



## MONITORIZAÇÃO COSTEIRA ATRAVÉS DE UM SISTEMA DE VIDEO EM TEMPO REAL

Diogo Oliveira<sup>1</sup>; Francisco Cerda<sup>1</sup>; André Cardoso<sup>1</sup>; Bruno Rocha<sup>1</sup>; Paulo Baptista<sup>2</sup>

<sup>1</sup>R5m Marine Solutions; <sup>2</sup>CESAM & Universidade de Aveiro  
[diogooliveira@r5engineers.com](mailto:diogooliveira@r5engineers.com), [renato.baganha@ua.pt](mailto:renato.baganha@ua.pt)

### Introdução

Os ambientes costeiros enfrentam pressões associadas à escassez de sedimentos e à subida do nível do mar, que na costa ocidental portuguesa baixa e arenosa, resultam em elevada vulnerabilidade à erosão e a galgamentos (Silva, 2017; Voudoukas, 2020). A delimitação da interface entre o espraio da onda e a praia subaérea (linha de praia) é, por isso, essencial para a gestão integrada do litoral e a geração de sistemas de alerta costeiro relativamente à erosão e ataque à duna. Métodos tradicionais, como levantamentos topo-batimétricos, oferecem elevada precisão, mas são dispendiosos e pouco adequados para vigilância contínua (Santos et al., 2022). Em alternativa, sistemas automáticos de vídeo permitem recolher dados em tempo real, com maior cobertura temporal e custos reduzidos, constituindo ferramentas promissoras para apoio à decisão (van Koningsveld, 2007; Holman & Stanley, 2007).

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema automático e de baixo custo que visa a estimativa de um conjunto de indicadores relativos à morfologia da praia subaérea a partir de uma estação de vídeo. A identificação das linhas de praia ao longo de um ciclo de maré, permite gerar o modelo 3D entre marés, a partir do qual vários parâmetros podem ser estimados, tais como o declive da face da praia, perfis transversais da praia, os volumes sedimentares e a distância relativamente à linha de base da duna (linha de costa). O desenvolvimento de uma metodologia para processamento automático e integração numa interface gráfica, permite a visualização e análise da resposta da praia às condições de agitação marítima, em tempo quase real, podendo desse modo contribuir para emissão de alertas operacionais por parte das autoridades com responsabilidade na gestão litoral.

O objetivo central é demonstrar a viabilidade de uma ferramenta integrada de monitorização costeira em tempo real, que alia a robustez técnica da deteção automática à disponibilização de informação prática para apoio à gestão e à proteção de zonas litorais vulneráveis.

### Metodologia e zona de estudo

A zona de estudo localiza-se na Praia de Mira e inclui uma série temporal de dados obtidos de 2019 a 2023 e a partir de maio de 2025 até ao presente. Para cada uma das series temporais foram instaladas torres dedicadas para instalação de câmaras de vídeo

O sistema desenvolvido integra aquisição de dados, processamento automático de imagens e visualização do indicador da linha de praia em tempo quase real. Recorre-se a câmaras IP com capacidade *Pan-Tilt-Zoom* (PTZ), permitindo a cobertura de áreas mais amplas.

Para a série temporal iniciada em maio de 2025, a fase de pré-processamento inclui a calibração intrínseca das câmaras, realizada antes da instalação, e a calibração extrínseca através da retificação das imagens no campo, com levantamento de pontos de controlo pelo *Global Navigation Satellite System* (GNSS), assegurando georreferenciação de elevada precisão.

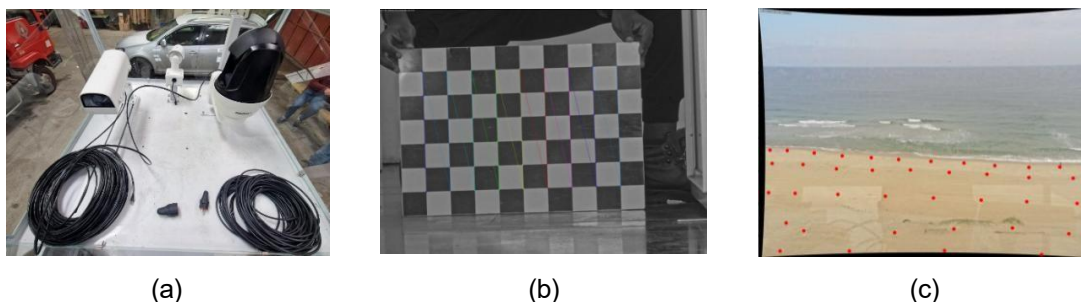


Figura 1. (a) Sistema - Camaras IP, Router e Estrutura; (b) Calibração intrínseca - Tabuleiro de Xadrez; (c) Calibração extrínseca - Pontos de controlo GNSS.

