

PROGRAMA MULTIDISCIPLINAR DE MONITORIZAÇÃO DE CURTO TERMO PARA APOIO AO PLANEAMENTO E GESTÃO DA ZONA COSTEIRA

H. GRANJA

*Centro Interdisciplinar de Investigação Marinha e Ambiental, Universidade do Porto
Departamento de Ciências da Terra, Universidade do Minho, hgranja@dct.uminho.pt*

L. BASTOS

*Centro Interdisciplinar de Investigação Marinha e Ambiental, Universidade do Porto
Departamento de Geociências da Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, lcbastos@fc.up.pt*

J. PINHO

*Centro do Território, Ambiente e Construção, Universidade do Minho
Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, jpinho@civil.uminho.pt*

J. GONÇALVES

*Centro Interdisciplinar de Investigação Marinha e Ambiental, Universidade do Porto, jgoncalves@fc.up.pt
Departamento de Geociências da Faculdade de Ciências, Universidade do Porto*

R. HENRIQUES

*Centro de Geologia da Universidade do Porto
Departamento de Ciências da Terra, Universidade do Minho, rhenriques@dct.uminho.pt*

J. MENDES

Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, jmendes@civil.uminho.pt

A. BIO

Centro Interdisciplinar de Investigação Marinha e Ambiental, Universidade do Porto, anabio@ciimar.up.pt

A. MAGALHÃES

Observatório Astronómico, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, americo.magalhaes@fc.up.pt

RESUMO

A zona costeira do noroeste de Portugal tem vindo a sofrer processos erosivos de modo progressivo que têm preocupado os responsáveis políticos e os cidadãos em geral. Esta realidade é especialmente notória nas zonas costeiras com altas pressões de ocupação. A zona costeira de Vila Nova de Gaia apresenta ocupação intensa, tendo vários segmentos que evidenciam elevada vulnerabilidade à erosão costeira.

Com o objectivo de avaliar os segmentos mais vulneráveis foi implementado um programa global de monitorização iniciado em 2007. Pretende-se avaliar as tendências de evolução morfodinâmica do sistema costeiro, incluindo prépraia, praia e dunas. Este programa compreendeu a realização de duas campanhas anuais, durante dois anos, utilizando um conjunto de metodologias de monitorização inovadoras: observações de campo, fotografias aéreas, levantamentos topográficos com um sistema móvel com DGPS e câmaras de vídeo; levantamentos batimétricos utilizando uma embarcação autónoma flutuante; recolha de amostras de sedimentos e realização de perfis de praia.

A informação produzida foi processada para utilização na avaliação da vulnerabilidade à erosão e produção das cartas de risco associadas, as quais estão em fase de elaboração. Todos os dados são processados e analisados em ambiente SIG. Neste artigo são apresentados resultados obtidos nas quatro campanhas de monitorização, incluindo aspectos da morfodinâmica local com base na análise dos Modelos Digitais de Terreno e as principais mudanças morfológicas e sedimentares verificadas no período de monitorização.

Palavras-chave: erosão, programa de monitorização, MDT, vulnerabilidade, risco

1. INTRODUÇÃO

A zona costeira, na interface mar-terra, é uma área particularmente activa, apresentando grande mobilidade especialmente na faixa costeira (compreendida como o sistema praia+duna/arriba), onde processos de origem marinha e continental actuam com dinâmicas próprias contribuindo para sucessivas mudanças da morfologia.

Os agentes intervenientes na actuação dos processos são de origem natural e antrópica. Entre os primeiros podem destacar-se a agitação marítima e os ventos e nos segundos a ocupação da faixa costeira.

Sendo a faixa costeira naturalmente móvel, adaptando-se o sistema a constantes reequilíbrios sempre que muda algum dos seus elementos (por exemplo, o regime de ondulação, a direcção e/ou intensidade do vento, o abastecimento sedimentar), não é correcto torná-la estática com construções e outras infra-estruturas. Perdendo ou reduzindo o espaço de acomodação, a faixa costeira diminui a mobilidade, deixando de poder adaptar-se às mudanças induzidas pelos agentes intervenientes (forçadores).

Nas últimas décadas, as faixas costeiras têm vindo a sofrer um generalizado processo de erosão, manifestado essencialmente pela migração das praias para o interior, perda de areias e recuo das arribas. Este processo, embora natural, tem sido agravado pela acção humana. A zona costeira portuguesa é disso exemplo.

Sendo um processo essencialmente destrutivo, coloca em risco as edificações pelo que as autoridades têm tendência a optar pela sua defesa com obras de engenharia o que acarreta outros problemas. Para que um país possa fazer um correcto planeamento e gestão da zona costeira, necessita conhecer os mecanismos que nela actuam e a maior ou menor vulnerabilidade de cada segmento costeiro face à actuação dos mesmos agentes. E para conhecer há necessidade de acompanhar os processos responsáveis pelas mudanças morfológicas e dinâmicas, ou seja, monitorizar.

A zona costeira do noroeste de Portugal apresenta características de maré mesotidal com um clima de agitação muito energético. A orientação dominante da ondulação é de W-NW, induzindo, em geral, uma corrente de deriva de norte para sul. No entanto, esta corrente é invertida em algumas áreas devido principalmente à presença de obstáculos que favorecem a difracção da ondulação com a consequente inversão da deriva litoral. Este é o caso do quebra-mar do porto de Leixões (Fig. 1) que induz uma deriva Sul-Norte responsável pelo alargamento da praia de Matosinhos para o norte. No estuário do rio Douro a restinga evidencia também uma deriva Sul-Norte, devido à difracção da onda em torno do delta de vazante e à presença de afloramentos rochosos. Para sul, a principal tendência da deriva é novamente Norte-Sul, promovendo a acumulação de sedimentos a barlar de obstáculos transversais e aumento da erosão a sotamar (por exemplo, emissário submarino da Madalena, quebra-mar da Aguda e esporão Norte de Espinho).

