

# Estudo da dinâmica recente no litoral norte de Portugal com recurso a veículos aéreos não tripulados e fotogrametria

## Study of recent dynamics in the northern coast of Portugal with unmanned aerial vehicles and photogrammetry

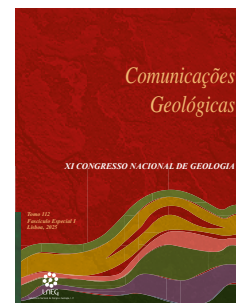
R. Henriques<sup>1\*</sup>, N. Chikhradze<sup>2</sup>, J. Correia<sup>1</sup>, P. Gomes<sup>1</sup>, M. Gomes<sup>3</sup>, C. Gonçalves<sup>1</sup>, J. Maia<sup>1</sup>, P. Peixoto<sup>1</sup>, J. Silva<sup>1</sup>, P. Pereira<sup>1</sup>

DOI: <https://doi.org/10.34637/m0r0-j950>

Recebido em 10/10/2023 / Aceite em 19/02/2024

Publicado online em abril de 2025

© 2025 LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia IP



Artigo original  
Original article

**Resumo:** Um conhecimento detalhado e atualizado da morfodinâmica local é fundamental para apoiar as decisões e iniciativas de gestão costeira na costa arenosa atlântica do Norte de Portugal. Nos últimos anos foram realizados levantamentos fotográficos de alta precisão com recurso a veículos aéreos não tripulados. As imagens foram processadas e foram produzidos Modelos Digitais de Superfície (MDS) e ortomosaicos de grande resolução utilizando software de fotogrametria. Os procedimentos de medição e a comparação entre séries de dados temporalmente diferenciadas permitiram estabelecer tendências de evolução geomorfológica em diferentes sectores e foi possível, para alguns casos, quantificar a quantidade de sedimentos deslocados e determinar as causas dos episódios erosivos ou de deposição. Os resultados obtidos mostram que a utilização destas ferramentas de baixo custo e elevada precisão é uma excelente opção para apoiar as decisões na gestão das áreas costeiras.

**Palavras-chave:** deteção remota, morfodinâmica costeira, praias arenosas, monitorização.

**Abstract:** A detailed and updated knowledge of local morphodynamics is key to support coastal management decisions and initiatives in the Atlantic sandy coast of Northern Portugal. In recent years frequent high precision photographic surveys have been carried out using unmanned aerial vehicles. The images were processed and high-resolution DSM and orthomosaics were produced using photogrammetry software. Measurement procedures and comparison between multitemporal data series allowed establishing trends of geomorphological evolution in different sectors and it was possible, for some cases, to quantify the amount of displaced sediment and to determine causes for erosive or deposition episodes. The results obtained show that the use of these low cost and high accuracy tools is an excellent option to support decisions in the management of coastal areas.

**Keywords:** remote sensing, coastal morphodynamics, sandy beaches, monitoring.

### 1. Introdução

O conhecimento detalhado da morfodinâmica costeira é fundamental em áreas fortemente ocupadas com atividades humanas e propensas a variações rápidas na dinâmica sedimentar. É o caso dos sectores de costa predominantemente baixa e arenosa, no litoral norte de Portugal Continental, pelo que o conhecimento das características morfológicas e sedimentares e a monitorização da morfodinâmica local são fundamentais para apoiar decisões e iniciativas de gestão costeira.

Só será possível identificar, compreender e interpretar possíveis mudanças se houver profundo conhecimento dos processos envolvidos neste fenómeno e a capacidade para medir com precisão indicadores de mobilidade costeira e assim quantificar as mudanças registadas. Uma monitorização baseada em medição da mobilidade de indicadores de dinâmica costeira é importante para: identificar, quantificar e compreender os fatores de dinâmica costeira; determinar a duração de atuação dos processos; determinar a extensão geográfica da influência de determinados processos; estabelecer relações com fatores climáticos e meteorológicos; tentar prever a evolução; prestar apoio a operações de planeamento e ordenamento; avaliar os impactos positivos e negativos das operações decorrentes do planeamento e do ordenamento (Henriques, 2006).