A fase de processamento envolve a definição de uma metodologia aplicada a uma série temporal de dados para o período 2019 a 2023, e que inclui a conversão dos vídeos em imagens médias de 10 minutos (timex), ajustadas ao nível de maré. A segmentação recorre ao espaço de cor CIELAB e ao método de Otsu (Otsu, 1979), que permite realçar o contraste areia-água e delinear essa interface com objetivo de criar máscaras. Estas são utilizadas para treinar o modelo de *deep learning* Feature Pyramid Network FPN (Lin, 2017), posteriormente validado com um conjunto de dados não usados para o treino.

Após a extração automática de linhas de praia ao longo de u ciclo de maré é possível gerar um modelo 3D a partir do qual podem ser calculados vários indicadores morfológicos. Entre estes destacam-se o declive da praia, o cálculo de volumes e de balanços sedimentares e a determinação da distância da linha de costa à base da duna. Estas variáveis permitem uma análise quantitativa da evolução costeira e alimentam a produção de métricas integradas de suscetibilidade ao galgamento.

Finalmente, todo o fluxo de dados é incorporado numa interface gráfica interativa, que organiza e disponibiliza os resultados em tempo quase real permitindo também gerar um sistema de alertas operacionais, concebido para apoiar gestores e autoridades na resposta a situações de risco costeiro.

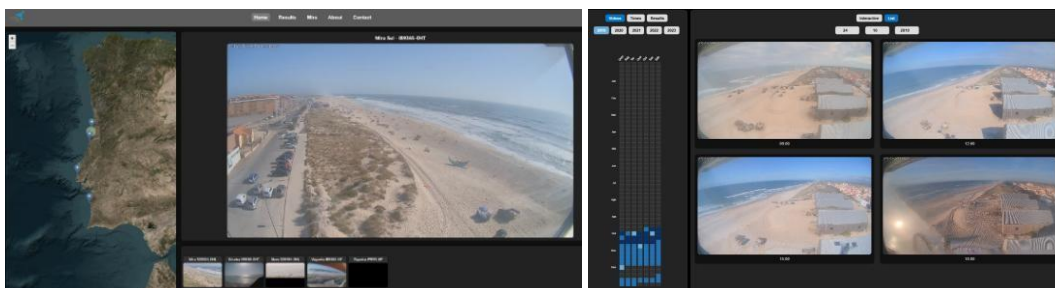


Figura 3. Interface para visualização e análise das imagens e indicadores processados.

## Resultados

A aplicação da metodologia resultou na extração automática da linha de praia a partir das imagens retificadas. A Figura 2 ilustra um exemplo do processo, evidenciando a imagem original, a máscara utilizada no treino, a linha obtida pelo modelo FPN e a respetiva validação. Os resultados demonstram que o sistema é capaz de identificar de forma consistente a interface areia-água em diferentes condições de maré, estabelecendo a base para a derivação dos restantes produtos morfológicos.

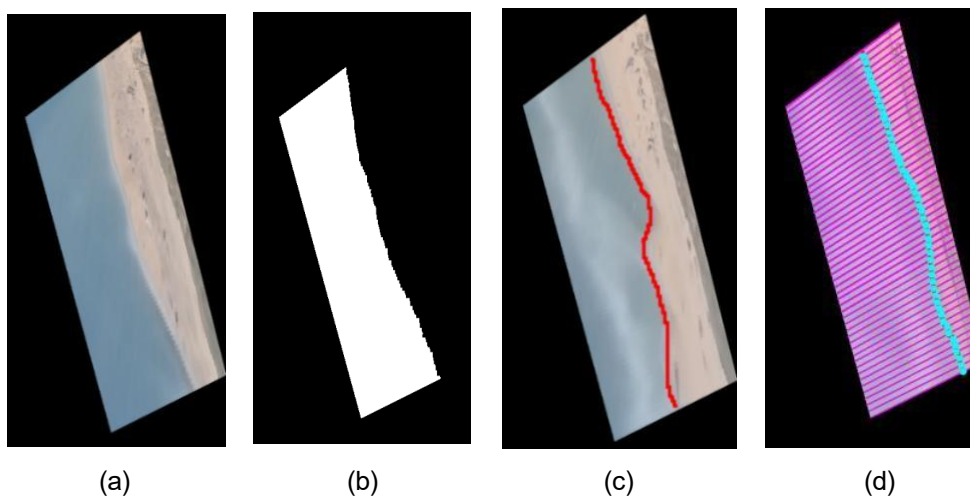


Figura 2. (a) Imagem Original Retificada; (b) Máscara utilizada para treino do modelo FPN; (c) Linha extraída após segmentação pelo modelo FPN; (d) Validação da qualidade da linha.