Neste artigo é apresentado um programa de monitorização multidisciplinar para acompanhamento e quantificação das mudanças de curto termo ocorridas numa faixa costeira densamente ocupada – faixa costeira do concelho de Vila Nova de Gaia.

O programa de monitorização recorreu a várias metodologias (aéreas, terrestres e marítimas, com posicionamento por satélite) com vista à produção de modelos digitais de terreno (MDT) e à caracterização de pormenor de cada segmento costeiro.



Figura 1 – Localização do sector costeiro monitorizado e correntes de deriva litoral dominantes.

Os resultados até agora obtidos evidenciam, através da análise dos MDT, entre outros, as mudanças morfológicas e sedimentares, os transportes dominantes e permitem obter balanços sedimentares semestrais que serão utilizados na elaboração de cartas de vulnerabilidade e de risco para os vários segmentos costeiros. O projecto destina-se a auxiliar no planeamento e na gestão integrada da zona costeira, tendo sido promovido pelo Parque Biológico de Gaia.

2. METODOLOGIAS

2.1 Monitorização

A área de estudo compreende a plataforma continental interna (prépraia) e o sistema praia-duna da faixa costeira do concelho de Vila Nova de Gaia, que se estende desde a Foz do Rio Douro até ao Rio Mocho (Fig. 1). A monitorização decorreu entre Novembro de 2008 e Novembro de 2010, tendo sido realizadas quatro campanhas semestrais, uma efectuada antes do Inverno e outra imediatamente após. Efectuaram-se observações no terreno, recolha localizada de amostras de sedimentos e levantamento das respectivas coordenadas; análise de sedimentos em laboratório; levantamentos terrestres usando GPS em modo estático e cinemático (*Mobile Mapping*); levantamentos a partir de fotografia aérea e levantamentos de perfis subaquáticos (Fig. 2).

A área de estudo foi dividida em dezoito segmentos com base em elementos determinantes da paisagem costeira com repercussões na morfodinâmica local: fozes de ribeiros, estruturas de defesa e presença de dunas. Os segmentos resultantes são apresentados na Fig. 3.

Programa de monitorização



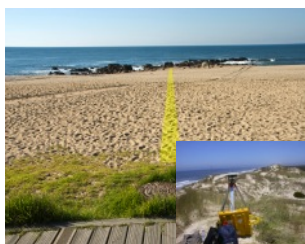
Fotografia aérea



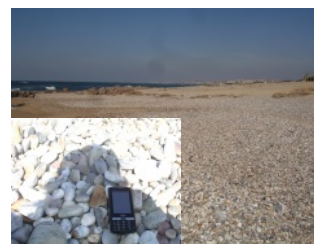
Levantamentos de praias



Levantamentos de fundos



Amostras de sedimentos



Inspecção visual

Figura 2 – Tecnologias de base utilizadas no programa de monitorização.

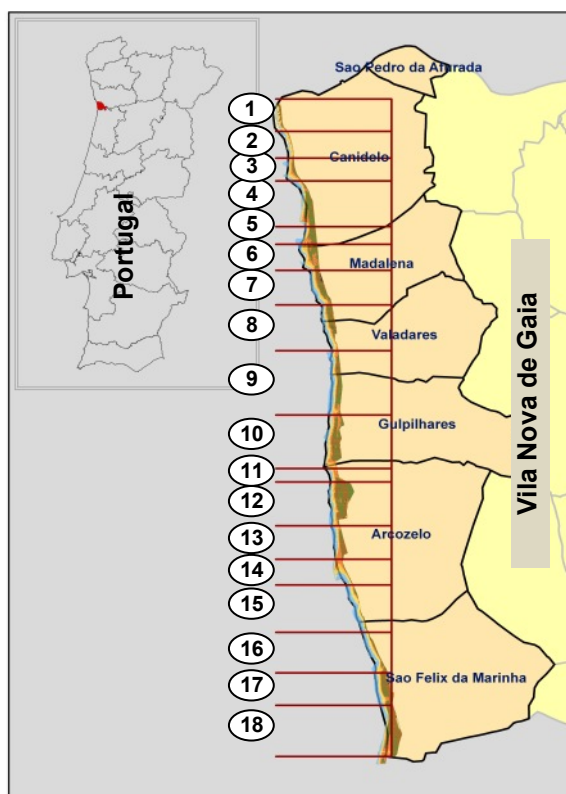


Figura 3 – Divisão da área de estudo e numeração dos segmentos resultantes.

2.1.1 Observações de campo

Este tipo de trabalho de monitorização consiste na observação de pormenor da faixa costeira, dando especial importância aos geo e bio-indicadores de mudança nos segmentos mais sensíveis como os que ficam a sotamar do portinho da Aguda e do emissário da Madalena.

O registo, realizado em fichas de campo, contempla os seguintes elementos: (i) localização do segmento costeiro; (ii) tipo e estado do perfil do sistema praia-duna; (iii) dimensão média aproximada dos sedimentos; (iv) regularidade da crista do cordão dunar; (v) vegetação do cordão dunar; (vi) registo fotográfico. Procedeu-se, ainda, ao registo da existência de micro-formas como *blowouts*, galgamentos, cúspides, bancos, regueiras e outras.

2.1.2 Fotografia aérea

Apesar das mudanças morfológicas em praias e dunas, devidas a causas naturais ou humanas, poderem grandes em períodos curtos, as técnicas de levantamento deverão garantir uma precisão decimétrica para serem úteis. As técnicas de levantamento topográfico tradicionais (estação total) satisfazem facilmente essa exigência sendo, contudo, muito demoradas e pouco eficientes. O levantamento GPS cinemático, com receptores de dupla frequência, é igualmente preciso, especialmente porque, nas praias, devido à ausência de obstáculos, este tipo de posicionamento pode ser muito rigoroso e eficiente. Contudo, estas duas técnicas de campo são invasivas, o que pode não ser conveniente em zonas de dunas com vegetação sensível.

