



O ESTADO-DA-ARTE DO SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO À EROSÃO DE FALÉSIAS E A VULNERABILIDADE DE INFRAESTRUTURAS COSTEIRAS

Peterson Ferreira de Sousa ¹
Silvio Braz de Sousa ²
Rodrigo de Freitas Amorim ³
Heleriany de Medeiros Madeiros ⁴

RESUMO

O presente trabalho discute o uso de tecnologias de sensoriamento remoto no monitoramento de zonas costeiras e na avaliação da vulnerabilidade de infraestruturas frente à erosão. A metodologia baseou-se em pesquisa bibliográfica de cerca de 60 publicações científicas recentes, selecionadas em bases como *Scopus* e *Research Rabbit*, priorizando artigos em inglês, com relevância científica e temática. A literatura demonstra que o uso de *Light Detection and Ranging* (LIDAR), imagens orbitais, Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP's) e modelagens 3D para coleta e análise de dados espaciais e espectrais são as principais técnicas aplicadas. O LIDAR aerotransportado e batimétrico ampliou significativamente a capacidade de análise da topografia e batimetria costeira. As ARP's, por sua vez, destacam-se como alternativas eficientes para o mapeamento de alta resolução em áreas de difícil acesso, como falésias e dunas, com eficácia comprovada em diferentes contextos geográficos. Apesar dos desafios associados ao pós-processamento de dados em ambientes urbanos dinâmicos, sensores hiperespectrais acoplados a ARP's demonstram potencial na detecção precoce de fissuras e instabilidades em infraestruturas. A fotogrametria aérea baseada em *Structure from Motion* (SfM) também tem se mostrado eficaz na geração de modelos tridimensionais para análise de erosão e instabilidade de encostas. Ferramentas SIG, como o *Topographical Compartment Analysis Tool* (TopCAT), contribuem para a quantificação de alterações morfológicas ao longo da linha de costa. A integração de dados multiespectrais e hiperespectrais, adquiridos em diferentes níveis (terrestre, aéreo e orbital), permite análises multiescalares e mais precisas. Conclui-se que a combinação entre dados orbitais e de ARP's é essencial para uma gestão costeira eficaz, preventiva e adaptativa em múltiplas escalas de análise.

Palavras-chave: Falésias, Infraestrutura costeiras, Sensoriamento remoto.

INTRODUÇÃO

O avanço do sensoriamento remoto a partir da década de 1970, impulsionado pelo lançamento do satélite Landsat e pela criação do sistema GPS, transformou as análises ambientais, inicialmente voltadas ao uso e cobertura da terra (Ferreira *et al.*, 2008). Nas décadas

¹ Mestrando do Curso de Geografia da Universidade Federal - RN, peterston.ferreira.ambiental@gmail.com

² Professor orientador: Doutor pelo Curso de Geografia da Universidade Federal - RN, sousasb@gmail.com

³ Professor Doutor pelo Curso de Geografia da Universidade Federal - RN, rodrigofba@gmail.com

⁴ Doutorando pelo Curso de Geografia da Universidade Federal - RN, danielcarlos472@gmail.com



seguintes, a popularização dos sistemas computacionais e o acesso facilitado a dados consolidaram essa tecnologia como ferramenta essencial para a cartografia moderna, permitindo análises multiescalares em alta resolução e respostas mais rápidas a processos ambientais dinâmicos.

Houve uma evolução significativa das plataformas de aquisição, desde o óptico multiespectral Landsat 1 até sistemas mais recentes como o *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), que revolucionou a cartografia ao disponibilizar Modelos Digitais de Elevação (MDE) em larga escala (Ferreira *et al.*, 2008), e o *Light Detection and Ranging* (LIDAR), que se destacou pela precisão em estudos de relevo e infraestrutura. Em um surgimento mais recente, as Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP's) ampliaram as possibilidades de monitoramento com sensores de alta resolução, incluindo câmeras multiespectrais e LIDAR, correção posicional via tecnologia RTK e operação em áreas de difícil acesso, sendo amplamente integradas à técnicas de geoprocessamento.

