

BALANÇO SEDIMENTAR COSTEIRO NO TROÇO LITORAL ENTRE A BARRA E A PRAIA DE MIRA

Soraia M. ROMÃO¹; Paulo R. BAPTISTA²; Cristina A. BERNARDES²

RESUMO

A costa noroeste portuguesa apresenta elevada fragilidade geomorfológica e exposição aos processos erosivos, associados ao clima de agitação marítima, altamente energético, à diminuição do acarreio sedimentar e à pressão antrópica. O presente estudo pretende caracterizar e quantificar o balanço sedimentar no litoral entre a Barra e a Praia de Mira, entre 2013 e 2015 a praia, nas componentes emersa e submersa. A metodologia implementada baseia-se num método de análise de balanços sedimentares que integra três elementos geomorfológicos, a duna frontal ou o dique arenoso que a substitui, a praia emersa e a praia submersa, considerando o recuo da linha de costa, definida junto à base da duna frontal, e respetiva erosão para caracterizar o contributo desta componente subaérea da praia no transporte sedimentar longilitoral. A variação de volume da duna frontal foi estimada com base em dados das respetivas cotas da crista e da base. Para a praia emersa e submersa utilizaram-se dados topográficos e batimétricos adquiridos em campanhas de monitorização, realizadas entre 2013 e 2015. Dos resultados obtidos, destaca-se a perda de $1 \times 10^6 \text{m}^3$ de sedimentos para o período de outubro de 2013 a fevereiro de 2014, na componente da praia emersa, associados a temporais que ocorreram durante o inverno. Entre fevereiro de 2014 e fevereiro de 2015 verificou-se um balanço sedimentar positivo na praia emersa, em cerca de $1.4 \times 10^6 \text{m}^3$. Para este comportamento acrecionário terão contribuído as intervenções de alimentação artificial em partes do trecho em estudo, durante a segunda metade de 2014. O estudo permitiu uma caracterização mais detalhada do comportamento morfodinâmico da zona, devido às intervenções de realimentação e de reforço de diques arenosos, e respetivo contributo sedimentar da componente subaérea da praia para alimentar as correntes de deriva litoral.

Palavras-chave: balanço sedimentar; erosão; litorais arenosos; morfodinâmica.

¹ Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, Campus Universitário de Santiago, 3810-193 Aveiro, Portugal. smr@ua.pt.

² CESAM e Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, Campus Universitário de Santiago, 3810-193 Aveiro, Portugal. {renato.baganha; cbernardes}@ua.pt.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

Os litorais arenosos constituem um dos ambientes mais dinâmicos e frágeis da zona costeira. Um dos problemas que, atualmente, mais afeta estes sistemas é a erosão, que resulta da combinação de fatores, naturais e antrópicos, que operam a diferentes escalas (EUrosion, 2006).

Uma forma de quantificar a erosão costeira é a relação entre a quantidade de sedimentos que entra e a quantidade de sedimentos que sai de um mesmo sistema através do balanço sedimentar. Este é utilizado para quantificar os fenómenos erosivos, as taxas de transporte litoral e compreender os processos costeiros (Bowen e Inman, 1966; Rosati, 2005). Os processos erosivos ocorrem quando a quantidade de sedimentos que sai do sistema, (entendido aqui como o domínio que contempla a praia emersa e praia submersa até à profundidade de fecho), é superior à quantidade que entra, gerando um balanço sedimentar negativo; na situação contrária verifica-se um balanço sedimentar positivo (Rosati, 2005). Os contributos sedimentares para o sistema resultam, geralmente, dos materiais sólidos transportados pelos rios, pela deriva litoral e através da erosão das arribas. A erosão ou perda de sedimentos do sistema está relacionada com o transporte de sedimentos para a plataforma continental, pelo transporte para sotamar causado pela deriva litoral e pelo transporte de sedimentos pelo vento, propiciando a formação de dunas. Sazonalmente, ocorrem perdas e ganhos pelo transporte sedimentar para o largo e para a praia, associados à ação energética das ondas, determinando o perfil de praia (Komar, 1998).

