tropical úmido, com período de verão mais seco (BRASIL, 2005, citado por Araujo, 2023).

2.2. Processamento dos dados na ferramenta Coast Analyst System from Space Imagery Engine (CASSIE)

Para o presente estudo, foram selecionados os resultados em ambos os satélites para a região de estudo, totalizando 92 imagens do satélite LANDSAT (período de 1984 a 2025) e 84 imagens do satélite SENTINEL-2 (2016 a 2025), sob o critério de escolha de imagens com menores percentuais de cobertura de nuvens.

O processamento prosseguiu com a definição da linha de base, linha de referência traçada geralmente paralela à linha de costa, a partir da qual são lançados transectos perpendiculares para medir o avanço ou recuo da linha de costa em diferentes períodos. Essa linha deve ser posicionada de modo a não cruzar as linhas de costa analisadas, e seguido recomendações de sua construção, sendo baseada na linha de costa mais antiga da região (DSAS, 2021; Zambrano-Medina, 2023; Crowell, 2021). Para a série LANDSAT, a linha de base foi definida a partir de um offset de 100 metros em relação à linha de costa mais antiga mapeada (1984), enquanto para a série SENTINEL, adotou-se o mesmo afastamento a partir da linha de costa de 2016.

De acordo com a análise da extensão total, foi escolhido a configuração de *casting* regular de transectos a 50 metros, e a extensão deles 500 metros. O parâmetro de limiarização do interstício água-terra foi ajustado para zero, permitindo que o algoritmo atribua automaticamente um valor-ótimo para segmentação utilizando o limiar de Otsu (Otsu, 1979; Tang *et al*, 2022; Dantas *et al*, 2022).

Após a definição dos parâmetros, a ferramenta deu início ao processo automatizado de delineamento da linha de costa para cada imagem dos anos selecionados. O procedimento começou com o cálculo do Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI), conforme apresentado na Equação 1. Em seguida, o histograma do NDWI foi convertido em uma classificação binária, distinguindo entre áreas de água e de terra, por meio de um algoritmo de limiarização automática, onde o valor 0 representa água e o valor 1 corresponde à terra, descrito no parágrafo acima (Almeida *et al*, 2021, Dantas *et al*, 2021).

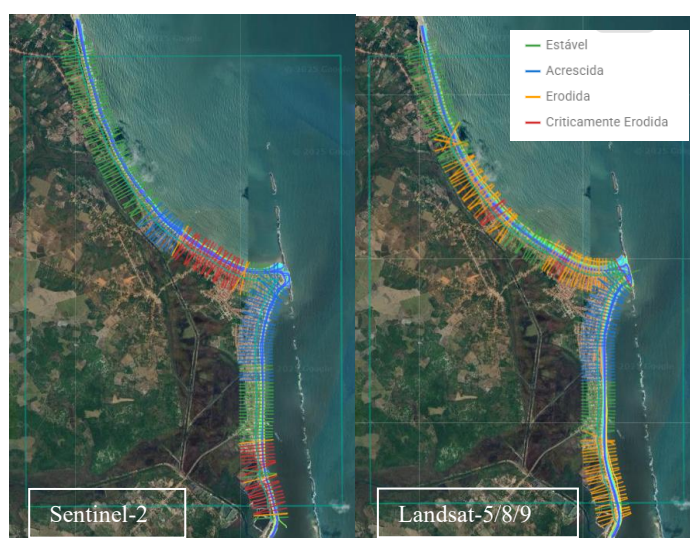
$$NDWI = \frac{GREEN - NIR}{GREEN + NIR} \quad (1)$$

3. RESULTADOS

O presente estudo realizou a análise comparativa da evolução temporal das linhas de costa na faixa litorânea do município de Baía da Traição, de séries históricas de imagens dos satélites

