



Interação morfodinâmica entre praia e dunas frontais ao longo do arco praial da praia do Perú (RJ)

Guilherme Borges Fernandez ¹
Fernanda Saleme ²
Pablo Sergio Marques Simões ³
Abilio Soares Gomes ⁴
Thiago Gonçalves Pereira ⁵
Ivandro Patrick de Oliveira Coutinho ⁶

RESUMO

Existe uma interrelação morfodinâmica importante envolvendo processos costeiros envolvendo a distribuição da energia das ondas e direção preferencial dos ventos, que determinam, em parte, a variabilidade morfológica observada nas dunas frontais e praias. As dunas frontais também vão responder, em termos de acúmulo sedimentar, às condições de densidade vegetacional, que envolvem dunas embrionárias e estabelecidas. Não raramente, caso estas dunas estejam submetidas a atividades recreativas, muitas vezes existe pressão sobre a vegetação, no sentido de se inibir os naturais processos de sucessão ecológica, em função de pisoteio ou caminhos erráticos de acesso a área de concentração de balneabilidade da praia. Neste sentido, o entendimento da morfodinâmica envolvendo a praia, dunas frontais e padrões de vegetação, em comparação com áreas mais ou menos pressionadas podem ser fundamentais para o maior disciplinamento da ocupação da zona costeira. Assim, este trabalho teve por objetivo analisar a distribuição de diferentes padrões morfológicos de dunas frontais ao longo da praia do Perú (RJ), em comparação com aspectos relativos da vegetação, de forma a se identificar especificidades morfológicas ligadas a ação de ondas e ventos. Além da morfologia foram analisados dados em relação a pressão de atividades de acesso a praia sobre a vegetação. Neste sentido, foram realizados voos com drones, com a marcação de pontos de apoio topográfico, com auxílio de GPS geodésico para o desenvolvimento de blocos morfológicos tridimensionais. Tais blocos foram gerados em gabinete por técnicas de Structure from Motion (SfM), de forma a se representar padrões morfológicos associados às ondas e ventos. A distribuição da vegetação ao longo da praia do Perú foi feita sobre as imagens provenientes do Programa espacial Copernicus, que disponibiliza imagens óticas, através do Sentinel-2A (Sentinel-2A, 2015), com 13 faixas do espectro eletromagnético, indo do Coastal Blue até bandas termais. Os resultados morfológicos mostraram que existe uma contínua faixa de escarpa erosiva ao longo do arco praial, interpretada pela ação sistemática de ondas de tempestade, determinando a quase inexistência de vegetação sobre dunas frontais incipientes. Nas áreas mais distais da praia foram identificados diferentes padrões de cortes eólicos, com formato recurvados, ou mesmo semicircular, como resultantes de ventos soprando do oceano em direção ao continente, de maneira transversal ou mesmo descendentes. A área de ocorrência dos cortes eólicos foi coincidente com áreas de maior pressão antrópica sobre

¹Professor do Instituto de Geociências da Universidade Federal Fluminense - RJ, guilhermefernandez@id.uff.br;

²Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra (DOT) da Universidade Federal Fluminense – RJ. fernandasaleme@id.uff.br;

³Graduando em Geografia da Universidade Federal Fluminense – RJ, pablosimoes@id.uff.br;

⁴Professor do Programa de Pós-Graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra (DOT) da Universidade Federal Fluminense – RJ, abiliosg@id.uff.br;

⁵Professor do Departamento de Geografia da Universidade Estadual do Rio de Janeiro – RJ, thiagopereiraurj@gmail.com.

⁶Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra (DOT) da Universidade Federal Fluminense – RJ, ipatrick@id.uff.br;



a vegetação. Notou-se que a vegetação sobre as dunas frontais, de fato, é bastante afetada pela área de maior acessibilidade a praia. Por outro lado, existem diferenças significativas entre o padrão observado ao norte envolvendo áreas não vegetadas e vegetadas, em comparação ao sul do arco, o que sugere que o trecho mais ao norte é mais fortemente impactado pela direção preferencial dos ventos predominantes na região. Assim, a vegetação assume um papel importante na fixação de sedimentos e proteção do litoral em relação a ação de ondas e ventos, assim como determina a possibilidade de desenvolvimento de cortes eólicos.

Palavras-chave: Morfodinâmica costeira, distribuição vegetacional, cortes eólicos, escarpas erosivas, sensoriamento remoto.