Para além da informação de base necessária à monitorização (cartografia, fotografia aérea, levantamentos topográficos, artigos, relatórios históricos, dados de ondulação, dados meteorológicos, dados relativos à construção de obras, à extração de areias, etc.), é importante estabelecer um programa de monitorização contínua que vá de encontro às diferentes características de cada sector costeiro, que deverá incluir medições contínuas das marés e ondulação, observações de campo mensais das transformações operadas, obtenção de um conjunto de perfis topográficos em cada estação do ano, um levantamento anual de fotografia aérea e um levantamento batimétrico com uma frequência de dois a cinco anos, ou seja, um conjunto vasto de observações baseadas em diversas metodologias.

O desenvolvimento tecnológico nas últimas décadas, para além da melhoria da qualidade de vida, fez também aumentar a quantidade e a qualidade das ferramentas utilizadas na monitorização costeira, podendo envolver o recurso a dispositivos de monitorização capazes de produzir dados de grande qualidade. A título de exemplo é possível destacar técnicas de obtenção de fotografia aérea e de altimetria com recurso ao LiDAR (Light Detection and Ranging) (Hogan e Rosenberg, 1985; Mitasova *et al.*, 2014; Lin *et al.*, 2019), a deteção remota através

<sup>1</sup> Instituto de Ciências da Terra, Polo da Universidade do Minho, Braga, Portugal.

<sup>2</sup> Department of Geomorphology and Geoecology, Vakhushti Bagrationi Institute of Geography, Tbilisi, Georgia.

<sup>3</sup> Centro de Recursos Naturais e Ambiente, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal.

\* Autor correspondente / Corresponding author: rhenriques@dct.uminho.pt

de fotografia aérea obtida por VANT (veículos aéreos não tripulados) (Gonçalves e Henriques, 2015) e de satélite (Weng, 2002; Lillesand *et al.*, 2014). O uso de GPS (Global Positioning System) pode também fornecer dados rigorosos através da técnica RTK (Real Time Kinematics - Cinemática em Tempo Real), o que permite assim efetuar medições e perfis topográficos com elevado rigor para a ortoretificação e georreferenciação dos modelos tridimensionais criados a partir de fotogrametria (Gonçalves e Henriques, 2015). Outras técnicas de monitorização tais como sistemas de vídeo-monitorização como o sistema ARGUS (Holman *et al.*, 1993), levantamentos batimétricos com recurso a Sonar e GPS diferencial (DGPS) (Bio *et al.*, 2015) e Sistemas de Informação Geográfica (SIG) permitem agregar tipos de informação distinta, a qual pode ser georreferenciada ou não, e auxiliam em diversos trabalhos de monitorização (Pan, 2005; Huisman e de By, 2009; Gonçalves e Henriques, 2015).

No sentido de se constituir uma base de dados da evolução recente do litoral norte de Portugal e de se testarem técnicas e metodologias de monitorização e de deteção remota de elevada precisão e baixo custo, nos últimos anos vários trabalhos de investigação têm sido desenvolvidos nas praias de Camarido e Moledo (Caminha), Afife, Arda, Cabedelo e Amorosa (Viana do Castelo), Belinho, Fieiro Alto, Cepães, Ofir, Bonança e Ramalha (Esposende) e Aguçadoura (Póvoa de Varzim) (Peixoto, 2017; Gomes, 2018a, 2018b; Correia, 2020; Maia, 2021; Gonçalves, 2022; Silva, 2022).