A fotografia aérea com câmara digital de alta resolução constitui uma boa alternativa para a recolha de informação altimétrica em zonas costeiras. Utilizando grandes resoluções no terreno, entre 5 e 10 cm e precisões altimétricas de 1 ou 2 decímetros, poderão facilmente ser obtidas por via fotogramétrica. Apesar de esta metodologia ter um grau de automatização relativamente baixo, devido à possível necessidade de triangulação aérea e à restituição fotogramétrica para obter o MDT a partir dos pares estereoscópicos, ela proporciona também uma base de imagem que é muito útil nos estudos de monitorização costeira (GONÇALVES et al., 2010).

Foram adquiridas imagens digitais aéreas com uma câmara digital, em voos a uma altitude aproximada de 1030 m o que corresponde a um pixel de 10 cm no terreno. A área foi coberta por duas fiadas de fotografias (Fig. 4) com sobreposição longitudinal de 60% e lateral de 30%. Procurou-se obter as imagens sempre durante a baixa-mar de marés vivas para permitir a obtenção do relevo na zona intertidal com a maior extensão possível. A aquisição das imagens foi efectuada com apoio de um sistema de georreferenciação directa GPS/INS, usando como referência as estações da Rede Nacional de Estações Permanentes (RENEP) Gaia e São João da Madeira, no datum ETRS89. O processamento integrado desta informação permite determinar a posição do centro de projecção da câmara para cada imagem, bem como os correspondentes ângulos de atitude da câmara.

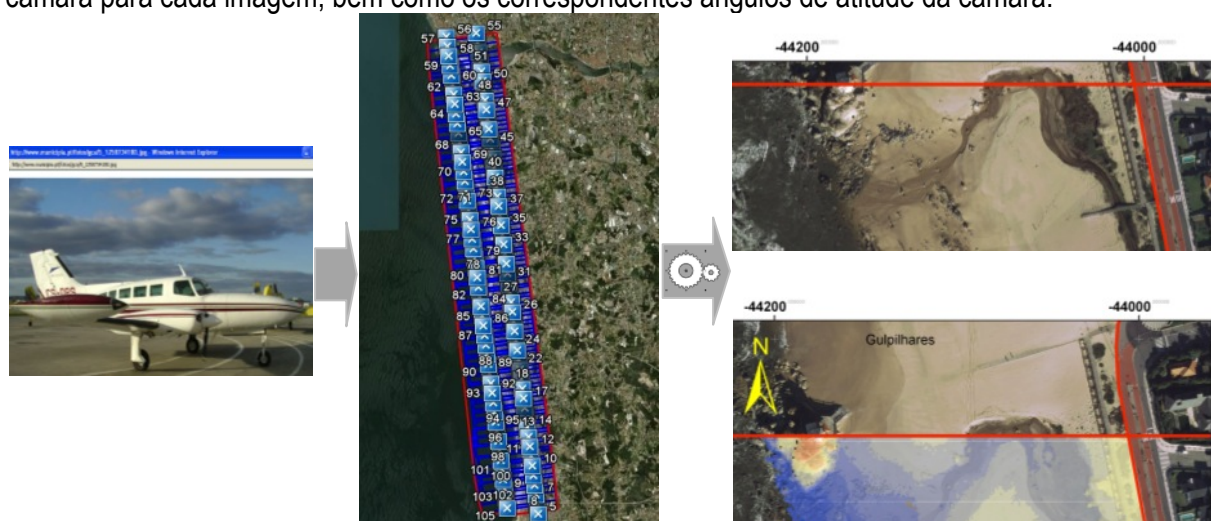


Figura 4 - Avião utilizado na fotografia aérea da zona costeira, distribuição das fotografias que servem de base ao processamento de ortofotomapas e exemplo de resultado obtido.

2.1.3 Levantamentos topográficos e recolha de amostras de sedimentos

Os levantamentos terrestres da praia, ao longo de toda a faixa costeira do concelho de Vila Nova de Gaia, seguiram a linha de costa, em baixa-mar, tendo sido também levantada uma rede de perfis longitudinais e transversais (Fig. 5, esquerda), usando um sistema móvel (Fig. 2) equipado com GPS de dupla frequência (modo cinemático). Este sistema permitiu o levantamento de pontos com uma precisão de posicionamento tridimensional inferior a 5 cm. Este sistema integra duas câmaras de vídeo que permitem o registo simultâneo de características do terreno. O sistema permite o registo contínuo de informação, incluindo os dados de navegação e o instante de observação.

No processamento das observações prestou-se especial atenção à inclinação lateral do veículo, visto que as coordenadas finais são extremamente sensíveis ao erro que a inclinação provoca (BASTOS et al., 2009). Detalhes técnicos da metodologia podem ser encontrados em MADEIRA (2007).



Figura 5 - Exemplo de uma grelha de observação e de um dos locais de amostragem de sedimentos.

Para além dos levantamentos terrestres com o sistema móvel, foram realizados levantamentos de perfis nos locais de recolha de amostras de sedimentos (Fig. 5, direita) utilizando-se uma estação total. Em cada um dos perfis transversais foram recolhidas amostras de sedimentos para posterior análise dimensional. Sempre que possível (dependendo da posição da linha de baixa-mar), foram colhidas cinco amostras de sedimentos: na crista da duna, na base da duna, no limite da preia-mar, a meio da praia e no limite da praia emersa na baixa-mar. Nos perfis em que não existia duna, as duas amostras interiores foram colhidas em posições definidas em conformidade com a morfologia da praia nesses locais.

A preparação das amostras de sedimentos envolveu lavagem com água desionizada e secagem a 40°C, necessária para evitar a agregação de partículas por acção do cloreto de sódio. A análise dimensional foi feita, por via seca, com uma coluna de crivos ASTM, dispostos em intervalos de $1/2\phi$ (phi), tendo o crivo de topo 32.0mm (-5Ø) de dimensão de malha e o crivo da base 0.062mm (4Ø). As

fracções retidas em cada crivo foram pesadas, recorrendo a uma balança digital Sartorius com 0.01g de resolução.