Embora sensores orbitais ofereçam ampla cobertura, as ARP's fornecem elevado nível de detalhe, ideal para mapeamentos localizados. Para Florenzano (2011), a qualidade das informações extraídas por sensoriamento remoto está diretamente relacionada ao grau de detalhamento das tecnologias envolvidas, superando abordagens utilizadas no passado, como o RADAM Brasil ou as missões fotogramétricas tripuladas das décadas de 1960 e 1970. Tecnologias como o *Laser Scanner* embarcado em ARP's têm demonstrado eficácia na construção de modelos tridimensionais e na detecção de alterações morfológicas em falésias, viabilizando o monitoramento multitemporal e a quantificação de processos erosivos (Gigli *et al.*, 2012).

Nesse cenário, o sensoriamento remoto revela-se fundamental para o monitoramento de falésias, especialmente diante da intensificação da ocupação desordenada e da construção de infraestruturas em áreas escarpadas. A artificialização da paisagem por obras de engenharia pode alterar processos hidrodinâmicos naturais, com implicações na intensificação da erosão e na exposição ao risco (Guo *et al.*, 2016). Este trabalho tem como objetivo revisar o uso do sensoriamento remoto em estudos de falésias costeiras, com foco em contextos de alta taxa erosiva e vulnerabilidade de infraestruturas. Os objetivos específicos são: 1) identificar os principais estudos; 2) analisar as metodologias empregadas; 3) avaliar os resultados obtidos; e 4) investigar a aplicação dessas técnicas na identificação e monitoramento de infraestruturas vulneráveis.

METODOLOGIA

Para a elaboração do trabalho aqui apresentado, foi utilizado o método da pesquisa bibliográfica e documental. A pesquisa por artigos seguiu duas estratégias, a consulta em todas as revistas consideradas referência para as áreas de sensoriamento remoto, uso e cobertura da terra e estudo de áreas costeiras (Quadro 1), e a busca em canais de pesquisa sobre produção acadêmica, como o Google Acadêmico (scholar.google.com.br) e o indexador *Scopus* (<https://www.scopus.com/home.uri>).

Quadro 1: Revistas indexadas de estudos costeiros, cobertura e uso da terra e sensoriamento remoto.

Periódico	Link de Acesso	Nº de Artigos
Geomorphology	https://www.journals.elsevier.com/geomorphology	132
International Journal of Remote Sensing	https://www.tandfonline.com/toc/tres20/current	77
Journal of Coastal Conservation	https://www.springer.com/journal/11852	160
Journal of Coastal Research	https://www.jcronline.org	174
Journal of Land Use Science	https://www.tandfonline.com/toc/tlus20/current	118
Land Use Policy	https://www.journals.elsevier.com/land-use-policy	128
Remote Sensing	https://www.mdpi.com/journal/remotesensing	151

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na seleção dos artigos, foram aplicados os seguintes filtros: Data de publicação nos últimos dez anos), idioma inglês e relevância científica. Os termos de busca incluíram "*cliff erosion*", "*coastal erosion*", "*remote sensing*", "*remote sensing with VANT*", "*land use change*", "*coastal infrastructure vulnerability*" e "*coastal management*". Na segunda etapa, para garantir a inclusão de artigos, teses e dissertações de alta relevância, foram consultadas bases de dados indexadoras como *Scopus*, *Research Rabbit* e *Google Scholar*.

Após análise preliminar dos artigos, 60 artigos (revistas e motores de pesquisa) foram selecionados e analisados para a construção da revisão teórica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o decorrer do tempo, o monitoramento das zonas costeiras evoluiu significativamente, utilizando diferentes técnicas que oferecem variados níveis de precisão, resolução e cobertura. Essas técnicas diferenciam-se pela escala espacial, definida pela área total abrangida; resolução espacial, correspondente ao nível de detalhamento das feições mapeadas; escala temporal, relacionada à duração do período analisado; resolução temporal, expressa pela frequência de aquisição dos dados; e acurácia, que reflete o grau de conformidade

entre os dados observados e os valores reais. (Quadro 2). Técnicas tradicionais, contrastam com tecnologias mais modernas, como o satélite Cubesat. Os autores Boak e Turner (2005) dividem os estudos históricos em dois segmentos: um foca em ambientes praianos específicos com alta resolução espaço-temporal, e o outro, em linhas costeiras abrangendo grandes distâncias, com dados temporais mais esparsos.

Quadro 2 - Métodos utilizados no monitoramento costeiro ao longo dos anos.