## 2. Materiais e métodos

A metodologia dos trabalhos desenvolvidos assenta em levantamentos fotográficos intervalados de sectores de praia com recurso a VANT (Figura 1). Para o efeito, foram utilizados os equipamentos DJI Phantom 4 RTK e Mavic 2 Pro (modificado com adaptação a RTK/PPK). No sentido de se obter a melhor resolução possível na aquisição de dados, os levantamentos decorreram com colheita de pontos de controlo no solo com recurso a um dispositivo de posicionamento global por satélite (GNSS) com correção diferencial RTK. Estes pontos serviram para ortoretificar os ortomosaicos e os modelos digitais de superfície (MDS). Nos levantamentos mais recentes, os sistemas RTK foram incluídos no próprio VANT, no sentido de melhorar a qualidade posicional e dispensar pontos de controlo no solo. As imagens aéreas obtidas foram posteriormente processadas em software SIG e aplicadas técnicas de fotogrametria e modelação 3D através do

software AgiSoft Metashape.

Com base nos MDS e ortomosaicos RGB produzidos, foram realizadas análises comparativas entre levantamentos diferenciados temporalmente, através da interpretação de perfis e do cálculo de variações do volume de sedimentos com recurso ao software QGIS (Figura 2). Os ortomosaicos, devido à elevada resolução, permitiram ainda delimitar linhas de vegetação para determinação de taxas de avanço ou recuo da linha de costa. Para alguns sectores, foram realizadas análises comparativas e cálculos de avanço e recuo para longos períodos com recurso a fotografia aérea mais antiga.

## 3. Resultados

As imagens obtidas através de VANT desde 2016 e processadas para a produção de MDS e ortomosaicos detalhados com software de fotogrametria permitiram a medição e a comparação entre as séries de dados nas praias de Camarido e Moledo (Caminha), Afife, Arda, Cabedelo e Amorosa (Viana do Castelo), Belinho, Fieiro Alto, Cepães, Ofir, Bonança e Ramalha (Esposende) e Aguçadoura (Póvoa de Varzim). Em todas as áreas costeiras foi possível estabelecer tendências de evolução geomorfológica, quantificar a mobilidade absoluta e a respetiva taxa anual de mobilidade, quantificar o volume de sedimentos deslocados e, nalguns casos, determinar as causas dos episódios erosivos ou de deposição.

Tomado como exemplo o caso das praias de Ofir e da Bonança (Esposende), verifica-se uma perda sazonal de volume de sedimentos em Ofir e um ganho de volume de sedimentos na Bonança. No setor imediatamente a sul do esporão das torres de Ofir, constata-se que a perda de sedimento ocorre de forma acentuada em períodos curtos, durante os meses de outono e inverno, apesar das estruturas existentes para a proteção das construções implantadas sobre a arriba (Figura 3). A perda de volume nesse setor está relacionada com estruturas de defesa costeira aí implementadas, com destaque para o esporão e geotubos de areia na berm da praia provocando erosão devido ao efeito de reflexão de energia da onda. No caso de uma ondulação contínua com muita energia, este efeito culmina no descalçamento sedimentar da própria estrutura, com rutura ou afundamento desta. O ganho de volume na praia da Bonança está relacionado com a existência de um esporão situado a sul deste setor, com a deriva litoral de orientação N-S favorecendo o incremento de sedimentos a norte dos esporões.



Figura 1. Realização de levantamentos fotográficos com recurso a veículo aéreo não tripulado (VANT): a) operação do VANT DJI Phantom 4 RTK para levantamento fotográfico; b) aspeto da interface do software Map Pilot durante voo do VANT na praia do Belinho (Esposende).

Figure 1. Photographic surveys carried out using an unmanned aerial vehicle (UAV): a) operation of the DJI Phantom 4 RTK UAV for photographic surveys; b) display of the Map Pilot software interface during the UAV flight on Belinho beach (Esposende).