A costa noroeste portuguesa caracteriza-se por apresentar uma elevada fragilidade geomorfológica, constituída por sistemas dunares, com cotas baixas e por estruturas geológicas de origem sedimentar, igualmente, sensíveis (POOC, 2000). No litoral adjacente à laguna de Aveiro, os fenómenos de erosão costeira têm-se vindo a agravar desde a década de 70 devido, sobretudo, à retenção dos sedimentos transportados na deriva litoral nos molhes de acesso ao porto de Aveiro, bem como da extração de areias das praias durante vários anos. Devido aos problemas que afetam este sector têm sido vários os trabalhos realizados de índole diversa: recuo da linha de costa (Boto, 1997; Caetano, 2002; Diogo, 2004; Maia, 2012; Pereira, 2000), morfodinâmica (Dias *et al.*, 1994; Ferreira e Dias, 1992; Ferreira, 1998), clima de agitação marítima (Ferreira e Dias, 1997; Ferreira, 2005), vulnerabilidade e risco (Coelho, 2005; Veloso-Gomes *et al.*, 2004) e, menos abordado, balanço sedimentar costeiro (Baptista *et al.*, 2014; Ferreira, 1993).

1.2 Objetivos

Procura-se, com este trabalho, quantificar o balanço sedimentar no setor litoral entre a Barra e a Praia de Mira e o impacto das intervenções humanas e, também, de fenómenos naturais sobre o sistema costeiro. Nesse sentido, a quantificação dos balanços sedimentares efetuada a partir da análise da variabilidade morfológica e volumétrica para o período de outubro de 2013 a abril de 2015 é relacionada com intervenções de alimentação sedimentar em curso durante o período de análise visando uma caracterização de implicações ao nível da gestão litoral.

2. ÁREA DE ESTUDO

A zona costeira alvo deste estudo localiza-se na costa noroeste portuguesa, adjacente à laguna de Aveiro e estende-se desde a Barra à Praia de Mira, estando limitada a norte pelo canal de acesso ao porto de Aveiro e a sul pelo esporão norte da frente urbana da Praia de Mira (Figura 1). Insere-se num troço de constituição e evolução geologicamente recentes, enquadrada na orla meso-cenozoica ocidental portuguesa, constituída por depósitos modernos do Holocénico, aluviões, areias de duna e areias de praia. Os aluviões dispõem-se sobretudo junto à laguna de Aveiro, onde podem atingir espessuras de 40m. As areias de praia formam um extenso cordão litoral, que se estende com direção NE - SW em toda a região, interrompido apenas pela abertura do canal da barra. A limitar as areias de praia para E estão as areias de duna, que se estendem de Espinho ao limite norte da Serra da Boa Viagem, ocupando uma faixa com uma largura média de 5km.