A validação do sistema foi realizada através da comparação das linhas de praia extraídas automaticamente com levantamentos GNSS. Os resultados mostram que a metodologia reproduz com consistência a forma geral da linha de praia e a morfologia da praia subaérea em diferentes condições de maré. Os indicadores morfológicos, obtidos a partir dos modelos 3D, incluem perfis, volumes de sedimento e distâncias à base da duna e apresentam boa coerência com as observações de campo, confirmando a fiabilidade global do sistema. Estes produtos fornecem ainda uma base quantitativa robusta para acompanhar a evolução sazonal da praia, identificar zonas com défice sedimentar e apoiar a análise de processos erosivos e métricas de suscetibilidade de risco costeiro.

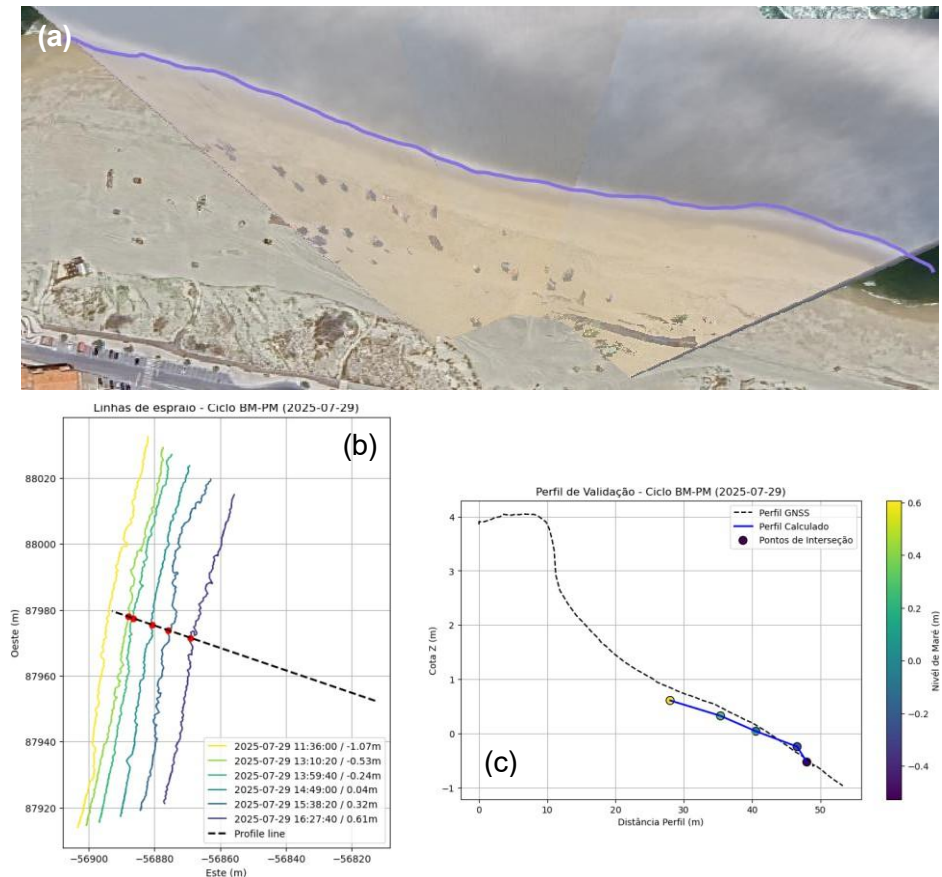


Figura 4. (a) Imagens retificadas e linha GNSS. (b) Linhas de espraio obtidas do ciclo Baixa Mar-Preia Mar; (c) Perfil GNSS e perfil calculado com sistema de vídeo.

A interface gráfica integra todos os resultados, permitindo a visualização de vídeos em tempo real, imagens timex e imagens retificadas com a linha de praia para condições específicas de maré. A aplicação disponibiliza a série temporal permitindo fazer comparações, e analisando tendências evolutivas do perfil transversal gerado automaticamente. É também representada a erosão ou acumulação de sedimentos tendo sido definida uma escala de cores relativa à base da duna com base em limiares críticos de largura de praia. Esses limiares estão a ser definidos em articulação com entidades com responsabilidade na gestão do litoral. Esta ferramenta proporciona uma interpretação clara dos processos morfológicos e apoio direto à tomada de decisão por gestores e autoridades costeiras.