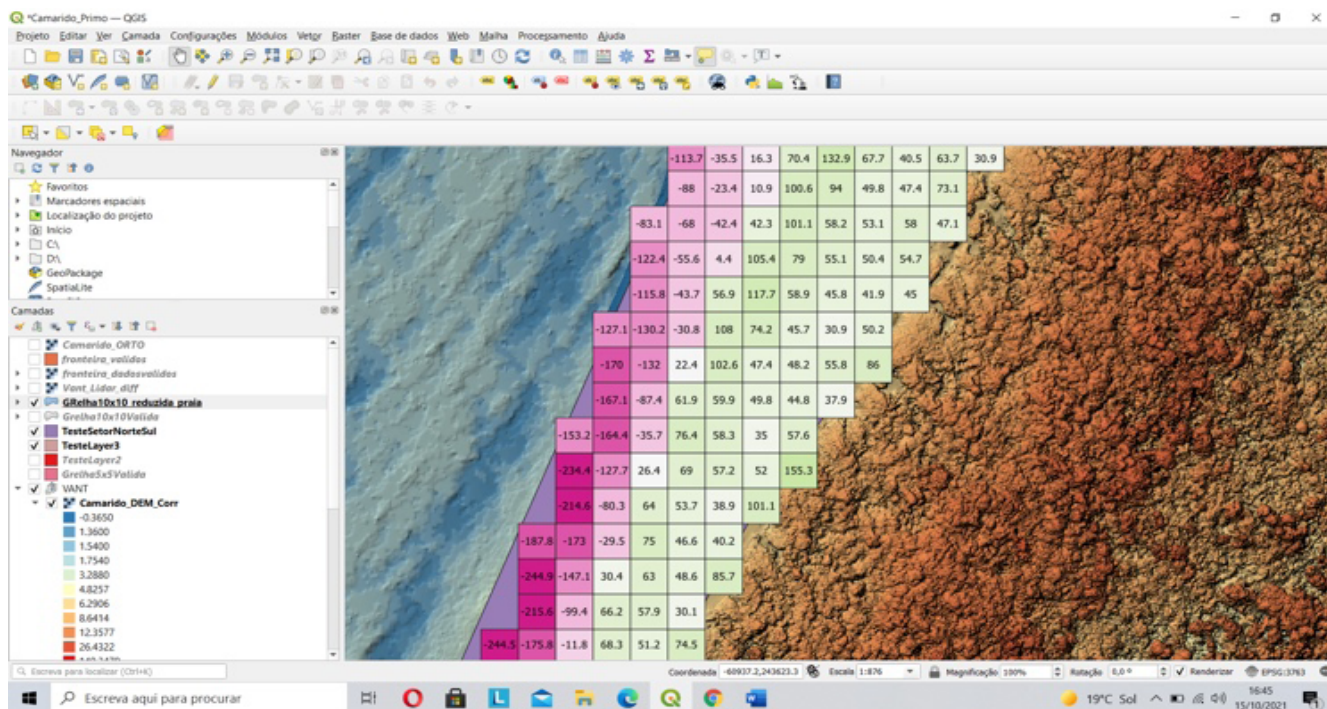


Figura 2. Volume (em m³) de sedimento ganho (a verde) e perdido (a rosa) num sector da praia de Camarido (Caminha), entre outubro de 2018 e outubro de 2020, calculado com recurso ao software QGIS.

Figure 2. Amount (in m³) of gained (in green) and lost (in pink) sediment in a sector of Camarido beach (Caminha), between October 2018 and October 2020, obtained using QGIS software.