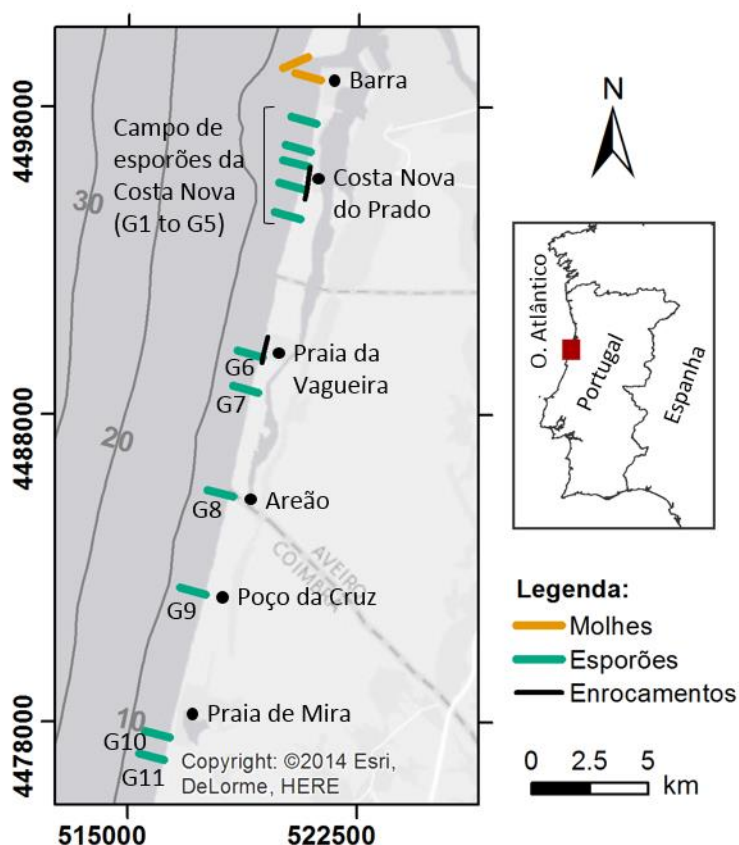


Figura 1. Localização da zona de estudo. G1 a G11 representam os esporões.

No sector em estudo, o cordão dunar encontra-se bastante degradado tendo sido parcialmente substituído por diques arenosos. Nas frentes urbanas é interrompido sendo por vezes substituído por enrocamentos como no caso da povoação da Vagueira. Após o rigoroso inverno de 2014 procedeu-se à reconstrução de diques arenosos e substituição do cordão dunar degradado, por novos diques arenosos, aos quais foram adicionadas paliçadas e plantada vegetação adequada para promover a fixação das dunas. Normalmente durante os invernos marítimos (entre outubro e março) o contacto entre a

praia emersa e o cordão dunar ou o dique arenoso é caracterizado por escarpas de erosão. Em casos pontuais, onde não ocorre erosão significativa ou há estabilização da praia, nomeadamente, a barlar de obras transversais de proteção costeira, é possível observar dunas embrionárias sendo nesses casos o contacto promovido pela base dessas dunas. A morfologia da praia submersa é dominada por barras arenosas, com uma orientação sub-paralela à costa. Ferreira (1993) identificou duas barras submersas distintas: a barra interna apresentava uma altura entre 0.5m e 1.0m e largura de 80m a 120m, por outro lado, a barra externa, de maiores dimensões, não excedia os 3m de altura nem 400m de largura.

A costa ocidental está exposta à ondulação gerada no Atlântico Norte, sendo esta bastante energética. De acordo com Romão (2014), durante o verão predomina ondulação com altura significativa entre 1m e 3m e período médio inferior a 7s. No inverno as condições de agitação são mais energéticas, durante eventos de temporal a altura significativa excede os 5m com período de pico que pode superar os 18s. A direção média da ondulação é, predominantemente, de NW não apresentando nenhum padrão anual definido. Os temporais que assolam a costa portuguesa provocam grandes alterações na morfodinâmica das praias, potenciando trocas transversais da praia emersa para a praia submersa, bem como intensificando a velocidade da corrente de deriva litoral.

A corrente de deriva litoral é a responsável pelo transporte de sedimentos ao longo da costa ocidental portuguesa. Esta é induzida pela incidência das ondas obliquamente à costa, em consequência da qual se geram correntes com resultante longitudinal, com direção predominante norte-sul (Ferreira, 1993). A direção dominante da deriva litoral pode ser observada pela acreção de sedimentos a norte dos obstáculos à corrente, como sejam os molhes dos portos e as obras transversais de proteção costeira (esporões).

3. DADOS E MÉTODOS

O desenvolvimento deste trabalho baseou-se na análise de dados topográficos e batimétricos adquiridos no âmbito do programa de monitorização *INSHORE*. Para a escala espacial foram considerados 5 setores do sistema litoral em estudo. Em relação à escala temporal definiu-se evolução desde outubro de 2013 a abril de 2015 para os dados topográficos e de 2012 a 2015 para a informação batimétrica.

A análise realizou-se em ambiente SIG, utilizando o *software ArcGis* da *Esri*, versão 10.1, recorrendo a algumas das suas extensões para elaboração de TINs e determinação de volumes.

3.1 Dados

3.1.1 Dados topográficos

Os dados topográficos da praia subaérea foram adquiridos a partir de campanhas realizadas com um veículo todo-o-terreno com o sistema de posicionamento *INSHORE* instalado o qual inclui vários recetores de GPS e um distanciamento laser (dados UA) (Baptista *et al.*, 2011). O conjunto de dados utilizados compreende as seguintes épocas: outubro de 2013, fevereiro de 2014 e fevereiro e abril de 2015.