Método	Escala espacial	Resolução espacial	Escala temporal	Resolução temporal	Acurácia
<i>Drone Structure From Motion</i>	1 - 5 km	± 0,5 m	± 5 anos	Meses/Anos	± 0,5 m
Fotogrametria aérea	± 100 km	± 0,5 m	Décadas	1 – 5 anos	1 – 5 m
<i>Airborne Lidar</i>	± 100 km	± 0,1 m	Décadas	Anos	± 0,5 m
Satélites (<i>Landsat/Sentinel-2</i>)	Global	1 – 30 m	36 anos	Dias/Semanas	± 10 – 15 m
<i>Cubesats</i>	Global	3 m	5 anos	Dias	± 5 m

Fonte: Adaptado de Vitousek (2017).

Imagens orbitais (sensores ativos e passivos) aplicadas ao monitoramento costeiro

O uso de imagens orbitais, tanto de sensores ativos quanto passivos, tem sido essencial para o monitoramento costeiro. Inicialmente, estudos utilizavam imagens ópticas com bandas do infravermelho para mapear variações da linha de costa e processos erosivos (Ford, 2013; Kelly; Gontz, 2019). Os avanços tecnológicos permitiram a diferenciação entre água e solo pela assinatura espectral, aprimorando análises por meio de índices como o NDWI (Gao, 1996). O uso de imagens compostas, que integram diversas captações em uma única imagem, suaviza interferências atmosféricas e eleva a qualidade dos dados espaciais (Luijendijk *et al.*, 2018).

A escala das imagens influencia diretamente no detalhamento das análises, tornando-as de alta resolução e mais eficazes para estudos costeiros (Boggione *et al.*, 2009). No entanto, satélites como o Landsat, com órbita heliossíncrona, levam até 16 dias para revisitar o mesmo ponto, o que limita o monitoramento de mudanças rápidas. Para reduzir esse intervalo, têm sido lançados satélites geoestacionários e constelações, como a RapidEye e os sensores OLI nos Landsat 8 e 9, que diminuem o ciclo de visita para até 8 dias (Emery; Camps, 2017; MIT Technology Review, 2019).

Os sensores ativos, como os *Synthetic-aperture radar* (SAR), emitem sinais de micro-ondas e são eficazes mesmo sob nuvens ou ausência de luz, sendo úteis no monitoramento de umidade do solo, ondas e topografia marinha desde o ERS-1, lançado em 1991 (Kasischke *et al.*, 1997). A constelação Sentinel, da ESA, lançada a partir de 2014, ampliou a resolução e



frequência de imagens, contribuindo significativamente para a análise de eventos costeiros (Torres *et al.*, 2012).

Já os sensores passivos, como os do programa Landsat, capturam a luz refletida pela superfície terrestre. Desde o Landsat 1 (1972), avanços surgiram com o TM (Landsat 4 e 5) e o OLI (Landsat 8), incluindo bandas específicas para monitoramento costeiro e detecção de nuvens (Salovaara *et al.*, 2005; Irons *et al.*, 2012). Sensores hiperespectrais como o Hyperion oferecem alta resolução espectral, útil na análise de vegetação, qualidade da água e expansão urbana (Gao, 1996; Kuenzer *et al.*, 2011). A integração entre dados ópticos, hiperespectrais e SAR permite análises mais precisas das dinâmicas costeiras, ampliando as possibilidades de uma gestão sustentável desses ambientes (Kuenzer *et al.*, 2015).

Aerofotogrametria na faixa do visível ou multiespectral (tripulado e não tripulado)

Com a popularização das ARP's, sistemas aéreos têm se destacado como alternativa eficiente para o monitoramento de áreas específicas. Em comparação com imagens de satélites, esses sistemas produzem dados com melhor *Ground Sample Distance* (GSD), o que melhora o nível de detalhe dos produtos e reduz interferências atmosféricas (Park *et al.*, 2017). As ARP's, apresentam grande eficiência para o sensoriamento remoto, com capacidade de coletar dados em altitudes baixas e operar com sensores personalizáveis, possibilitando o monitoramento preciso de zonas costeiras, especialmente em curto prazo (Nikolakopoulos *et al.*, 2019b; Turner *et al.*, 2016).

As aquisições são realizadas por voos autônomos ou manuais, com sensores capturando fotografias que são armazenadas localmente ou em sistemas de apoio em solo (Kieu; Law, 2021). A facilidade operacional, aliada ao custo reduzido, favoreceu o crescimento do uso de ARP's no sensoriamento remoto (Caroti *et al.*, 2018). Estudos mostram que a combinação entre dados de ARP's e de satélites resulta em mapeamentos de alta precisão, sendo eficazes na detecção de erosões e análise de feições da zona costeira (Nikolakopoulos *et al.*, 2019).