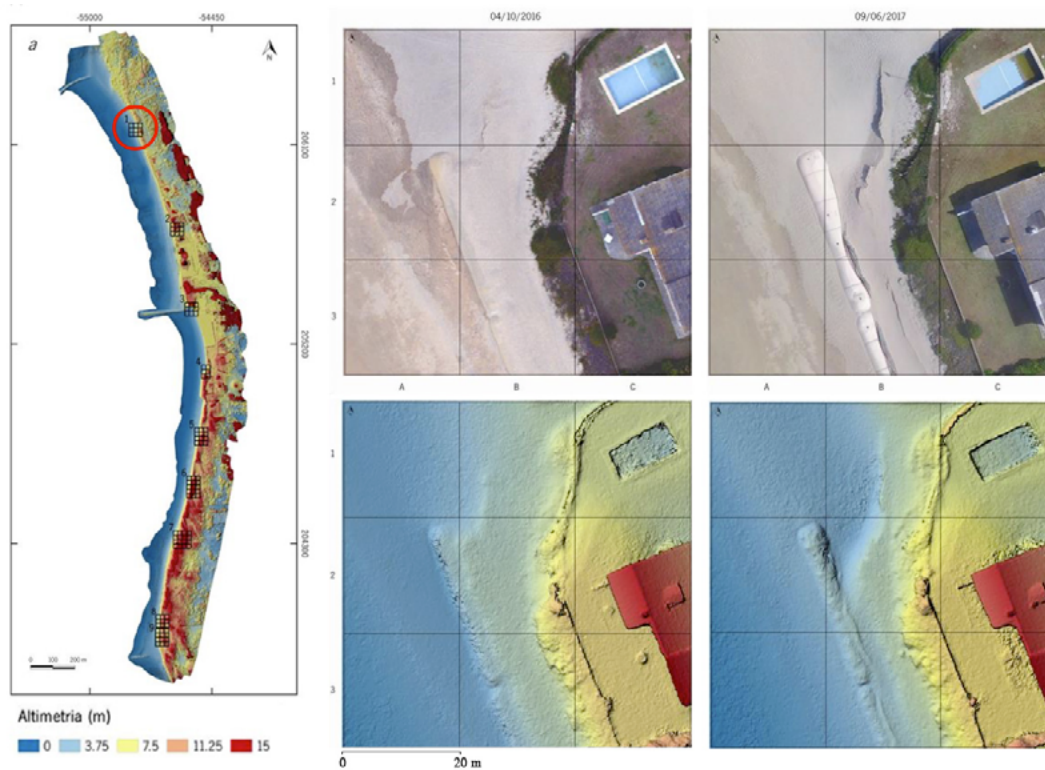


Figura 3. Ortografotomaps e modelos digitais de superfície (MDS) de setor da praia da Bonança (Esposende) de 4 de outubro de 2016 e 9 de junho de 2017, observando-se perda acentuada de sedimento na base da arriba.

Figure 3. Orthophotomaps and digital surface models (DSM) of a section of Bonança beach (Esposende) from 4 October 2016 and 9 June 2017, showing a marked loss of sediment at the base of the cliff.