INTRODUÇÃO

Dunas frontais se desenvolvem a retaguarda das praias arenosas, em que a vegetação exerce o papel fundamental para a fixação de sedimentos ao longo da linha de costa, de forma a desenvolver geomorfologicamente uma feição destacada na zona costeira (e.g. Hesp, 2002). Assumindo que as praias são feições que tem sua morfologia sensivelmente alterada por aspectos hidrodinâmicos, as dunas frontais por outro lado podem ser associadas a uma combinação entre a ação eólica, a ação das ondas e a sucessão ecológica da vegetação no trecho mais proximal à costa. Desta forma, o desenvolvimento morfodinâmico envolvendo dunas costeiras adjacentes às praias são determinadas por uma combinação de processos biofísicos, que envolvem a ação hidrodinâmica associada às ondas, remobilizando materiais na zona de surfe e antepraia até a parte subaérea da praia, e posterior remoção em direção ao continente, com a fixação de sedimentos no pós-praia, em função da vegetação (e.g. Delgado-Fernandez, 2010; Hesp, 2002; Moulton et al., 2021; Walker et al., 2009).

Mais especificamente nas análises realizadas por exemplo por Davidson et al. (2020); Miot da Silva e Hesp (2010); Walker (2020) e Walker et al. (2017) demonstram que a morfodinâmica envolvendo praias e dunas adjacentes são interdependentes, em função dos fatores aerodinâmicos e hidrodinâmicos, decompostos em distintas escalas de tempo, ou seja, muitas vezes os processos que ocorrem nas praias, são sensivelmente mais rápidos daqueles que ocorrem por exemplo nas dunas, sendo necessários esforços para se analisar a ação combinada entre praias e dunas, principalmente no que tange às características morfológicas de detalhe das dunas frontais, e sua relação com a vegetação.

A determinação da cobertura vegetal em áreas extensas deve ser verificada utilizando sensoriamento remoto. A utilização de imagens de satélites em conjunto com LIDAR, fotografias aéreas históricas ou mesmo fotografias digitais obtidas por drones tem sido frequentemente utilizada para se avaliar mudanças na vegetação e de padrões



morfológicos em dunas frontais (e.g. Moulton et al. 2019; Yousefi Lalim et al, 2017; Keijers et al, 2015). Neste sentido o principal objetivo deste trabalho foi analisar a distribuição de diferentes padrões morfológicos de dunas frontais ao longo da praia do Però (RJ), em comparação com aspectos relativos da vegetação, de forma a se identificar especificidades morfológicas ligadas a ação de ondas e ventos. A praia do Però esta localizada no litoral entre o Cabo Frio e o Cabo Búzios, sendo submetida a ventos constantes de tempo bom direcionados pelos quadrantes Este e Nordeste, derivados de anticiclone da Alta Pressão do Atlântico Sul. Em tais condições, estes ventos sopram na direção mar para aterra favorecendo o desenvolvimento de dunas frontais na praia do Però (Moulton et al, 2013).

METODOLOGIA

A determinação da destruição da vegetação ao longo da praia do Però foi feita sobre as imagens provenientes do Programa espacial Copernicus, que disponibiliza imagens óticas, através do Sentinel-2A (Sentinel-2A, 2015), com 13 faixas do espectro eletromagnético, indo do Coastal Blue até bandas termais. A resolução espacial da biblioteca de imagens Sentinel é de cerca de 10 metros, levando em consideração a banda pancromática, que não seria o ideal para a análise proposta. Neste sentido, a opção foi utilizar o S2DR3, Sentinel-2 Deep Resolution 3.0, proposto por Yosef Akhtman (2023), onde através de uma “ANN architecture”, com blocos residuais densos, foi possível treinar um algoritmo que, em um processo parecido com a antiga fusão de bandas, que melhorou a resolução espacial para 1 metro. É importante destacar que em muitos casos os valores de refletância podem sofrer algum tipo de impacto, o que não é ideal para gerar índices ou cálculos de bandas, porém como estamos trabalhando com alvos com assinaturas espectrais bem diversificada, não houve degradação efetiva no classificador.

Para fazer a classificação, e separação, das duas classes, vegetação e outros, foi utilizado um algoritmo de machine learning, o Random Forest (Breiman, 2001), onde através de um banco de dados de amostras, cerca de 100 pontos especializados através da praia do Però, coletadas em diversas campanhas de campo foi possível treinar o classificador que performou muito bem. O número de árvores de decisão utilizadas foram 300, e a linguagem utilizada foi o Javascript através da plataforma do Google Earth Engine (Gorelick, 2017), além de calcularmos índices como o NDVI (Rouse et al, 1974),



NDWI (McFeeters, 1996), BUI (Chuvieco et al, 2002) e SAVI (Huete, 1988) que foram adicionados como bandas para tornar o classificador mais assertivo.