2.1.4 Levantamentos batimétricos

Os levantamentos batimétricos foram realizados recorrendo-se à utilização de um veículo ASV (*Autonomous Surface Vehicle*). Este veículo é constituído por uma plataforma marítima (*catamaran*) com controlo remoto; (Fig. 6) equipada com um GPS de dupla frequência, operando em modo RTK (*Real Time Kinematic*) e um IMU (*Inertial Measuring Unity*) que fornece dados de localização e orientação da plataforma, um altímetro de resolução de 20 mm que mede a profundidade e um sonar de varrimento lateral de frequência 330 kHz para obtenção de uma imagem acústica do leito marinho. O equipamento permite o registo contínuo de dados, incluindo os dados de navegação e a hora de amostragem. Em cada uma das campanhas realizadas efectuaram-se 14 perfis submersos, perpendiculares à linha da costa, espaçados aproximadamente de 1 km, prolongando-se até à batimétrica de 10 m (Z.H.). As observações foram feitas na preia-mar para permitir a aproximação máxima do veículo à linha da costa. Dependendo da inclinação do fundo, o comprimento dos perfis variou entre aproximadamente 300 m e 2000 m.

A execução das missões de aquisição de dados inicia-se com a condução do veículo ASV para o ponto de início do perfil, junto à costa. Esta condução faz-se em modo autónomo ou em modo teleoperado remotamente (quando a existência de afloramentos rochosos impõe algumas restrições de segurança). Segue-se a realização do perfil perpendicular com o veículo controlado autonomamente, garantindo um nível elevado de desempenho na trajectória percorrida. A aquisição do perfil termina quando o veículo ultrapassa a batimétrica dos 10 metros durante um intervalo de tempo ou distância percorrida predefinidos. Os trabalhos prosseguem com a condução do ASV para o início do perfil seguinte. Em cada perfil são registados, continuamente, no computador de bordo, todos os dados de navegação bem como a informação batimétrica recolhida pelo altímetro. É incluído nos registos a informação do instante de tempo das medidas. As missões são executadas num período de cerca de uma hora em torno da preia-mar a fim de permitir que a operação decorra o mais perto possível da linha de costa.

As coordenadas planimétricas foram reportadas ao sistema de referência ETRS89 e as profundidades referidas ao Zero Hidrográfico. A partir dos perfis batimétricos é possível analisar a morfologia dos fundos marinhos. A análise da reflectância/sombra das imagens acústicas do sonar de varrimento lateral permite identificar e quantificar afloramentos rochosos e as zonas de sedimentos arenosos.

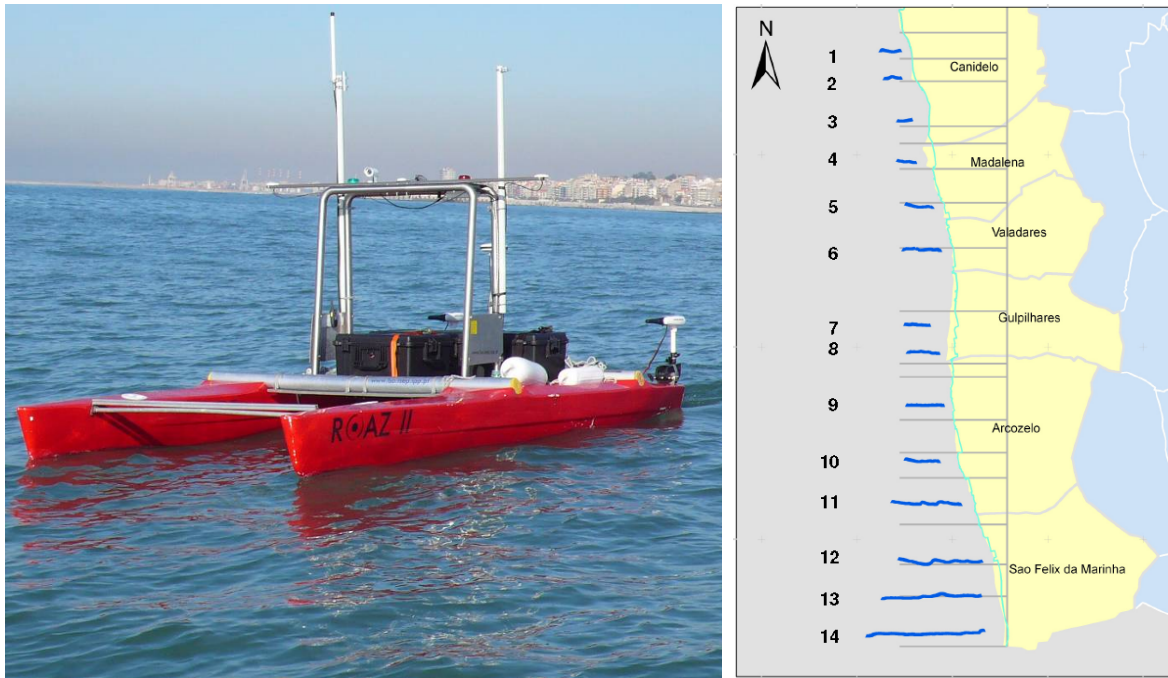


Figura 6 – Veículo ASV usado nos levantamentos batimétricos e localização de perfis realizados numa das campanhas.

2.2 Processamento da informação

2.2.1 Organização de fichas de campo

Com base nos registos fotográficos, e nos dados obtidos durante a observação do trecho, foram preenchidas as fichas de campo, especificamente elaboradas para o efeito. Posteriormente, foram elaborados quadros-síntese para inclusão no sistema de informação geográfica (Fig. 7), de forma a possibilitar a análise espacial dos resultados obtidos.