Além da precisão topográfica, as ARP's equipadas com sensores multiespectrais permitem a análise da reflectância da superfície, detectando alterações na vegetação, erosão e degradação de infraestruturas costeiras. Essa capacidade é importante para identificar impactos de processos naturais e ações humanas (Jensen, 2009). A reflectância capturada em diferentes comprimentos de onda permite distinguir elementos como vegetação, solo, água e estruturas urbanas, tornando o monitoramento mais detalhado e preciso.

Estudos pioneiros mostram que o uso de ARP's com sensores hiperespectrais é promissor na avaliação da vulnerabilidade de infraestruturas próximas a falésias, dada a sua alta



capacidade espectral (Fichot *et al.*, 2016). Alguns Modelos 3D obtidos com fotogrametria podem auxiliar na visualização da instabilidade dessas áreas (Dewez *et al.*, 2016). Apesar do avanço, o uso dessa tecnologia ainda é limitado em estudos costeiros, embora a detecção de fissuras e cicatrizes de erosão nas falésias por imagens aéreas represente uma importante ferramenta de análise técnica para prevenção de riscos.

Os novos horizontes do LIDAR em análises costeiras

O LIDAR tem ampliado as possibilidades do sensoriamento remoto costeiro, fornecendo dados de alta precisão sobre topografia e batimetria em áreas litorâneas. Inicialmente utilizado em plataformas terrestres para gerar Modelos Digitais de Elevação (MDE), foi essencial para mapear linhas de costa e habitats costeiros (Brock; Purkis, 2009). Apesar de suas limitações em mobilidade e cobertura, o LIDAR terrestre ainda é valioso para validação de dados obtidos por sensores embarcados. Com a miniaturização dos sensores, o uso de LIDAR em aeronaves e ARP's expandiu-se, garantindo maior cobertura espacial e precisão. O LIDAR batimétrico, por sua vez, passou a permitir a análise da topografia subaquática, viabilizando o monitoramento de recifes, leitos de algas e outras estruturas submersas (Guenther *et al.*, 2000).

A integração do LIDAR com outras tecnologias, como imagens multiespectrais, hiperespectrais e fotografias aéreas, tem enriquecido as análises costeiras. Essa fusão de dados permite a detecção de mudanças na vegetação, análise de sedimentos e acompanhamento de processos como erosão e inundações (Wozencraft; Lillycrop, 2003). Estudos indicam que a combinação de LIDAR com imagens de satélite aumenta significativamente a precisão de modelos preditivos de mudanças ambientais (Luo *et al.*, 2017). A junção de dados provenientes de sensores LIDAR terrestres e embarcados fornece uma visão integrada das dinâmicas geomorfológicas e ecológicas das zonas costeiras (Sallenger *et al.*, 2003).

As perspectivas para o futuro indicam o desenvolvimento de sensores LIDAR mais compactos e acessíveis, ampliando o uso da tecnologia em diferentes escalas de monitoramento. Avanços na automação do processamento de dados e no uso de inteligência artificial também prometem acelerar e refinar as análises, tornando-as mais precisas e eficazes na gestão costeira.

Modelagens 3D e análises volumétricas e de mudanças costeiras

Young *et al.* (2021), afirma que a técnica de *Structure from Motion* (SfM), aplicada com auxílio de ARP's, é um método fotogramétrico que reconstrói modelos 3D a partir de múltiplas imagens 2D capturadas de diferentes ângulos. Os algoritmos identificam pontos em comum entre as imagens e os posicionam no espaço, gerando uma representação tridimensional precisa



do terreno. A SfM tem se mostrado altamente eficaz em paisagens costeiras como dunas e falésias, embora, segundo Ritchie *et al.* (2018), ainda enfrente limitações no pós-processamento, especialmente em ambientes dinâmicos como zonas de maré, o que pode comprometer a taxa de processamento. A integração dessas tecnologias representa um avanço significativo no monitoramento costeiro, inserindo-se na era do *big data* (Liu, 2015).