Os dados de campo incluem grelhas de perfis longitudinais e transversais à costa desde a base da duna até ao limite de esprai da onda em condições de baixa-mar de maré viva.

Os dados estão referidos às coordenadas planimétricas do Datum 73 e a altitude está referenciada ao datum altimétrico do marégrafo de Cascais, que corresponde ao nível médio do mar (nmm), ou seja, +2.00 m do Zero Hidrográfico (ZH).

De forma a facilitar a análise dos dados e tendo em atenção os limites físicos impostos pelos esporões dividiu-se o setor costeiro Barra - Praia de Mira em 5 troços: Barra - Costa Nova (BCN) com cerca de 3.7 km de comprimento, Costa Nova - Vagueira (CNV) com perto de 4.8 km de comprimento, Vagueira - Areão (VA) com 3.5 km de comprimento, Areão - Poço da Cruz (APC) com 3.3 km de comprimento e Poço da Cruz - Praia de Mira (PCM) com cerca de 4.8 km de comprimento.

3.1.2 Dados batimétricos

Os dados batimétricos foram adquiridos pelo sistema *INSHORE* adaptado para embarcação (laser substituído por ecosonda de feixe simples) obtidos em março de 2012, julho de 2013 e fevereiro de 2015 e abrangem a praia submersa entre a Vagueira e a Praia de Mira. Foram realizados perfis transversais com um espaçamento de 500.0 m os quais atingem profundidades médias de -11.0 m (nmm) considerando do lado de terra o limite de aproximação da embarcação em condições de preia-mar (normalmente entre os -3.0 e os -4.0 m (nmm)). Aos dados batimétricos foram associados dados topográficos de levantamentos realizados em datas próximas daquelas em que foram adquiridos os dados batimétricos, de modo a obter um modelo digital do terreno representativo do sistema em análise para cada uma das épocas de observação.

3.1.3 Cota da duna

A cota da duna dos sectores da Barra ao Areão foi determinada a partir de campanhas realizadas em 2013. Entre o Areão e Praia de Mira recorreu-se à bibliografia e a estimativas (Lourenço, 2012). Os parâmetros utilizados no cálculo do volume, apresentados na Tabela 1, foram a cota média do topo da duna, atingida pela erosão (C_D), a cota média do contacto praia/duna (C_{PD}), determinada a partir das cotas do limite interior dos perfis topográficos e o recuo médio da linha de costa (R), considerando o contacto praia/duna. A taxa média de variação da linha de costa foi determinada tendo em conta a variação observada para um período de 10 anos (2003 a 2013), e para cada período analisado para a praia emersa.

Tabela 1. Parâmetros de cálculo do volume erodido da duna.

Sector	C_D (m)	C_{PD} (m)	R médio (m/ano)	R out13-fev14 (m)	R fev14-fev15 (m)	R fev15-abr15 (m)	E_L (m)
BCN	10.3	6.5	0.5	-6.4	-0.9	0.0	3700
CNV	8.9	4.9	0.8	-6.8	-1.6	1.0	4800
VA	9.7	5.0	0.6	-5.6	-5.6	5.0	3500
APC	11.5	5.4	-1.6	-6.5	-5.3	2.5	3300
PCM	13.0	6.8	-1.8	-6.0	-0.8	0.0	4800

3.2 Modelos digitais do terreno

Após a preparação dos dados de campo recorreu-se ao *software ArcGis* para gerar modelos 3D do terreno a partir dos perfis longitudinais e transversais. A modelação do relevo do terreno realizou-se através de um modelo vetorial, tendo como base uma rede irregular de triângulos (*Triangulated Irregular Network (TIN)*). A representação digital do relevo corresponde à criação de um conjunto de superfícies de faces triangulares planas e a superfície gerada denomina-se por modelo digital do terreno (MDT). Posteriormente, transformou-se cada MDT num ficheiro raster. Um ficheiro raster está organizado em uma ou mais bandas e cada banda é constituída por uma matriz de pixéis e para cada um está associado um valor. Este processo permite a subtração de dois modelos para o estudo da variação de cotas entre campanhas.