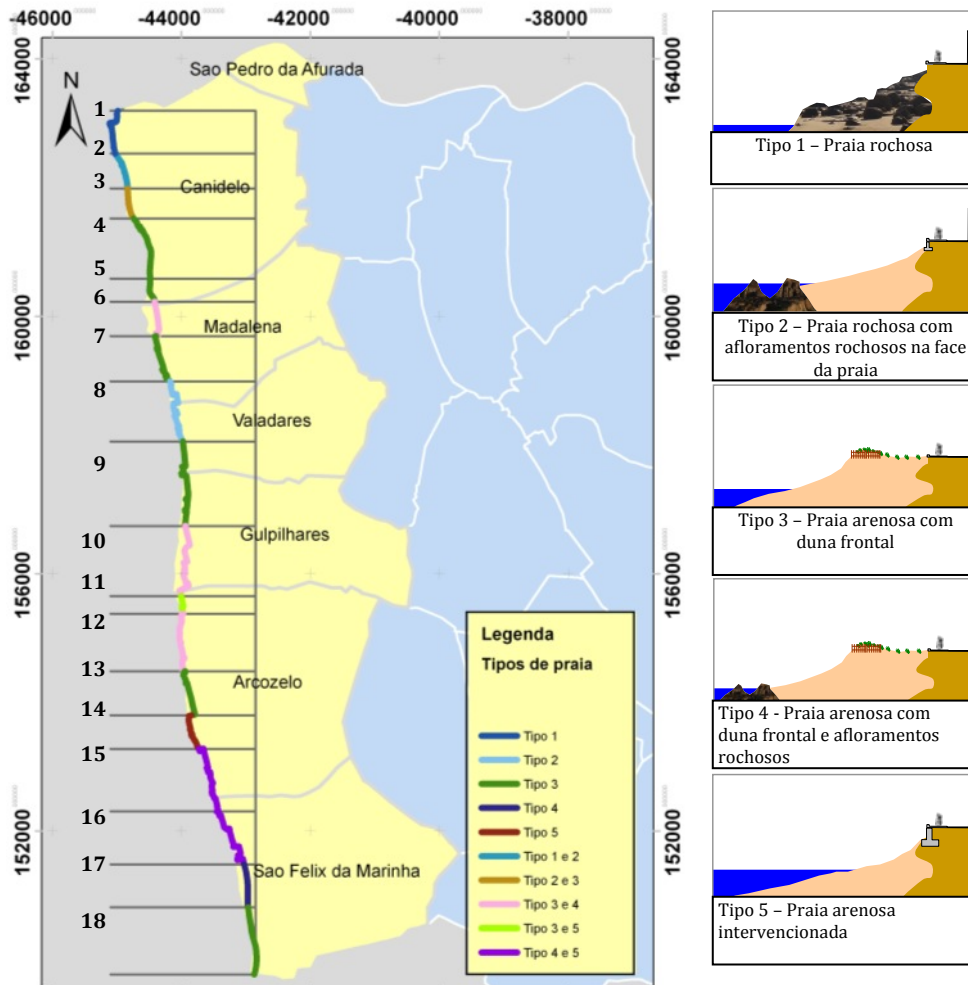


Figura 7 – Pormenor de ficha de campo

2.2.2 MDT

Usando o método de triangulação com interpolação linear (*software* Surfer 8) numa grelha de 1 mX1 m, foi construído um MDT, a partir dos levantamentos terrestres efectuados com o sistema móvel, tomando como referência das altitudes o Zero Hidrográfico.

Um outro MDT foi gerado a partir das séries de pares de imagens aéreas estereoscópicas. Primeiro utilizou-se o *software* BLUH, que aplica correlação automática por mínimos quadrados com crescimento de regiões (JACOBSEN, 2003) para a obtenção de pontos conjugados nos pares estereoscópicos. Escolheu-se um espaçamento de 3 em 3 pixéis (30 cm) para colheita de pontos, uma janela de procura de 10 x 10 pixéis e uma tolerância de 80% para a correlação mínima dos pontos a aceitar. As coordenadas resultantes foram convertidas para o sistema PT-TM06 (*datum* ETRS89), utilizando grelhas de transformação de *datum* (GONÇALVES, 2009). A altitude acima do elipsóide foi convertida para altitude ortométrica utilizando a ondulação do geóide estimada pelo modelo GEODPT 08, do IGP (CATALÃO e SEVILLA, 2009). Com os pontos resultantes procedeu-se finalmente à geração de um modelo digital do terreno, na forma de grelha com espaçamento de 1 m, através de médias móveis.

Note-se que enquanto os MDT das observações terrestres estão limitados à área entre a linha de água e as dunas, pela acessibilidade do equipamento, as imagens aéreas abrangem as dunas e parte da zona subtidal evidenciando, por exemplo, rochas submersas.

2.2.3 Modelação da agitação

As características da morfodinâmica neste trecho costeiro são determinadas essencialmente pelo clima de agitação marinha. Os dados de agitação disponíveis para o porto de Leixões foram analisados para o período entre Maio de 2001 e Setembro de 2009, constituindo um dos indicadores a utilizar na metodologia de avaliação da vulnerabilidade e risco de erosão. Além desta informação, será utilizado um modelo numérico que foi implementado para análise da propagação da agitação em locais específicos, permitindo obter padrões locais de propagação da agitação úteis para a compreensão das dinâmicas sedimentares instaladas. O modelo numérico é baseado em equações de Boussinesq (NAWOGU e DEMIRBILEK, 2001). Este modelo pode simular a maioria dos fenómenos hidrodinâmicos de interesse para as zonas costeiras, incluindo: (i) assoreamento, (ii) refração, (iii) difracção, (iv) reflexão/transmissão integral e parcial, (v) atrito no fundo, (vi) interacções não lineares onda-onda, (vii) quebra da onda, (viii) correntes induzidas pelas ondas, e (ix) interacção onda-corrente. O modelo foi incluído num ambiente hidroinformático vocacionado para a modelação de processos costeiros (PINHO, 2001).

2.2.4 SIG

Todos os dados de campo, os levantamentos batimétricos e os MDT gerados a partir dos levantamentos terrestres e aéreos, foram combinados num SIG para a análise do terreno, das suas características e da sua dinâmica.