LANDSAT e SENTINEL, com linhas extraídas a partir do NDWI, e calcula diversas estatísticas a partir dos transectos para classificar trechos em graus de Erosividade. Para a base LANDSAT, de acordo com as configurações selecionadas foram gerados 177 transectos, dos quais 8 foram classificados como criticamente erodidos, 67 como erodidos, 71 como estáveis e 31 como acrescidos. Na análise a partir das imagens SENTINEL, 174 transectos foram gerados, sendo 38 criticamente erodidos, 6 erodidos, 88 estáveis e 42 acrescidos. Esta classificação dar-se-á por meio da regressão linear (LRR) do cruzamento das diferentes linhas de costa por meio dos transectos. Os diferentes graus de vulnerabilidade e estabilidade dos transectos foram destacados por codificação de cores específicas, atribuídos automaticamente pelo CASSIE conforme ilustrado na Figura 2 abaixo.

Figura 2: Classificação geral dos Transectos de acordo com LANDSAT e SENTINEL.



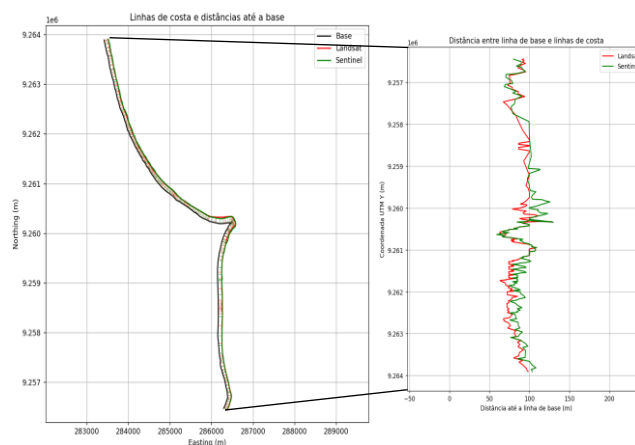
Fonte: Autores, 2025

É possível observar que as linhas de costas geradas pelo Sentinel-2 classificaram mais segmentos com estado de “Erosão Crítica” (21,8% do total de seus transectos) do que o Landsat (4,5% do total de seus transectos); já em relação a “Erosão”, este classificou mais transectos neste estado (37,8% do total) do que o Sentinel-2 (3,8%), totalizando para o Sentinel-2, 25,6% dos seus transectos classificados como erodidos, e o Landsat totalizando 42,3% dos seus transectos classificados como erodidos. É possível observar nestas circunstâncias, uma tendência das linhas de costa geradas do Landsat em se aproximarem mais do continente, o contrário do Sentinel. Embora em ambos os satélites, seja possível identificar as mesmas regiões (grupos) de erosão/acresção/estabilidade de sedimentos.

Esta tendência do Landsat em identificar as linhas mais perto da costa, pode ser constatada comparando duas linhas de costas, uma gerada pelo Landsat e outra gerada pelo Sentinel, ambas

provenientes de imagens de satélites com datas homônimas na região de estudo (04/10/2023), dado relativamente raro visto que os satélites possuem resoluções temporais distintas. Com base nas duas linhas de costas georreferenciadas, foi possível comparar a distância de ambas com relação a uma linha de base hipotética representando o continente, como pode ser visto no esquema da figura 3 abaixo.

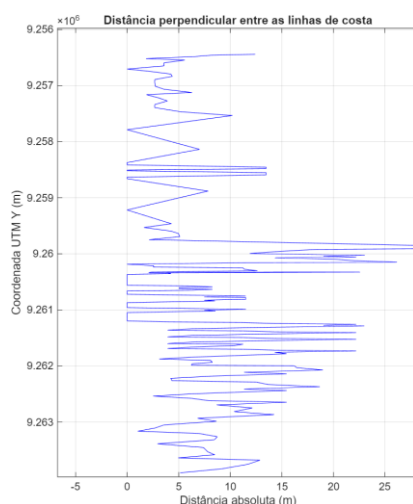
Figura 3 – Linhas de Costa de datas homônimas do Landsat e Sentinel



Fonte: Autores, 2025

Foi observado que a linha de costa da imagem do Landsat está uma distância média de 86,15 metros da linha de costa da linha de base traçada, enquanto a linha proveniente do Sentinel-2 encontra-se a uma média de 91,76 metros e é visivelmente mais afastada do continente como pode ser visto na figura 3 acima. Esta constatação é importante devido condições de marés serem idênticas, pois as horas das imagens também são próximas (diferença a imagem do Landsat e do Sentinel-2). Também foi possível calcular algumas estatísticas entre estas duas linhas de costa homônimas, obtendo-se uma distância média de 7,47 metros, com valores máximos de 32,31 metros, e valores mínimos de 0,00 metros, o gráfico das distâncias entre as linhas de costas pode ser visto na figura 4 abaixo.