3.3 Volumes

O cálculo dos volumes da praia emersa foi realizado para células com extensão de 100 m. Os cálculos só são feitos para as zonas sobrepostas entre o polígono e a superfície do terreno. O volume é determinado entre a superfície topográfica e um plano horizontal definido pelo utilizador. Foi considerado um limite horizontal de referência que limita externamente a praia emersa (cota de 0.0 m), ou seja, o nmm e como limite interno a base da duna.

No cálculo de volume da praia submersa considerou-se como limite externo a cota de -11.0 m, correspondente à profundidade média de fecho, a qual foi determinada graficamente a partir da análise dos perfis batimétricos, e como limite interno à cota 0.0 m. Neste caso, o volume foi calculado para cada um dos troços, VA, APC e PCM.

Para o cálculo do volume da duna considerou-se a metodologia aplicada por Ferreira (1993). Este autor determinou, a partir de fórmulas empíricas, o contributo das dunas e dos diques arenosos após erosão, para o volume da praia emersa e para a deriva. O volume erodido do cordão frontal e dique arenoso é calculado recorrendo à equação:

$$V_D = R(C_D - C_{PD}) \times E_L \quad (1)$$

Sendo,

R - taxa média de recuo da linha de costa (m/ano);

C_D - cota média da crista da duna;

C_{PD} - cota média do contacto praia/duna;

E_L - extensão longitudinal de cada segmento considerado (m).

4. RESULTADOS

4.1 Praia emersa

A Figura 2 apresenta a variação volumétrica para cada sector para três períodos: de outubro de 2013 a fevereiro de 2014, de fevereiro de 2014 a fevereiro de 2015 e de fevereiro a abril de 2015. Cada célula corresponde a 100 metros e a variação de volume é apresentada em metros cúbicos por metro linear de praia. De outubro de 2013 a fevereiro de 2014, período correspondente ao inverno marítimo, observa-se que ocorreu erosão generalizada a todo o sector costeiro, com perdas superiores a 200 m³/m. Além disso, verifica-se que a perda de sedimentos é menor a norte de cada sector, aumentando para sul.

O período seguinte corresponde a épocas homólogas, fim do inverno marítimo, entre fevereiro de 2014 e fevereiro de 2015. Contrariamente ao que se passou no período anterior, neste caso é de salientar o aumento de volume em todos os sectores, especialmente nos sectores VA e APC.

Quanto ao período mais recente, de fevereiro a abril de 2015, regista-se um comportamento distinto entre sectores. No sector BCN verifica-se acreção ao longo de toda a extensão, sendo mais acentuada entre o primeiro e segundo esporões, o mesmo comportamento também se observa para o sector CNV. Por outro lado, nos sectores VA e APC predomina a erosão, voltando-se a verificar aumento de volume no trecho PCM.