Posteriormente, com as imagens de 2019 e 2024, classificadas os resultados, rasters classificados, foram levados ao ArcGis 10.8 onde foram transformadas em Shapefiles, assim sendo possível classificar a área total de cada uma das classes. Como a intenção é fazer uma análise comparativa com diversas parcelas de toda a extensão da área de estudos foi gerado um Grid, através da ferramenta “Generate FishNet”, os parâmetros foram 400 linhas e 1 única coluna, gerando assim um espaçamento de 7 em 7 metros, que receberam, e um centroide, com pares de coordenadas.

Por fim, bastou utilizar a ferramenta “Clip” para recortar o shape classificado a partir do grid gerado, e após isso utilizar o “Intersect” para agregar os pares de coordenadas ao shape classificado. Então, foi exportada a tabela de atributos para Excel onde foi realizado um cálculo simples de porcentagem para cada parcela do local de trabalho. Com isso, bastou gerar os gráficos para os anos de análise especializando-os através dos pares de coordenadas, definidos anteriormente.

Os dados morfológicos foram diretamente interpretados em produtos tridimensionais obtidos pela espacialização das altitudes na superfície, em trechos específicos distribuídos na planície costeira do Perú a partir de dados de fotografias aéreas digitais obtidas por drones e técnicas de Strucutre from Mortion (SfM).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados foram expressos em três áreas distintas distribuídas ao longo da praia do Perú (Figura 1). O trecho **A** representando a parte mais ao norte do arco praial, com ocupação rarefeita em função de poucas edificações e estradas de circulação diretamente sobre o substrato, utilizada fundamentalmente para recreação por carros tracionados ou passeios a cavalo. O trecho central, identificado pela letra **B**, é a área de maior acessibilidade recreativa do arco, com estacionamento e diversas trilhas de travessias sobre dunas frontais. O trecho mais meridional, representado pela letra **C**, que é o trecho mais protegido da praia por estar distante da área de acesso a praia, assim como está mais próximo a maciços costeiros identificados no mapeamento de Fernandez et al (2017).

No trecho mais ao norte as inversões envolvendo as áreas mais vegetadas e as áreas expostas devem ser interpretadas pela ocorrência de cortes eólicos. Muehe et al (2015) documentou a ocorrência de cortes eólicos se desenvolvendo em função do



aprofundamento topográfico em perfis de praia naquele trecho, quando monitorados por aproximadamente 5 anos de levantamentos. Nos dados obtidos por drones na área **A** (Figura 2) foram identificados cortes eólicos, que tem sua face de evolução voltada para a planícies, indicando que os ventos preferenciais de NE seriam os responsáveis pelo desenvolvimento desta feição. Também pela MDS gerado com as imagens digitais nota-se a formação de uma escarpa erosiva contínua, desenvolvida sobre dunas frontais incipientes. Estas escarpas estão associadas a eventos de ressacas que atingem a área, conforme identificado por Fernandez et al (2015) e Bulhões et al (2014).

No trecho **B** as áreas aumentam sensivelmente, com os maiores percentuais de áreas expostas. Estas áreas expostas refletem o pisoteio da vegetação em função da maior circulação de banhistas neste trecho do arco. É difícil de afirmar, mas é possível que a maior circulação de banhistas, com a presença de cortes eólicos na parte mais central do arco, tenham criado as condições para que estes cortes estejam mais bem desenvolvidos do que aqueles verificados mais ao norte, conforme a Figura 2. No reverso das dunas frontais ainda é possível de se notar a ocorrência de dunas frontais complexas, ou seja, com diferentes faces de avalanche, que foram apenas definidas por Fernandez et al (2017) como parabólicas, sem o detalhamento possibilitado pelas imagens com drones.

No trecho **C** houve o maior percentual de vegetação em relação a área exposta. Tal fato se deve a maior proteção do arco praial às ondas de tempestade, conforme estudos realizados por Fernandez et al (2015) e Bulhões et al (2014), que identificaram que a projeção de promontórios rochosos ao sul do arco, teriam um papel importante em relação a proteção deste trecho em relação a maior energia das ondas. É possível que a proximidade dos maciços costeiros presentes no sul do arco possam ser um elemento de conexão vegetacional entre as áreas mais interiorizadas e dunas frontais, favorecendo o maior adensamento da vegetação. O maior percentual da vegetação também pode ser resultado de maior dificuldade de acesso de banhistas a este trecho, uma vez que o adensamento urbano na praia do Perú se concentra no extremo sul do arco, de maneira que as ausências de estruturas de apoio à população inibam a permanência nesta parte da praia.