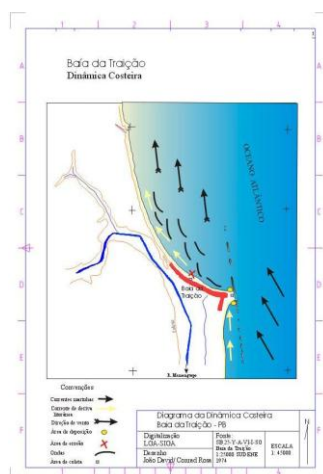
Figura 4 – Gráfico de distâncias entre as linhas de costa homônimas



O resultado da distância média obtida entre as linhas de costa homônimas, reforça valores encontrados na bibliografia (Garalde, L. et al, 2023; Bergsma *et al*, 2024; Figliomeni et al, 2024), com valores entre 2 e 10 metros; o valor mínimo encontrado de 0, representa na verdade a distância mínima entre as duas linhas de costa, que ocorre quando elas se sobrepõem, como visto na figura anterior, e o valor máximo de aproximadamente 32 metros, se aproxima de 30 metros, valor da maior resolução espacial dentre os sensores analisados, podendo estar associado a distância máxima a qual a linha poderia ser delineada entre os pixels.

A partir das análises, reforça-se a presença de erosão acentuada na região da Baía da Traição, em consonância com as informações amplamente documentadas sobre a dinâmica costeira da região (Araujo, 2023; Barrense, 2024; Brasil, 2025), como também encontrando em ambos os satélites, as mesmas regiões de erosão encontradas em estudos mais antigos (Lima, 2002), como visto na figura 5 abaixo, constatando assim, a eficácia da plataforma e dos métodos empregados em identificar a tendência erosiva nesta região, mesmo sem considerar dados de marégrafos.

Figura 5 – Mapa de Dinâmica Costeira



Fonte: Lima, 2002

4. CONCLUSÕES

O estudo apresentou uma análise espaço-temporal da linha de costa em Baía da Traição – PB, utilizando imagens de satélite LANDSAT (1984–2025) e SENTINEL-2 (2016–2025) processadas na plataforma CASSIE integrada ao Google Earth Engine (GEE). Foram gerados 177 transectos com dados do LANDSAT e 174 com dados do SENTINEL-2, mapeando a variação litoral ao longo das décadas. Essa abordagem permitiu quantificar deslocamentos da linha de costa e avaliar em detalhes a dinâmica costeira na região.

Os principais resultados indicaram uma predominância de trechos erodidos, com destaque para o SENTINEL-2 identificar mais transectos como criticamente erodidos em comparação ao LANDSAT, que evidenciou maior número de transectos em erosão moderada. Observou-se ainda uma diferença média de 7,47 metros entre linhas de costa homônimas extraídas pelos dois sensores na mesma data (04/10/2023), atingindo variações máximas de até 32,31 metros em alguns trechos. Essa variação sugere que a resolução espacial e a data de aquisição das imagens podem influenciar a detecção das linhas de costa, mas em essência confirma o padrão erosivo consistente com estudos anteriores para a região.