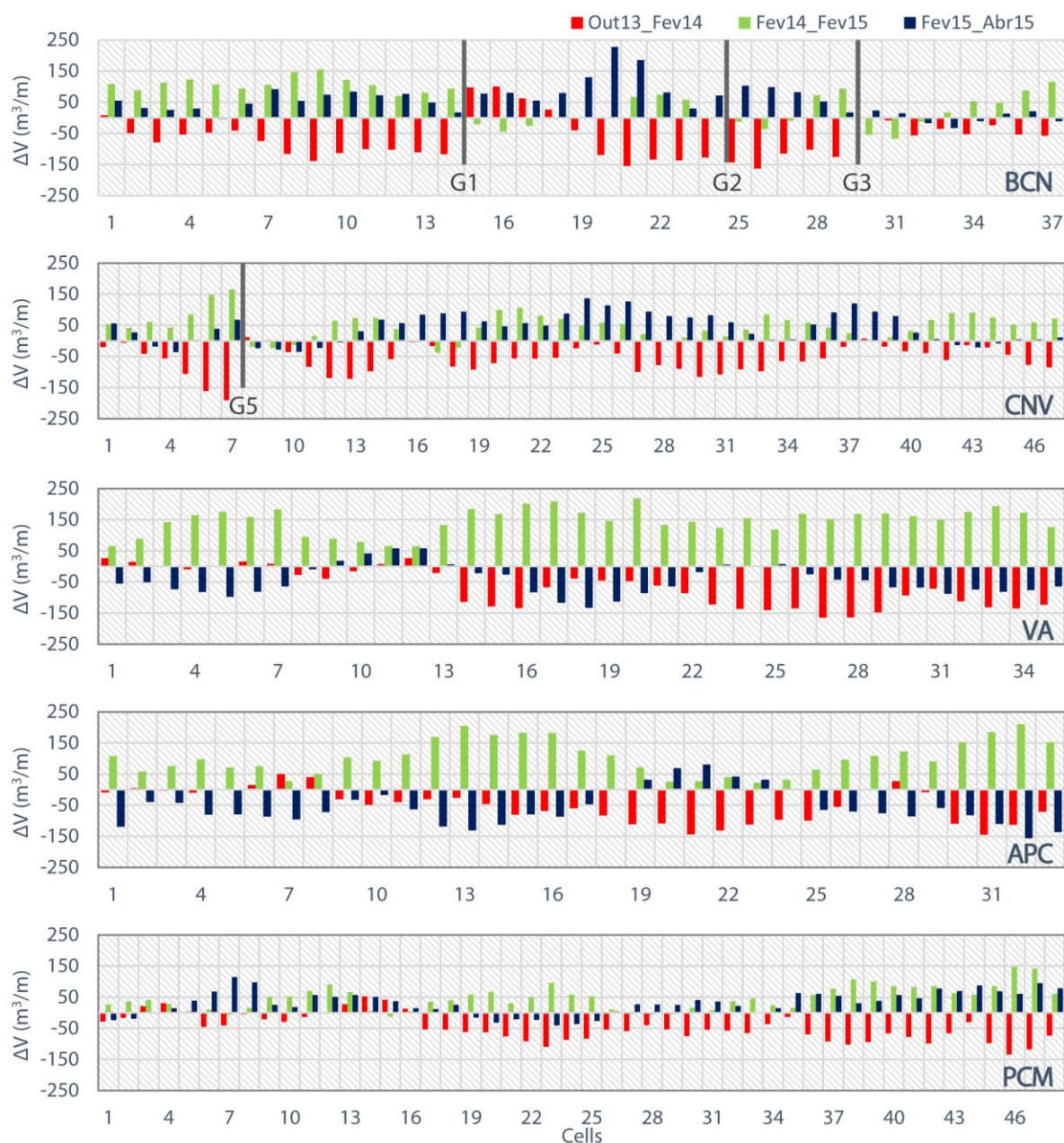


Figura 2. Variação de volumes absolutos ao longo de cada sector para os três períodos analisados. G1, G2, G3 e G5 representam esporões.

Frequentemente, a variação de volume apresenta um padrão rítmico sinusoidal (aumenta e diminui de forma gradual ao longo do setor apresentando repetições desse padrão de x em x metros, consoante o sector). Este padrão é detetável em todos os períodos, no entanto, estão mais bem definidos nuns setores do que noutros. Por exemplo, no sector BCN não é possível extrair o comprimento de onda destes padrões devido à presença sistemática de esporões, assim como no sector PCM entre fevereiro de 2014 e fevereiro de 2015. No sector CNV o comprimento de onda deste padrão ronda entre 1000 – 1100 m nos três períodos analisados. Para os sectores VA e APC o comprimento de onda é mais curto no período de outubro de 2013 a fevereiro de 2014, com cerca de 850 m e 1100 m no sector PCM. De fevereiro de 2014 a fevereiro de 2015, o padrão no sector VA apresenta um comprimento de onda médio de 800 m e no sector APC de 1400 m. Por fim, de fevereiro a abril de 2015, nos sectores VA, APC e PCM o comprimento de onda médio é de 1350, 1200 e 1250, respetivamente.