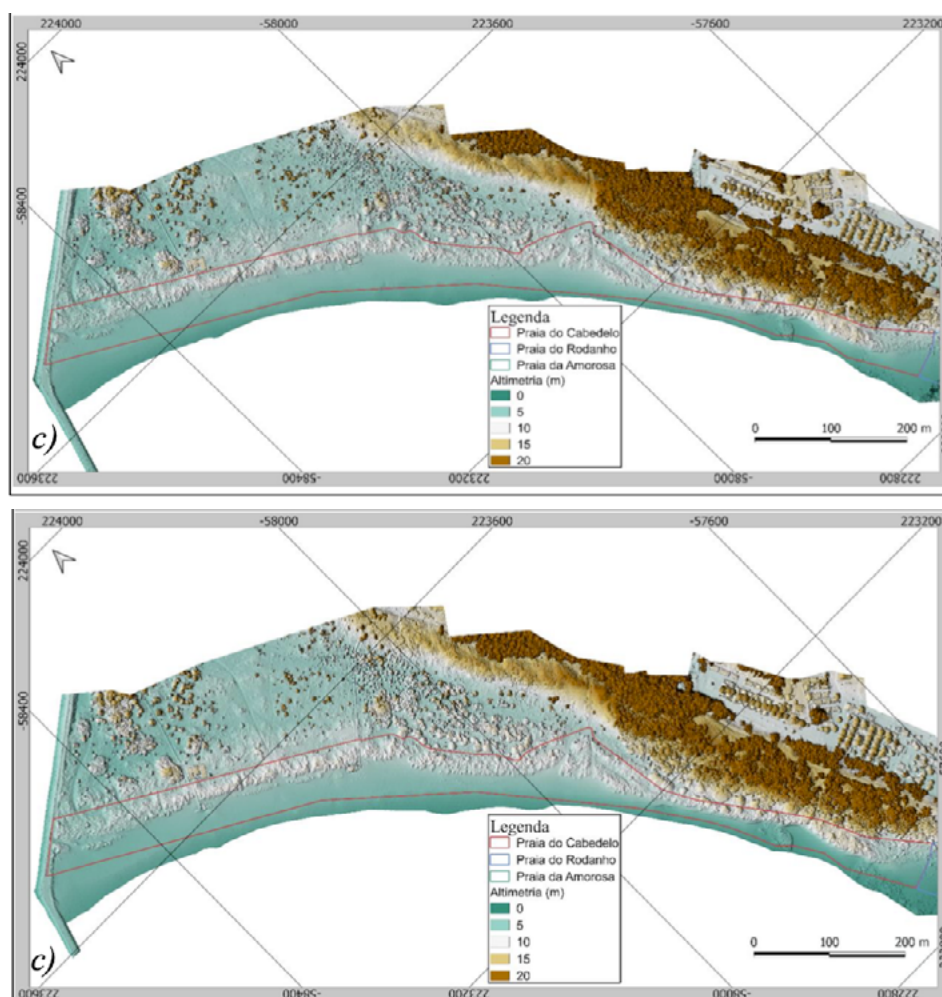


Figura 4. Modelos digitais de superfície (MDS) com sombreado da praia do Cabedelo (Viana do Castelo), com base em fotografia aérea obtida por veículos aéreos não tripulados (VANT) em dezembro de 2018 (a) e dezembro de 2019 (b).

Figure 4: Digital surface models (DSM) with hillshade of Cabedelo beach (Viana do Castelo), based on aerial photography obtained by unmanned aerial vehicles (UAVs) in December 2018 (a) and December 2019 (b).

Os levantamentos conduzidos na praia do Cabedelo (Viana do Castelo) suportaram uma análise comparativa anual, entre dezembro de 2018 e dezembro de 2019 (Figura 4). Em termos de volumes obtidos verificou-se que, de forma generalizada, existiu acumulação de sedimentos no setor norte da praia, junto ao esporão do porto de Viana do Castelo. Nos polígonos analisados registaram-se variações volumétricas positivas, exceto num dos polígonos que apresentou variação volumétrica negativa. As variações volumétricas positivas identificadas derivam da proximidade ao porto de Viana do Castelo, cujas estruturas artificiais influenciam a dinâmica sedimentar local. Percebeu-se igualmente que no setor central da praia do Cabedelo a acumulação de sedimentos ocorre sobretudo nas áreas dunares, com a remoção dos sedimentos a ocorrer sobretudo na praia por efeito das ondas expondo ainda mais os afloramentos graníticos, bem como o recuo e linearização das arribas de erosão. No setor Sul, perto da foz da ribeira d'Anha, a taxa de erosão é maior, provocando alterações morfológicas mais evidentes.

As linhas de vegetação diferenciadas temporalmente foram igualmente analisadas nos diferentes setores estudados como indicadores de dinâmica costeira, permitindo detetar fenómenos erosivos ou de acumulação localizados (Figura 5). Esta técnica possibilita a utilização

de fotografia aérea tradicional e mais antiga que, depois de devidamente georreferenciada, pode servir de base às análises comparativas.