O estudo validou a eficiência da plataforma CASSIE/GEE no mapeamento costeiro, mesmo sem a incorporação direta de dados maregráficos. A ferramenta mostrou-se capaz de extrair linhas de costa coerentes e consistentes ao longo do período analisado, fornecendo um recurso automatizado e de fácil aplicação para o monitoramento da zona costeira. Essa capacidade reforça o valor do monitoramento remoto baseado em satélite para áreas costeiras, especialmente quando dados convencionais (como medições de maré) são escassos. A síntese dos resultados reforça a necessidade de ações de gestão e mitigação voltadas para as áreas críticas identificadas, contribuindo para subsidiar estratégias de preservação e planejamento costeiro na região. Adicionalmente, recomenda-se:

- Realizar calibração cruzada entre diferentes sensores (LANDSAT e SENTINEL-2) para reduzir discrepâncias nas extrações da linha de costa.
- Incluir dados de maré e registros maregráficos para complementar a análise temporal, permitindo a correção de posicionamento influenciado pelas variações do nível do mar.
- Aprimorar a definição da linha de base no processamento, considerando critérios geomorfológicos locais e melhores práticas em caracterização costeira.

- Ajustar parâmetros do Índice de Água (NDWI) e de segmentação de imagem conforme as especificidades das feições costeiras regionais, otimizando a detecção automática da interface terra-água.
- Ampliar a série histórica de dados e buscar cobertura temporal contínua, especialmente em trechos críticos, de modo a aprimorar o monitoramento de tendências e informar estratégias de gestão costeira.

5. REFERÊNCIAS

AGHLMAND, M., & KAPLAN, G. (2021). “Monitoring Urban Expansion Using Remote-Sensing Data Aided by Google Earth Engine”. 3, 1-8. <https://doi.org/10.34154/2021-EJGS-0012/EURAASS>.

ALMEIDA, L. P.; OLIVEIRA, I. E.; LYRA, R.; DAZZY, L. R. S., MARTINS, V. G.; KLEIN, E. H. F. (2021). “Coastal Analyst System from Space Imagery Engine (CASSIE): Shoreline management module. Environmental Modelling & Software”. Environmental Modelling & Software. 140. pp.105033.

ARAUJO, D. S. De. (2023) “Vulnerabilidade à erosão costeira no município de Baía da Traição - Paraíba, Brasil.” / Diandra Soares de Araujo. - João Pessoa, 2023. 87 f. : il. Orientação: Christianne Maria da Silva Moura. Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCEN.

BARRENSE, H. (2024) “As casas tremem': a vida na Baía da Traição, onde o mar engole as casas.” ECOA (UOL), São Paulo, 16 dez. 2024. Disponível em: UOL Ecoa. Acesso em: 27 jun. 2025.

BELLERT, F., FILA, K., THOMS, R., HAGENLOCHER, M., HARB, M., COTTI, D., BACCOUCHE, H., AYED, S., & GARSCHAGEN, M. (2021). “Application of Remote Sensing and GIS for Risk Assessment in Monastir, Tunisia”. Springer Water. https://doi.org/10.1007/978-3-030-63668-5_10.

BERGSMA, E., KLOTZ, A., ARTIGUES, S., GRAFFIN, M., PRENOWITZ, A., DELVIT, J., & ALMAR, R. (2024). “Shoreliner: A Sub-Pixel Coastal Waterline Extraction Pipeline for Multi-Spectral Satellite Optical Imagery”. Remote. Sens., 16, 2795. <https://doi.org/10.3390/rs16152795>.

BRASIL. (2025) Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (MDR). “MDR reconhece situação de emergência em três cidades paraibanas afetadas por desastres.” Brasília, 14 fev. 2025. Disponível em: gov.br/mdr. Acesso em: 13 jul. 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Programa Nacional para a Conservação da Linha de Costa – PROCOSTA. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/ecossistemas-1/procosta>. Acesso em: 09 jul. 2025.

CROWELL, M.; LEATHERMAN, S.P.; BUCKLEY, M.K. “Historical Shoreline Change: Error Analysis and Mapping Accuracy”. J. Coast. Res. 1991, 7, 839–852.

ENNOURI, K., SMAOUI, S., & TRIKI, M. (2021). “Detection of Urban and Environmental Changes via Remote Sensing”. Circular Economy and Sustainability, 1, 1423 - 1437. <https://doi.org/10.1007/s43615-021-00035-y>.