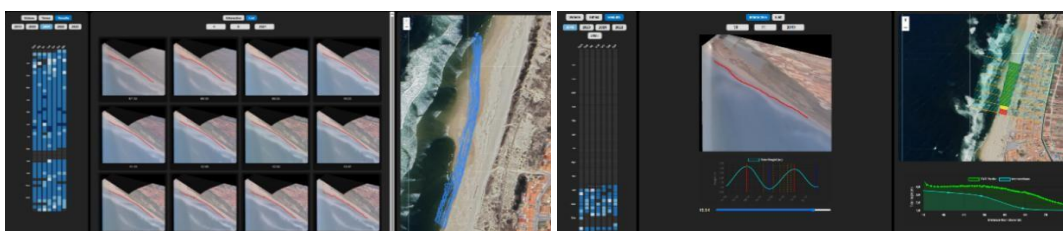


Figura 5. Resultados, interface gráfica.



## Discussão e Conclusão

Apesar dos avanços alcançados, o sistema apresenta algumas limitações. A dependência de boas condições de visibilidade pode comprometer as deteções em situações de nevoeiro, chuva ou luminosidade reduzida. A precisão da calibração e da retificação das imagens é igualmente determinante, exigindo uma cobertura adequada por pontos GNSS. Além disso, certas condições de maré ou estados morfodinâmicos extremos podem introduzir erros na segmentação automática, o que reforça a necessidade de rotinas de validação consistentes.

Ainda assim, o sistema desenvolvido evidencia vantagens claras face a métodos tradicionais. O baixo custo de implementação e operação, aliado à automação completa, reduz a necessidade de campanhas de campo frequentes. A monitorização contínua em tempo quase real e a integração de produtos derivados dos modelos 3D conferem elevada capacidade de vigilância e fácil replicação em outros locais vulneráveis, tornando-o uma ferramenta eficaz para apoiar a gestão costeira.

Em síntese, o trabalho demonstra a viabilidade de um sistema automático, robusto e de baixo custo para monitorização contínua da linha de praia. A capacidade de gerar informação georreferenciada em tempo real, identificar alterações críticas e emitir alertas constitui um contributo relevante para a mitigação de riscos e preservação de zonas litorais vulneráveis. O carácter modular e replicável da solução abre perspectivas de aplicação em diferentes regiões costeiras, consolidando o seu valor como ferramenta de apoio à decisão.

## Agradecimentos

Este trabalho é financiado por fundos nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e Tecnologia I.P, no âmbito do projeto/apoio UID/50006 + LA/P/0094/2020 (doi.org/10.54499/LA/P/0094/2020), e do projeto SHORESAFETY – “Emerging remote sensing technologies to support real-time shore safety in risk áreas”, <https://doi.org/10.54499/2023.13467.PEX>. Este projecto recebeu financiamento do programa de investigação e inovação Horizonte Europa da União Europeia, ao abrigo do contrato de subvenção 101093956. As opiniões e pontos de vista expressos são, no entanto, exclusivamente do(s) autor(es) e não reflectem necessariamente os da União Europeia ou da autoridade financiadora. Nem a União Europeia nem a autoridade financiadora podem ser responsabilizadas por elas.

## Referências Bibliográficas

- Holman, R.A., e Stanley, J. (2007). “The history and technical capabilities of Argus”. *Coastal Engineering*, 54(6–7), 477–491.
- Lin, T.Y., Dollár, P., Girshick, R., He, K., Hariharan, B., e Belongie, S. (2017). “Feature Pyramid Networks for object detection”. En: *Proceedings of CVPR*, 2117–2125.
- Otsu, N. (1979). “A threshold selection method from gray-level histograms”. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 9(1), 62–66.
- Santos, F., Ferreira, Ó., e Costas, S. (2022). “Coastal monitoring techniques: From field surveys to remote sensing and video systems”. *Geomorphology*, 410, 108280.
- Silva, A.N., Roelvink, D., e Teles, M. (2017). “Coastal erosion and management strategies in Portugal: An overview”. *Journal of Coastal Research*, 33(6), 1337–1350.
- van Koningsveld, M., Davidson, M.A., e Huntley, D.A. (2007). “Coastal video monitoring for public management”. *Coastal Engineering*, 54(6–7), 479–491.
- Vousdoukas, M.I., Ranasinghe, R., Mentaschi, L., Plomaritis, T.A., Athanasiou, P., Luijendijk, A., e Feyen, L. (2020). “Sandy coastlines under threat of erosion”. *Nature Climate Change*, 10, 260–263.