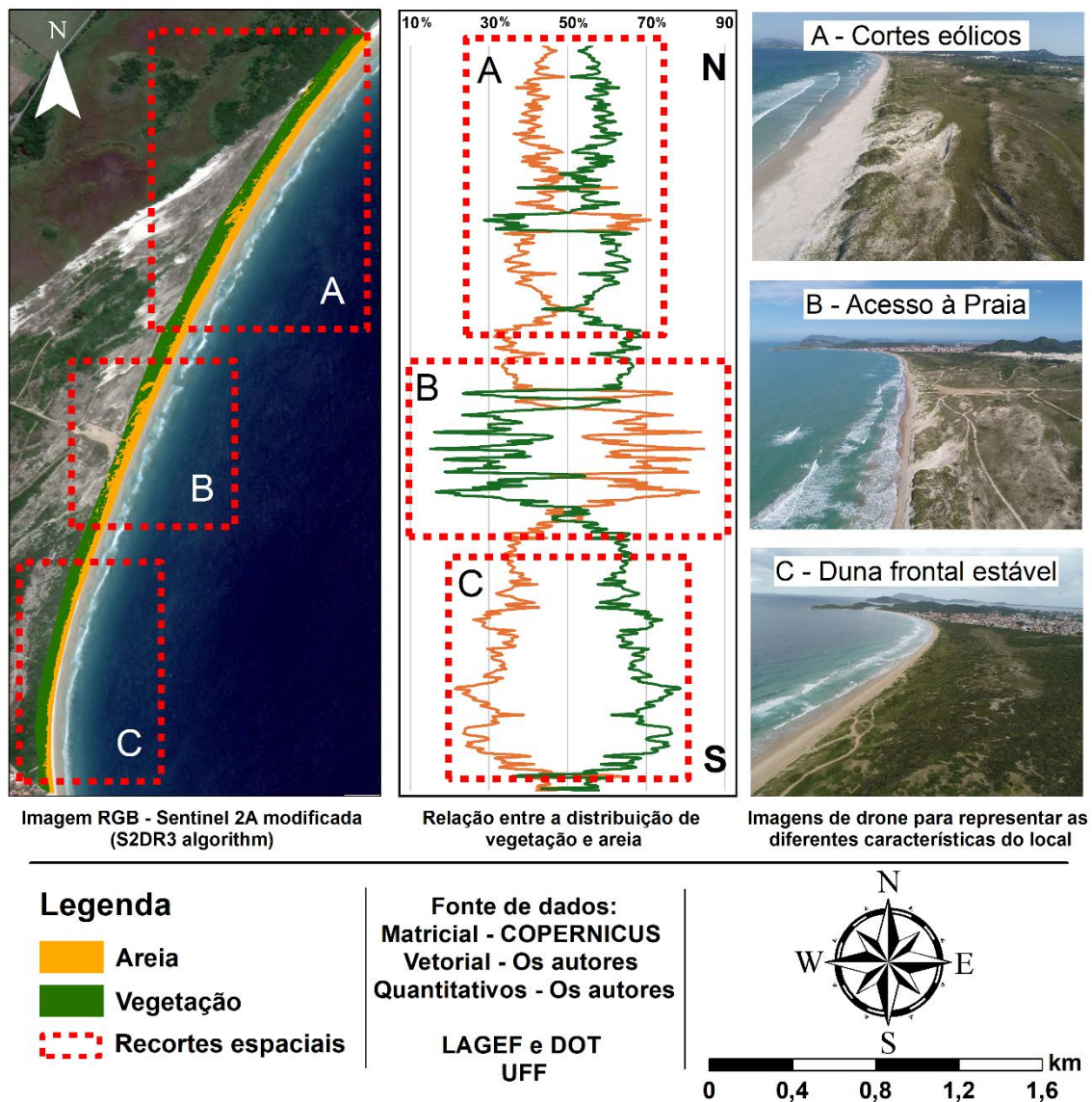


Figura 1. Distribuição dos percentuais de vegetação ao longo da praia do Perú. Em **A** Nota-se que apesar da maior proporção de vegetação no trecho, existem pontualmente inversões entre a vegetação e a área exposta, como resultado da ocorrência de cortes eólicos. Em **B** existe franco o maior percentual de áreas expostas, determinadas pela maior acessibilidade da praia e pisoteio nesta área. Em **C** é evidente o predomínio das áreas mais vegetadas, em função de ser o trecho mais protegido da praia.