Ainda que cada técnica possua restrições em termos de escala espacial e temporal, a combinação de métodos amplia a capacidade analítica. Olsen *et al.* (2012) demonstraram que o uso da extensão SIG *Topographical Compartment Analysis Tool* (TopCAT), é capaz de dividir áreas em compartimentos para quantificar mudanças topográficas e volumétricas. Inicialmente desenvolvida por Young e Ashford (2006) em ambiente SIG manual, essa ferramenta tem sido aplicada na análise morfológica de falésias, praias e outras feições como leitos de riachos, margens de rios e dunas costeiras, contribuindo para uma abordagem mais robusta na análise de transformações litorâneas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os avanços em tecnologias de detecção remota transformaram a análise da vulnerabilidade das infraestruturas costeiras ao integrar imagens orbitais, fotogrametria aérea e sistemas baseados em ARP's, permitindo o mapeamento detalhado e a avaliação em tempo real de ambientes dinâmicos para identificar e mitigar riscos. O desenvolvimento contínuo e a sinergia dessas tecnologias prometem aprimorar a precisão e a eficiência dos monitoramentos, promovendo uma gestão sustentável das regiões litorâneas por meio da criação de sistemas inovadores, escaláveis e unificadores entre modeladores e observadores. Embora os modelos morfodinâmicos e a coleta de dados *in situ* continuem essenciais para compreender os processos costeiros, a eficácia da avaliação e previsão da vulnerabilidade dependerá da integração eficiente das observações operacionais por satélite e de ARP's, abrindo uma nova era de colaboração no campo da Geografia Física costeira e na resposta dos elementos costeiros à intervenção humana.

REFERÊNCIAS

BOAK, Elizabeth H.; TURNER, Ian L. Shoreline definition and detection: a review. **Journal of coastal research**, v. 21, n. 4, p. 688-703, 2005. DOI: <https://doi.org/10.2112/03-0071.1>



BOGGIONE, G. de A. et al. Definição da escala em imagens de sensoriamento remoto: uma abordagem alternativa. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil**, p. 25-30, 2009.

BROCK, John C.; PURKIS, Samuel J. The emerging role of lidar remote sensing in coastal research and resource management. **Journal of Coastal Research**, n. 10053, p. 1-5, 2009. DOI: <https://doi.org/10.2112/SI53-001.1>

CAROTI, Gabriella; PIEMONTE, Andrea; PIERACCI, Yari. Low-altitude UAV-borne remote sensing in dunes environment: shoreline monitoring and coastal resilience. In: **Computational Science and Its Applications–ICCSA 2018: 18th International Conference, Melbourne, VIC, Australia, July 2-5, 2018, Proceedings, Part V 18**. Springer International Publishing, 2018. p. 281-293. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-95174-4_23

DEWEZ, T. J. B.; LEROUX, Jérôme; MORELLI, Stéphane. Cliff collapse hazard from repeated multicopter UAV acquisitions: return on experience. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 41, p. 805-811, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLI-B5-805-2016>, 2016

EMERY, William; CAMPS, Adriano. Introduction to satellite remote sensing: atmosphere, ocean, land and cryosphere applications. **Elsevier**, 2017.

FICHOT, Cédric G. et al. High-resolution remote sensing of water quality in the San Francisco Bay–Delta Estuary. **Environmental Science & Technology**, v. 50, n. 2, p. 573-583, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b03518>

FORD, Murray. Shoreline changes interpreted from multi-temporal aerial photographs and high resolution satellite images: Wotje Atoll, Marshall Islands. **Remote Sensing of Environment**, v. 135, p. 130-140, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.03.027>

FLORENZANO, Teresa Gallotti. Iniciação em sensoriamento remoto. **Oficina de textos**, 2007.

GAO, Bo-Cai. NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote sensing of environment**, v. 58, n. 3, p. 257-266, 1996. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3)

GIGLI, Giovanni et al. Instability mechanisms affecting cultural heritage sites in the Maltese Archipelago. **Natural hazards and earth system sciences**, v. 12, n. 6, p. 1883-1903, 2012.

GUENTHER, Gary C. et al. Meeting the accuracy challenge in airborne lidar bathymetry. **EARSel, Dresden**, 2000.

GUO, Qiandong et al. A comparative study of coastline changes at Tampa Bay and Xiangshan Harbor during the last 30 years. In: **2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)**. Ieee, 2016. p. 5185-5188. DOI: [10.1109/IGARSS.2016.7730351](https://doi.org/10.1109/IGARSS.2016.7730351).