Fazendo o balanço global para a praia emersa, apresentado na Tabela 2, no inverno de 2013/2014 perdeu-se mais de um milhão de metros cúbicos. O sector que mais sofreu entre outubro de 2013 e fevereiro 2014 foi VA com uma perda média de $68 \text{ m}^3/\text{m}$. Por outro lado, até abril de 2015, o sector BCN tem registado os maiores ganhos enquanto o sector APC regista um balanço negativo médio de cerca de $1.7 \text{ m}^3/\text{m}$, para o intervalo estudado.

Tabela 2. Balanço sedimentar da praia emersa para cada sector e para cada intervalo analisado (m^3/m). O balanço corresponde ao ganho médio por metro para o período outubro 2013 – abril 2015.

Sector	Out13-Fev14	Fev14-Fev15	Fev15-Abr15	Balanço
BCN	-67.3	51.8	56.2	13.6
CNV	-60.9	47.9	42.5	9.8
VA	-68.5	146.2	-45.9	10.6
APC	-51.5	103.5	-57.2	-1.7
PCM	-48.1	47.3	31.9	10.4

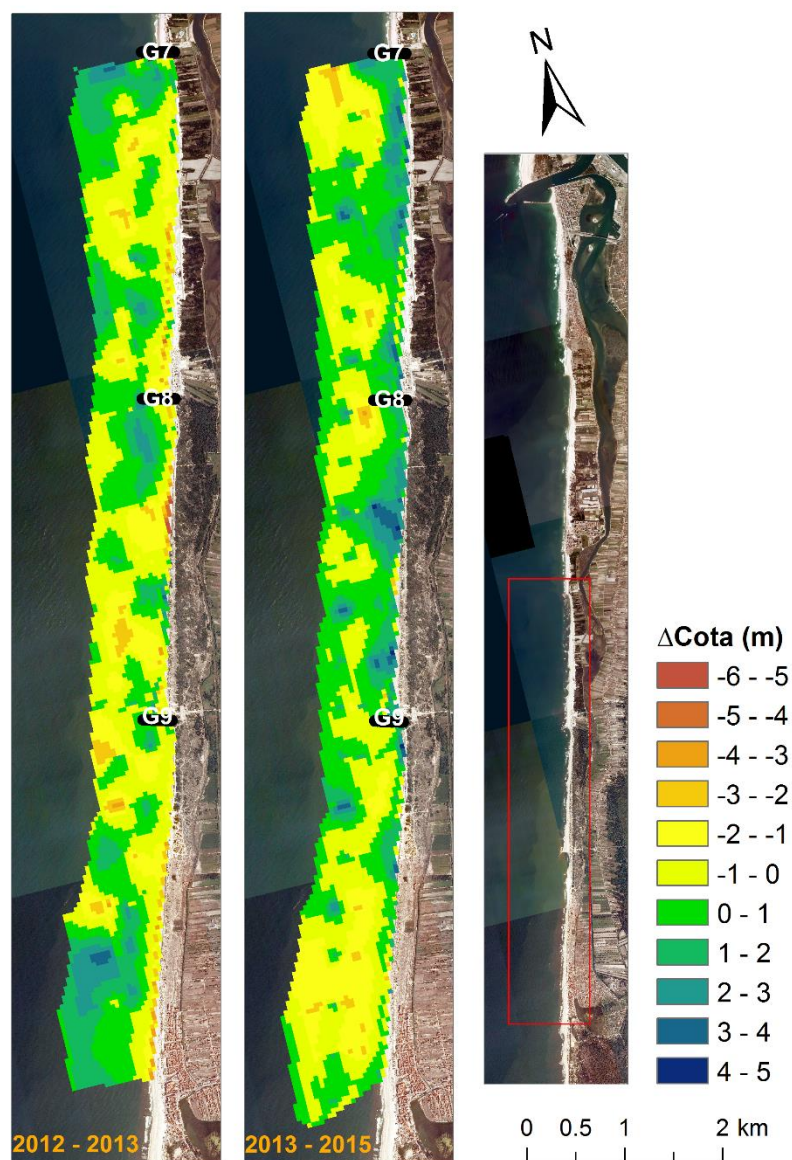
4.2 Praia submersa

Os resultados obtidos para a praia submersa contrastam nos dois períodos analisados (Tabela 3). Enquanto entre 2012 e 2013 houve um aumento de volume nos três setores analisados, entre 2013 e 2015 houve perda. Os sectores que apresentam variações mais significativas são o sector PCM de 2012 a 2013 com um ganho superior a $900 \text{ m}^3/\text{m}$ e o sector VA de 2013 a 2015 com perdas superiores a $1000 \text{ m}^3/\text{m}$. Por outro lado, o sector APC é o que exhibe menores variações em ambos os períodos.