FIGLIOMENI, F., SPECHT, M., PARENTE, C., SPECHT, C., & STATECZNY, A. (2024). “Modeling and Accuracy Assessment of Determining the Coastline Course Using Geodetic, Photogrammetric and

Satellite Measurement Methods: Case Study in Gdynia Beach in Poland”. *Electronics*. <https://doi.org/10.3390/electronics13020412>.

GARALDE, L., BATINGAN, V., RAMOS, R., & ELAZEGUI, E. (2023). “Shoreline Extraction Using Landsat-8 And Sentinel-2 Images With Subpixel Precision: A Case Study In Boracay Island, Philippines”. 2023 Asian Conference on Remote Sensing (ACRS2023). <https://doi.org/None>.

GORELICK, N., HANCHER, M., DIXON, M., ILYUSHCHENKO, S., THAU, D., & MOORE, R. (2017). “Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone.” *Remote Sensing of Environment*, 202, 18-27. <https://doi.org/10.1016/J.RSE.2017.06.031>.

HIMMELSTOSS, E., HENDERSON, R., KRATZMANN, M., & FARRIS, A. (2021). “Digital Shoreline Analysis System (DSAS)” version 5.1 user guide. Open-File Report. <https://doi.org/10.3133/ofr20211091>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Baía da Traição – Panorama. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/baia-da-traicao/panorama>. Acesso em: 09 jul. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. Normais climatológicas do Brasil 1991-2020. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso em: 09 jul. 2025.

LIANG, J., XIE, Y., SHA, Z., & ZHOU, A. (2020). “Modeling urban growth sustainability in the cloud by augmenting Google Earth Engine (GEE)”. *Comput. Environ. Urban Syst.*, 84, 101542. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2020.101542>.

LIMA, J. D. M. (2002) “Morfogênese da dinâmica costeira entre os estuários dos rios Mamanguape e Camaratuba”. Monografia de Graduação apresentada para obtenção do grau de Bacharel em Geografia pela Universidade Federal da Paraíba. 2002.

MOTA, E. L. S. Composição e similaridade da Malacofauna associada a recifes costeiros do litoral da Paraíba, NE – Brasil. Universidade Estadual da Paraíba. Tcc. Graduação em biologia. 2011.

OTSU, N. (1979). "A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms." *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*. 9(1), pp. 62 – 66.

PROCOSTA - “Programa Nacional para Conservação de Linha de Costa”, Ministério do Meio Ambiente, 2018.

SALVO, C., & VITALE, A. (2023). “A Remote Sensing Method to Assess the Future Multi-Hazard Exposure of Urban Areas”. *Remote. Sens.*, 15, 4288. <https://doi.org/10.3390/rs15174288>.

SEYED, A., AHMADI, A., KAKOOEI, M., MOGHIMI, A., MIRMAZLOUMI, S., HAMED, S., MOGHADDAM, A., MAHDAVI, S., GHAHREMANLOO, M., PARSIAN, S., WU, Q., BRISCO, B., S., & M. (2020). “Google Earth Engine Cloud Computing Platform for Remote Sensing Big Data Applications: A Comprehensive Review”. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 13, 5326-5350. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2020.3021052>.

TAMIMINIA, H., SALEHI, B., MAHDIANPARI, M., QUACKENBUSH, L., ADELI, S., & BRISCO, B. (2020). “Google Earth Engine for geo-big data applications: A meta-analysis and systematic review”. *Isprs Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 164, 152-170. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.04.001>.

TANG, W., ZHAO, C., LIN, J., JIAO, C., ZHENG, G., ZHU, J., PAN, X., & HAN, X. (2022). Improved Spectral Water Index Combined with Otsu Algorithm to Extract Muddy Coastline Data. *Water*. <https://doi.org/10.3390/w14060855>.

ZAMBRANO-MEDINA, Y., PLATA-ROCHA, W., MONJARDÍN-ARMENTA, S., & FRANCO-OCHOA, C. (2023). “Assessment and Forecast of Shoreline Change Using Geo-Spatial Techniques in the Gulf of California”. *Land*. <https://doi.org/10.3390/land12040782>.