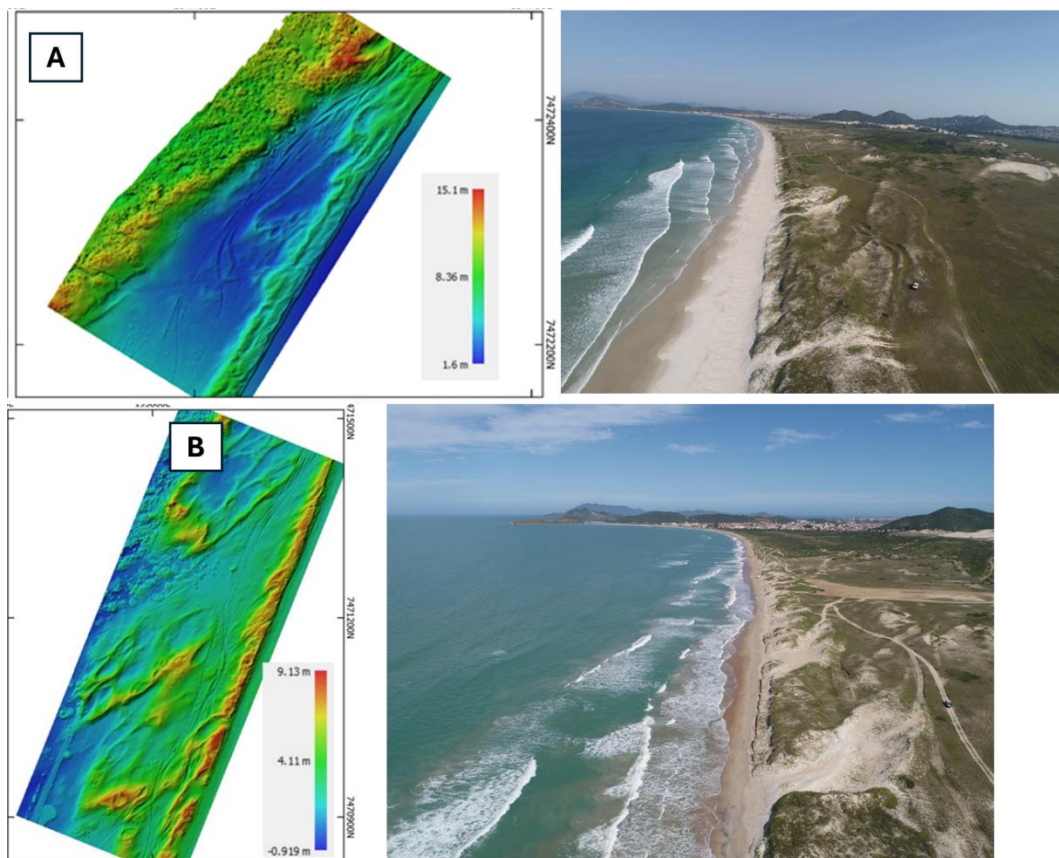


Figura 2. Modelos Digitais de Superfície (MDS) obtidos por drones nas áreas A e B. Na área **A** é possível se verificar a ocorrência de cortes eólicos desenvolvidos a partir da praia, assim como o desenvolvimento de uma escarpa erosiva contínua. Na área **B** mostra a ocorrência de cortes eólicos mais desenvolvidos, também conectados à praia.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O arco praial do Perú apresenta uma distribuição heterogênea da vegetação ao longo do arco. O trecho setentrional apresentou cortes eólicos intercalados com trechos mais vegetados, que refletem a ação eólica e ao mesmo tempo a capacidade da vegetação permanecer em sucessão. Na parte central, área em que a praia é mais pressionada pelo acesso da população, nota-se que a vegetação é mais rarefeita. No trecho meridional há um predomínio da vegetação, com a ausência de corte eólicos.

A utilização de imagens de satélite é uma ferramenta importante para a avaliação da distribuição vegetacional. Quando analisadas com imagens de maior definição, como as fotografias digitais obtidas por drones, as análises morfológicas, comparativas com a



distribuição da vegetação, reforçam as possibilidades de verificação da interação entre aspectos bióticos e abióticos.