#### 4. Conclusões

Os vários sectores costeiros estudados apresentam características dinâmicas específicas. A existência de estruturas artificiais é determinante na dinâmica local, em função da deriva litoral com sentido N-S que caracteriza a costa ocidental de Portugal Continental. Esta orientação é, por vezes, modificada devido à difração das ondas provocada pela configuração e posicionamento de estruturas artificiais (esporões e molhes) ou naturais (por exemplo, a insua de Caminha). De um modo geral, a erosão típica decorrente da agitação marítima leva a maiores perdas no Outono-Inverno, compensadas por alguma recuperação nos meses de primavera-verão.

A elevada extensão da costa portuguesa e o fraco investimento público em monitorização costeira são alguns dos motivos para a não utilização de técnicas de monitorização de elevado custo e, consequentemente, a possível diminuição da qualidade dos dados obtidos. É assim importante encontrar alternativas de monitorização de baixo custo, mas onde a qualidade dos dados, mesmo sendo menor do que os obtidos através de

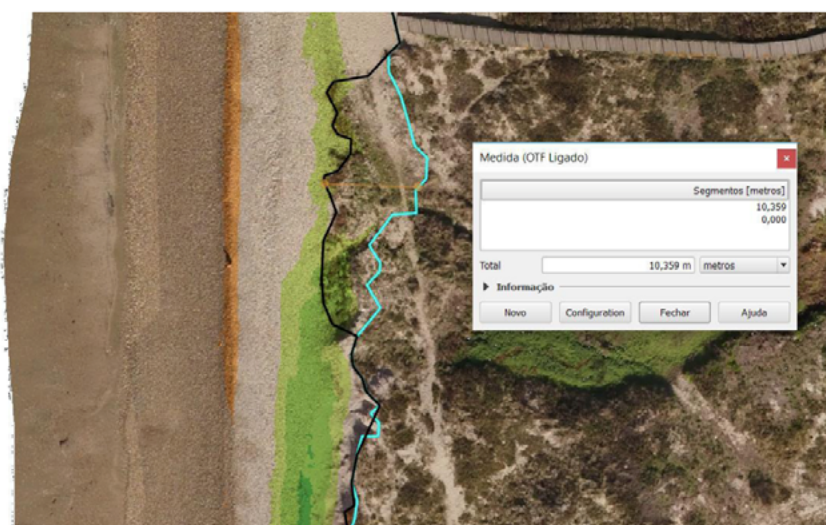


Figura 5. Cálculo da variação (em metros) da linha de vegetação no software QGIS, entre novembro de 2016 (a preto) e novembro de 2017 (a azul), com perda de mais de 10 metros durante esse período num pequeno setor da praia de Fieiro Alto (Esposende).

Figure 5. Calculation of the variation (in metres) of the vegetation line in QGIS software, between November 2016 (in black) and November 2017 (in blue), with a loss of more than 10 meters in that period on a small section of Fieiro Alto beach (Esposende),

tecnologia de alto custo, seja a suficiente para que se consiga implementar sistemas de monitorização eficazes e duradouros.

Nos trabalhos desenvolvidos foram implementadas técnicas de fotogrametria e de deteção remota com recurso a VANT, DGPS e SIG. A combinação destas técnicas permite a obtenção de dados com qualidade para estudos e monitorização de morfodinâmica costeira e que possam ser base de comparação em futuros trabalhos. Embora os dados obtidos possam eventualmente ter qualidade inferior aos dados produzidos a partir de técnicas mais dispendiosas, apresentam as vantagens de ser recolhidos com menores intervalos de tempo, a um custo substancialmente mais reduzido e de forma expedita. A utilização deste tipo de dados é fundamental em gestão costeira, sobretudo ao nível da elaboração e execução de planos de ordenamento, sejam estes de índole regional ou municipal.