Os MDT foram analisados com o *software* ArcGIS. Determinaram-se os contornos da área observada, a sua tipologia, o volume total e volumes parciais para diferentes altitudes e para diferentes sectores. A comparação de MDT obtidos em datas diferentes permitiu quantificar as mudanças em altura e volume das geoformas, e o balanço sedimentar para os diferentes sectores. Obteve-se assim uma imagem da evolução do sector monitorizado para o período de observação.

As Imagens aéreas foram ortorrectificadas e montados mosaicos de imagens georreferenciadas com resolução de 0.1 m, para análise visual.

Os dados topográficos, provenientes da estação total, foram processados com a aplicação Microsoft Excel®. Os dados de GPS foram colhidos a partir dos dispositivos de GPS e pós-processados recorrendo à aplicação Trimble Total Control®. Para minimizar os erros associados à conversão de coordenadas, todos os dados foram colhidos e processados no sistema de coordenadas UTM/WGS84 (sistema de coordenadas interno do sistema GPS).

Os dados relativos à análise dimensional de sedimentos foram tratados com recurso ao programa SEDMAC (HENRIQUES, 2003, 2004). Esta aplicação permite obter diversos parâmetros dimensionais, comuns na análise dimensional de populações de partículas de sedimentos. Os dados estatísticos obtidos incluíram as frequências relativas e cumulativas, respeitantes à distribuição da população, em intervalos dimensionais de $\frac{1}{2} \phi$ (ϕ), a partir das quais foi obtido o traçado dos respectivos gráficos. Foram, também, determinados a média, o desvio padrão, a assimetria e a acuidade (curtose), utilizando o método dos momentos. Foi, também, calculada a distribuição das fracções dimensionais relativas à escala modificada de Wentworth. A distribuição das amostras, por classes dimensionais de $\frac{1}{2} \phi$, foi feita de acordo com as equivalências com a escala métrica. As dimensões e os resultados estatísticos das análises dimensionais foram processados de modo a serem incluídos no Sistema de Informação Geográfica, processados, de modo a permitir-se a sua referência nos *data* horizontal (ETRS89 PM06) e vertical (ZH) utilizados neste trabalho.

2.3 Avaliação da vulnerabilidade e risco

Concluída a fase de monitorização e o processamento de todos os dados obtidos, está em curso a avaliação da vulnerabilidade aos agentes que contribuem para os processos de erosão e avaliação do risco de erosão da zona costeira do concelho de Vila Nova de Gaia com base na informação produzida. A metodologia utilizada foi desenvolvida com base em trabalhos anteriores (PENDLETON *et al.*, 2005; THIELER, 2000; THIELER e HAMMER-KLOSE, 1999; KUMAR *et al.*, 2010; HEGDE e REHU, 2007; RAJAWAT *et al.*, 2006; LOUREIRO, 2005), mas especificamente adaptada às características do sector em análise.

Para tal será desenvolvido um índice de vulnerabilidade construído a partir das variáveis: parâmetros morfológicos, hidrodinâmicos, meteorológicos e outros obtidos a partir dos resultados do programa de monitorização.

A quantificação do risco de erosão será realizada considerando as particularidades deste sector costeiro densamente ocupado com edificações e infra-estruturas várias.

3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Foi analisada a tendência evolutiva em cada um dos segmentos no período entre 2005 e 2009 com base nos ortofotomapas disponíveis para a zona. Verificou-se que revelaram tendência de erosão os segmentos (ver Fig. 3) 2, 3, 4 (Norte), 5, 9, 13, 15, 16, 17 e 18. Pelo contrário, os segmentos 4 (Sul), 11 (Norte) e 14 revelaram uma tendência de acreção. Os segmentos 6, 7, 8, 10, 11 (Sul) e 12 revelaram, naquele período, estabilidade relativa. A natureza rochosa do segmento 1 confere-lhe uma estabilidade duradoura (na escala temporal em que se trabalhou).

Os resultados obtidos na primeira campanha de monitorização (Novembro de 2008) evidenciaram que os segmentos 2 a 9 (inclusive) são os que apresentam indicadores de processos erosivos recentes, enquanto que os segmentos 10 a 13 (inclusive) e sector Norte do 14 apresentam indicadores de estabilidade temporária.

Dois segmentos costeiros apresentam indicadores muito acentuados de erosão, decorrentes de obras costeiras a barlar: (i) caso do segmento 5, que tem sofrido um elevado recuo, devido à influência da obra de suporte do emissário da praia da Madalena, o qual funciona como uma barreira transversal à circulação dos sedimentos da corrente de deriva proveniente de Norte; (ii) o caso do segmento 15 e o sector meridional do 14, onde, devido à construção do quebra-mar do portinho da Aguda, a perda de sedimentos e desaparecimento das praias da Aguda-Granja são notórios. Nos dois casos, a barlar, tem havido acumulação de sedimentos, como seria expectável. No caso da praia da Madalena, forma-se uma praia em cunha contra o emissário, situação que tem favorecido o Parque de Dunas do Litoral da Aguda, agora com uma praia mais larga à sua frente. No caso da Aguda, formou-se um tómbolo, mais largo no lado setentrional.

No período compreendido entre Novembro de 2008 e Outubro de 2009 apresentaram balanço sedimentar negativo os segmentos 3, 5, 10 e 12. Os restantes apresentam um balanço sedimentar positivo. Há segmentos costeiros que apresentam indicadores muito acentuados de erosão, decorrentes de obras costeiras a barlar. É o caso do segmento 5, que tem sofrido um elevado recuo, devido à influência da obra de suporte do emissário submarino da praia da Madalena. O outro caso é o sector meridional do segmento 14 e o segmento 15, onde, devido à construção do quebra-mar do portinho da Aguda, a perda de sedimentos e desaparecimento das praias da Aguda-Granja são notórios.

Apenas se verificam balanços sedimentares positivos quando são realizadas operações de recarga. Contudo, esta é uma situação crítica a acompanhar, tanto mais que as observações do estado das recargas sedimentares colocadas na praia da Granja permitem concluir que estas se perdem em pouco tempo. Nos dois casos, a barlar, tem havido acumulação de sedimentos, como seria

expectável. No caso da praia da Madalena, a situação tem favorecido o Parque de Dunas do Litoral da Aguda, agora com uma praia mais larga à sua frente.