AGRADECIMENTOS

GBF e ABSG agradecem ao CNPq pela bolsa de produtividade. FS e IPC são bolsistas de doutorado, respectivamente da CAPES e CNPq no Programa de Pós-graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra (DOT) da UFF. PS é bolsista do CNPq de Iniciação Científica.

REFERÊNCIAS

BREIMAN, Leo. Random forests. **Machine Learning**, v. 45, n. 1, p. 5-32, 2001. DOI: 10.1023/A:1010933404324.

BULHOES, E; FERNANDEZ, Guilherme Borges; OLIVEIRA FILHO, S. R.; PEREIRA, T. G.; ROCHA, T. B. Impactos costeiros induzidos por ondas de tempestades entre o cabo Búzios e o cabo Frio, RJ **Quaternary and Environmental Geosciences**. v.5, p.154 - 165, 2014.

CHUVIECO, E.; MARTÍN, M. P.; PALACIOS, V. The Burnt Area Index (BAI) for the remote sensing of fire-affected areas. **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n. 4, p. 773-782, 2002. DOI: 10.1080/01431160110113057.

GORELICK, N.; HANCHER, M.; DIXON, M.; ILYUSHCHENKO, S.; THAU, D.; MOORE, R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote Sensing of Environment**, v. 202, p. 18-27, 2017. DOI: 10.1016/j.rse.2017.06.031.

FERNANDEZ, Guilherme Borges; MALUF, V.B.; BULHÕES, Eduardo Manuel Rosa; ROCHA, Thais Baptista da; PEREIRA, Thiago Gonçalves; OLIVEIRA FILHO, S. R.. Impactos Morfológicos e Resiliência das Praias do Litoral do Rio de Janeiro: Referência Especial à Morfodinâmica Praial In: **Ressacas do Mar / Temporais e Gestão Costeira**, ed.1. FORTALEZA: PREMIUS, 2015, v.1, p. 279 - 331.

FERNANDEZ, G. B., PEREIRA, T. G., ROCHA, T. B., MALUF, V., MOULTON, M., & OLIVEIRA FILHO, S. R. de. Classificação morfológica das dunas costeiras entre o cabo Frio e o cabo Búzios, litoral do Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira De Geomorfologia**, 18(3). 2017. <https://doi.org/10.20502/rbg.v18i3.862>

KEIJSERS, J.G.S.; DeGROOT, A.V. RIKSEN, M.J.P.M. Vegetation and sedimentation on coastal foredunes. **Geomorphology** (228) 1, 723-734. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.10.027>.



HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v. 25, n. 3, p. 295-309, 1988. DOI: 10.1016/0034-4257(88)90106-X.

MCFEETERS, S. K. The use of the normalized difference water index (NDWI) in the delineation of water features. **International Journal of Remote Sensing**, v. 17, n. 7, p. 1425-1432, 1996. DOI: 10.1080/01431169608948714.

MOULTON, M.A.B., HESP, P.A., MIOT DA SILVA, G., KEANE, R., FERNANDEZ, G.B. Surfzone-beach-dune interactions along a variable low wave energy dissipative beach. **Marine Geology** 435. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2021.106438>

MOULTON, M., OLIVEIRA FILHO, S.R., ROCHA, T.B., FERNANDEZ, G.B., 2013. Foredunes of Rio de Janeiro coast: Genesis, structure and morphology. *Journal of Coastal Research*. <https://doi.org/10.2112/SI65-223>

MUEHE, D. C. E. H., LINS-DE-BARROS, F., OLIVEIRA, J. F. de, & KLUMB-OLIVERIRA, L. Pulsos erosivos e resposta morfodinâmica associada a eventos extremos na costa leste do estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 16(3). 2015. <https://doi.org/10.20502/rbg.v16i3.728>

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. **Third ERTS Symposium**, v. 1, p. 309-317, 1974.

SENTINEL-2A TEAM. *Sentinel-2A: Mission Overview and Data Products*. 2015. Agência Espacial Europeia. Disponível em: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/home>. Acesso em: 31 mar. 2025.

YOSEF AKHTMAN, S2DR3: Effective 10-Band 10x Single Image Super-Resolution for Sentinel-2. Medium: https://medium.com/@ya_71389/c71a601a2253

YOUSEFI LALIMI, F., S. SILVESTRI, L. J. MOORE, and M. MARANI (2017), Coupled topographic and vegetation patterns in coastal dunes: Remote sensing observations and ecomorphodynamic implications, **J. Geophys. Res. Biogeosci.**, 122, 119–130, doi:[10.1002/2016JG003540](https://doi.org/10.1002/2016JG003540).