## Referências

- Bio, A., Bastos, L., Granja, H.M., Pinho, J.L., Gonçalves, J.A., Henriques, R., Madeira, S., Magalhães, A., Rodrigues, D., 2015. Methods for coastal monitoring and erosion risk assessment: two Portuguese case studies. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, **15**: 63.
- Correia, J., 2020. *Evolução recente da dinâmica costeira no sector Cabedelo-Amorosa (Viana do Castelo)*. Tese de Mestrado em Geociências, Universidade do Minho, Braga.
- Gomes, A.M., 2018a. *Monitorização e modelação da morfodinâmica costeira através de veículos aéreos não tripulados (VANT): Casos de estudo nas praias de Belinho, Fieiro Alto e Cepães*. Tese de Mestrado em Geociências, Universidade do Minho, Braga.
- Gomes, P., 2018b. *Evolução recente da dinâmica costeira no sector de Ofir (Esposende)*. Tese de Mestrado em Geociências, Universidade do Minho, Braga.
- Gonçalves, C., 2022. *Monitorização Costeira da Praia da Aguçadoura*. Tese de Mestrado em Geociências, Universidade do Minho, Braga.
- Gonçalves, J.A., Henriques, R., 2015. UAV photogrammetry for topographic monitoring of coastal areas. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, **104**: 101-111.
- Henriques, R., 2006. *Monitorização da zona costeira tendo em vista a sua vulnerabilidade – Aplicação à zona costeira noroeste de Portugal*. Tese de Doutoramento, Universidade do Minho.
- Hogan, D.B., Rosenberg, A., 1985. Spaceborne Lidar Sensors - Opportunity and Challenge. In: Schnapf, A. (Ed.), *Monitoring Earth's Ocean, Land, and Atmosphere from Space-Sensors, Systems, and Applications*. American Institute of Aeronautics and Astronautics, New York, 746-796.
- Holman, R.A., Sallenger, A.H., Lippmann, T.C., Haines, J.W., 1993. The application of video image processing to the study of nearshore processes. *Oceanography*, **6**: 78-85.
- Huisman, O., de By, R. (Eds.), 2009. *Principles of Geographic Information Systems: An Introductory Textbook*, ITC, Enschede.
- Lillesand, T., Kiefer, R.W., Chipman, J., 2015. *Remote sensing and image interpretation*. 7<sup>th</sup> Edition, John Wiley & Sons, New York.
- Lin, Y.C., Cheng, Y.T., Zhou, T., Ravi, R., Hasheminasab, S.M., Flatt, J.E., Habib, A., 2019. Evaluation of UAV LiDAR for mapping coastal environments. *Remote Sensing*, **11**: 2893.
- Maia J.P., 2021. *Evolução recente da dinâmica costeira no sector Afife-Arda (Viana do Castelo)*. Tese de Mestrado em Geociências, Universidade do Minho, Braga.
- Mitasova, H., Drake, T.G., Bernstein, D., Harmon, R.S., 2004. Quantifying rapid changes in coastal topography using modern mapping techniques and geographic information system. *Environmental & Engineering Geoscience*, **10**: 1-11.
- Pan, P.S., 2005. Monitoring coastal environments using remote sensing and GIS. In D. Bartlett, J. Smith (Eds.) *GIS for coastal zone management*. CRC Press, Boca Raton, 35-49.
- Peixoto, P., 2017. *Monitorização e modelação da morfodinâmica costeira através de veículos aéreos não tripulados (VANTs): Casos de estudo em zonas costeiras de Portugal*. Tese de Mestrado em Geociências, Universidade do Minho, Braga.
- Silva, J., 2022. *Evolução Recente da Dinâmica Costeira da Praia do Camarido à Praia de Moledo*. Tese de Mestrado em Geociências, Universidade do Minho, Braga.
- Weng, Q., 2002. Land use change analysis in the Zhujiang Delta of China using satellite remote sensing, GIS and stochastic modelling. *Journal of Environmental Management*, **64**: 273-84.