IRONS, James R.; DWYER, John L.; BARS, Julia A. The next Landsat satellite: The Landsat data continuity mission. **Remote sensing of environment**, v. 122, p. 11-21, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.08.026>

JENSEN, John R. Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. 2.ed. São José dos Campos: **Parêntese**, 2009. 598 p.

KASISCHKE, Eric S.; MELACK, John M.; DOBSON, M. Craig. The use of imaging radars for ecological applications—A review. **Remote sensing of environment**, v. 59, n. 2, p. 141-156, 1997.

KELLY, Joshua T.; GONTZ, Allen M. Rapid assessment of shoreline changes induced by Tropical Cyclone Oma using CubeSat imagery in southeast Queensland, Australia. **Journal of Coastal Research**, v. 36, n. 1, p. 72-87, 2020. DOI: <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-19-00055.1>

KIEU, Hieu Trung; LAW, Adrian Wing-Keung. Remote sensing of coastal hydro-environment with portable unmanned aerial vehicles (pUAVs) a state-of-the-art review. **Journal of Hydro-environment Research**, v. 37, p. 32-45, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jher.2021.04.003>

KUENZER, Claudia et al. Remote sensing of mangrove ecosystems: A review. **Remote Sensing**, v. 3, n. 5, p. 878-928, 2011. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs3050878>

KUENZER, Claudia et al. Flood mapping and flood dynamics of the Mekong Delta: ENVISAT-ASAR-WSM based time series analyses. **Remote Sensing**, v. 5, n. 2, p. 687-715, 2013. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs5020687>

LIU, Peng. A survey of remote-sensing big data. **frontiers in Environmental Science**, v. 3, p. 45, 2015.

LUIJENDIJK, Arjen et al. The state of the world's beaches. **Scientific reports**, v. 8, n. 1, p. 1-11, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-24630-6>

LUO, Renbo et al. Fusion of hyperspectral and LiDAR data for classification of cloud-shadow mixed remote sensed scene. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v. 10, n. 8, p. 3768-3781, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2017.2684085>

NIKOLAKOPOULOS, Konstantinos G. et al. New perspectives in coastal monitoring. In: **Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications X**. SPIE, 2019. p. 1115602. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.2533163>

OLSEN, Michael J.; YOUNG, Adam P.; ASHFORD, Scott A. TopCAT—Topographical Compartment Analysis Tool to analyze seacliff and beach change in GIS. **Computers & Geosciences**, v. 45, p. 284-292, 2012.

PARK, Suyoung et al. Adaptive estimation of crop water stress in nectarine and peach orchards using high-resolution imagery from an unmanned aerial vehicle (UAV). **Remote Sensing**, v. 9, n. 8, p. 828, 2017.



RITCHIE, Andrew C. et al. Morphodynamic evolution following sediment release from the world's largest dam removal. **Scientific reports**, v. 8, n. 1, p. 13279, 2018.

SALLENGER JR, A. H. et al. Evaluation of airborne topographic lidar for quantifying beach changes. **Journal of Coastal Research**, p. 125-133, 2003. DOI: <https://www.jstor.org/stable/4299152>

SALOVAARA, Kati J. et al. Classification of Amazonian primary rain forest vegetation using Landsat ETM+ satellite imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 97, n. 1, p. 39-51, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.04.013>

TORRES, Ramon et al. GMES Sentinel-1 mission. **Remote sensing of environment**, v. 120, p. 9-24, 2012.

TURNER, Ian L.; HARLEY, Mitchell D.; DRUMMOND, Christopher D. UAVs for coastal surveying. **Coastal Engineering**, v. 114, p. 19-24, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2016.03.011>

WOZENCRAFT, Jennifer M.; LILLYCROP, W. Jeff. SHOALS airborne coastal mapping: Past, present, and future. **Journal of Coastal Research**, p. 207-215, 2003. DOI: <https://www.jstor.org/stable/25736607>

YOUNG, Adam P.; ASHFORD, Scott A. Application of airborne LIDAR for seacliff volumetric change and beach-sediment budget contributions. **Journal of Coastal Research**, v. 22, n. 2, p. 307-318, 2006.

YOUNG, A. P. et al. Three years of weekly observations of coastal cliff erosion by waves and rainfall. **Geomorphology**, v. 375, p. 107545, 2021.