No período compreendido entre Novembro de 2008 e Maio de 2010 os resultados obtidos evidenciam um balanço sedimentar positivo, entre as duas campanhas. Os valores obtidos através dos MDTs, mesmo tendo em conta os erros associados à metodologia, levam-nos a admitir que há que considerar separadamente as áreas molhadas da praia (onde se fazem sentir os processos ligados às ondas e correntes de maré) e as áreas secas e vegetadas (onde se fazem sentir apenas os processos eólicos). Os valores de balanços sedimentares positivos encontrados decorrerão da acumulação verificada nas áreas secas, sujeitas a trânsito eólico intenso, independentemente dos valores negativos porventura registados na praia molhada. Tal análise será apresentada pormenorizadamente mais tarde.

Contudo, há segmentos costeiros que apresentam indicadores muito acentuados de erosão, decorrentes de obras costeiras a barlamar, como já foi referido. É o caso do segmento 5 na praia da Madalena e o sector meridional do segmento 14 e o segmento 15, nas praias da Aguda-Granja. Esta é uma situação crítica a acompanhar, tanto mais que as observações do estado das recargas sedimentares colocadas na praia da Granja permitem concluir que estas se perdem em pouco tempo.

A dinâmica erosiva a sotamar, decorrente da implantação de obras transversais (emissário) e longitudinais (quebra-mar destacado), é expectável, embora a sua magnitude seja dependente de múltiplos factores.

Quanto às características texturais dos sedimentos, elas mantêm-se globalmente, embora, localmente, apresentem algumas mudanças nos valores da dimensão e selecção das partículas. Esta homogeneidade dimensional das areias (globalmente grosseiras) não reflecte dinâmicas particulares de correntes preferenciais ao nível da praia. Tão pouco reflectem variações ao longo dos transectos praia-duna. Tal facto dever-se-á a um carácter artificial dos sedimentos, alguns possivelmente originários de antigos aterros.

De um modo geral, observou-se no campo que as concentrações de sedimentos muito grosseiros (seixos) na área do espraio, observadas na penúltima campanha, se encontravam cobertas de sedimentos mais finos na última campanha, o que reflectirá condições energéticas das ondas (menos elevadas) e novos influxos sedimentares.

Das observações realizadas, e da análise dos perfis imersos, verificou-se que a sua largura, tal como definida neste trabalho, apresenta valores uniformes no sector (cerca de 500 m), com excepção do segmento 6 (800 m) e dos segmentos 17 e 18 (cerca de 2000 m). No período de observação, registou-se uma correspondência entre áreas de acumulação preferencial nas praias e perfis submersos com menor declive. A interpretação dos dados de sonar permite identificar as áreas de acumulação sedimentar da plataforma continental interna e estabelecer relações com o comportamento morfo-sedimentar das praias contíguas.

Na Fig. 8 apresenta-se uma síntese das mudanças observadas entre Outubro 2009 (esquerda), Maio de 2010 (direita) e a primeira campanha (Novembro de 2008).

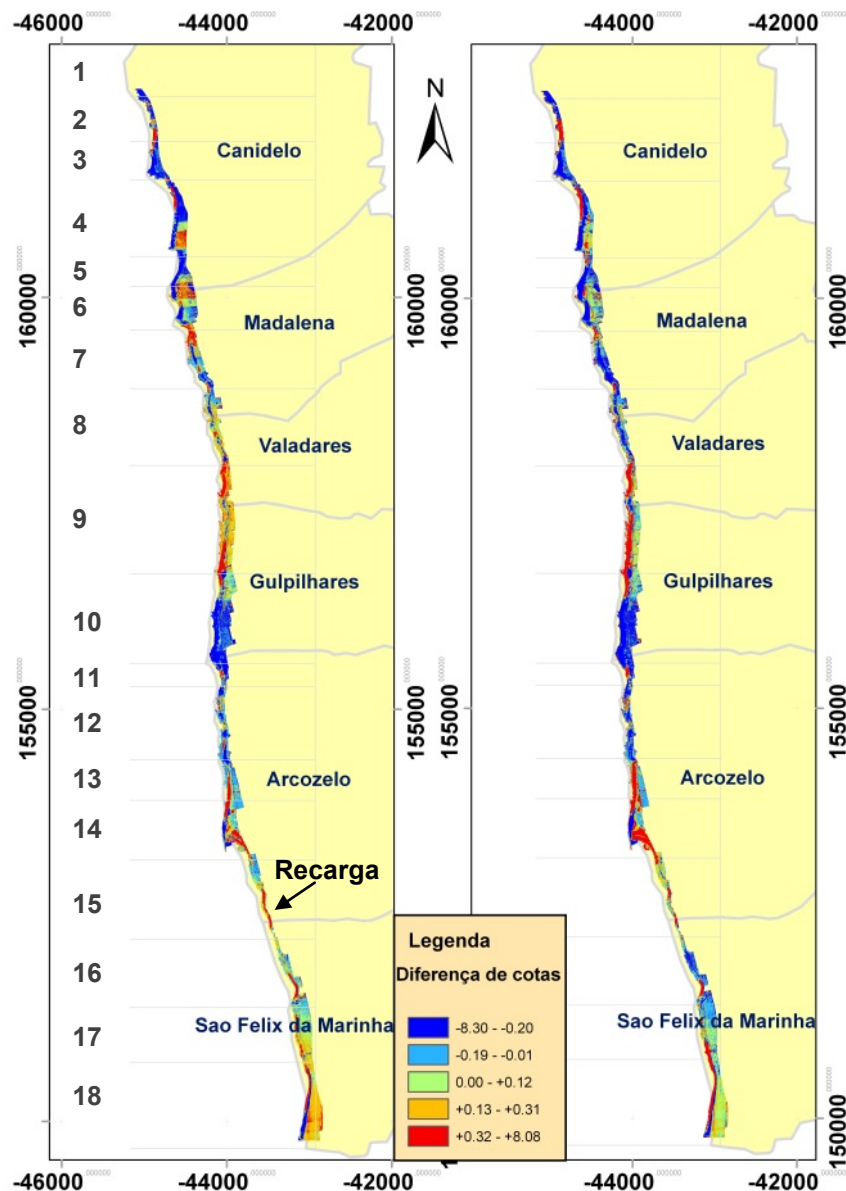


Figura 8 – Diferenças de cotas obtidas a partir dos MDT entre dois períodos distintos: Outubro de 2009 e Novembro de 2008 (esquerda), Maio de 2010 e Novembro de 2008 (direita).

Nos segmentos das freguesias de Canidelo e Madalena verificou-se uma tendência erosiva dominante. Nos segmentos de Valadares e norte de Gulpilhares pode observar-se uma estabilidade relativa. A sul desta freguesia verifica-se erosão. Na zona norte da freguesia de Arcozelo verifica-se estabilidade e erosão, enquanto que na Aguda existe uma tendência de acumulação a barlar da obra de defesa e no seu interior. Os segmentos da freguesia de S. Félix da Marinha apresentam estabilidade relativa no sector dunar e diferentes dinâmicas na face da praia.

4. CONCLUSÃO

O programa de monitorização apresentado neste trabalho permitiu, pela primeira vez, registar mudanças morfodinâmicas numa faixa costeira com características muito próprias, caracterizada por pequenas praias entre afloramentos rochosos, os quais geram pequenos tómbolos, o que lhes confere uma dinâmica própria, ainda mal conhecida.

Ao integrar um conjunto de metodologias multidisciplinares, suportadas por tecnologias avançadas, procedeu-se a uma demonstração singular das suas potencialidades no estudo de processos complexos geralmente mal avaliados.

A informação gerada pelo programa constitui uma base de informação muito útil para o planeamento e gestão integrada da zona costeira num concelho que tem privilegiado a sua qualificação ambiental.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Parque Biológico de Gaia, SA., pelo apoio financeiro para realizar o programa de monitorização entre 2008 e 2010.

BIBLIOGRAFIA

Bastos L., Madeira S. and Gonçalves J., 2009. A Land Based MMS for Coastal Monitoring, oral presentation at the IAG2009 Assembly, Buenos Aires, Argentina, August-September 2009.

Catalão, J.; Sevilha, J. J. (2009). "Mapping the geoid for Iberia and the Macaronesian Islands using multi-sensor gravity data and the GRACE geopotential model". *Journal of Geodynamics*, 4, 1, pp. 6–15.

Gonçalves J.A., Bastos L., Perez B. and Magalhães, A., 2010. Monitoring of beaches and sand dunes using digital aerial photography with direct georeferencing. In: Wagner, W., Székely, B. (eds.): ISPRS TC VII Symposium – 100 Years ISPRS, Vienna, Austria, July 5–7, 2010, IAPRS, Vol. XXXVIII, Part 7B, pp. 228-232.

Gonçalves, J. (2009). "Conversões de Sistemas de Coordenadas Nacionais para ETRS89 Utilizando Grelhas", in Actas da Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia, Caldas da Rainha, 7 e 8 de Maio de 2009.

Hegde, A.V. and Reju, V.R., 2007. Development of coastal vulnerability index for Mangalore coast, India. *Journal of Coastal Research*, 23, 1106–1111.

Henriques, R. (2003) - SEDMAC/SEDPC: programa informático de apoio à análise dimensional de populações detríticas. *Ciências da Terra – Volume Especial*, VI Congresso Nacional de Geologia, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, p. 40.

Henriques, R. (2004) - SEDMAC/SEDPC: An application to support particle size analysis of unconsolidated sediments. 32nd International Geological Congress, Florence-Italy, Abs. Vol., pt. 1, abs. 154-6, p. 726.

Jacobsen K., 2003. Program System BLUH user's manual. Institute of Photogrammetry and Engineering Surveys, University of Hanover, Hanover, 444pp.

Loureiro, E. J. S: M, 2007. Indicadores geomorfológicos e sedimentológicos na avaliação da tendência evolutiva da zona costeira : aplicação ao concelho de Esposende. Tese de doutoramento. Universidade do Minho.

Madeira S., 2007. Sistema Móvel Terrestre de Levantamento com Integração em SIG. PhD Thesis, Universidade do Porto (in Portuguese).

Nawogu G. and Demirebilek Z., 2001. BOUSS-2D: A Boussinesq Wave Model for Coastal Regions and Harbors. Report 1. Theoretical Background and User's Manual. US Army Corps of Engineers. Engineer Research and Development Center. USA.

Pendleton, E.A.; Thieler, E.R., and Williams, S.J., 2005a. Coastal Vulnerability Assessment of National Park of American Samoa to Sea-Level Rise. U.S. Geological Survey Open-File Report 2005-1055.

Pinho, J.L.S., 2001. Mathematical modelling application to hydrodynamics and water quality studies of coastal zones. PhD Thesis. University of Minho, Braga, Portugal (in Portuguese)

Rajawat, A.S.; Bhattacharya, S.; Jain, S.; Gupta, M.; Jayaprasad, P.; Tamilarasan, V.; Ajai, and Nayak, S., 2006. Coastal Vulnerability Mapping for the Indian Coast. Second International Symposium on "Geoinformation for Disaster Management"

T. Srinivasa Kumar, R. S. Mahendra, Shailesh Nayak, K. Radhakrishnan and K. C. Sahu, 2010. Coastal Vulnerability Assessment for Orissa State, East Coast of India. *Journal of Coastal Research*: Volume 26, Issue 3: pp. 523 – 534.

Thieler, E.R. and Hammar-Klose, E.S., 1999. National Assessment of Coastal Vulnerability to Sea-Level Rise, U.S. Atlantic Coast. U.S. Geological Survey Open-File Report 99-593, 1 sheet.

Thieler, E.R., 2000. National Assessment of Coastal Vulnerability to Future Sea-Level Rise. USGS Fact Sheet, fs-076-100.