Comparando as diferenças batimétricas, apresentadas na Figura 3, para os dois períodos analisados, regista-se entre março de 2012 e julho de 2013 uma diminuição de cotas na zona de contacto entre a praia submersa e a praia emersa, e os três sectores demonstram o mesmo comportamento. Em oposição, entre 2013 e 2015, verifica-se que as cotas aumentaram para a mesma zona, sobretudo nos sectores VA e APC, diminuindo para zonas mais profundas.

Tabela 3. Volume e balanço sedimentar da praia submersa, para cada sector e para cada intervalo analisado.

Sector	Volume ($\times 10^3 m^3$)			Δ Volume (m^3/m)	
	março2012	julho2013	fevereiro2015	2012-2013	2013-2015
VA	24568.5	27682.4	23743.5	889.7	-1125.4
APC	22607.0	22672.8	21642.4	199.2	-312.2
PCM	28074.2	32405.1	28299.0	902.3	-855.4

**Figura 3.** Evolução temporal da topo-batimetria para os sectores VA, APC e PCM. G7, G8 e G9 representam os esporões.

4.3 Cordão dunar / dique arenoso

Os resultados que se apresentam na Tabela 4 indicam o contributo médio por ano do cordão dunar para a praia emersa e para cada período analisado. Em condições médias registou-se um aumento de volume nos sectores BCN, CNV e VA. Por outro lado, os sectores APC e PCM perderam em média cerca de 32 e 53 m³/ano, respetivamente. Por outro lado, de outubro de 2013 a fevereiro de 2014 registou-se perda de volume em todos os sectores, que tende a aumentar de norte para sul. Para o período de fevereiro de 2014 a fevereiro de 2015 volta-se a registar a mesma tendência erosiva, sendo esta mais significativa nos sectores VA e APC. Por outro lado, de fevereiro a abril de 2015, os sectores BCN e PCM não registam alterações, enquanto os sectores CNV, VA e APC sofreram um avanço da linha de contacto praia emersa/duna e, conseqüentemente, um aumento de volume, sendo este mais significativo em VA e APC.

Tabela 4. Volume perdido por parte do cordão dunar.

Sector	V _D médio (m ³ /ano/m)	V _D out13 – fev14 (m ³ /m)	V _D fev14-fev15 (m ³ /m)	V _D fev15-abr15 (m ³ /m)
BCN	+1.9	-24.3	-3.4	0.0
CNV	+3.2	-27.2	-6.4	4.0
VA	+2.8	-26.3	-26.3	23.5
APC	-9.8	-39.6	-32.3	15.2
PCM	-11.2	-37.2	-4.9	0.0

5. DISCUSSÃO

No inverno de 2013/2014, a costa portuguesa foi atingida por eventos de temporal de grande magnitude que, não só levaram a areia das praias, como também destruíram bens e serviços. Segundo IPMA (2014), desde meados do mês de dezembro de 2013 formaram-se depressões muito cavadas no Atlântico Norte que originaram valores muito elevados de ondulação, atingindo, no dia 6 de janeiro, alturas significativas de cerca de 9 metros na costa ocidental portuguesa. Na boia de Leixões foram registadas ondas com altura significativa até 9 m e altura máxima de 13,5 m. Adicionalmente, foram registadas ondas com um período médio de cerca de 12 s, tendo atingido períodos máximos superiores a 20 s. A direção de procedência da ondulação foi de WNW. Nos dias 8 e 9 de fevereiro de 2014 voltou-se a verificar um fenómeno semelhante. O vento intenso associado à depressão originou agitação marítima forte no Atlântico, tendo sido registado nas boias ondógrafo do Instituto Hidrográfico ondas com altura significativa até 8 m e altura máxima de 12.5 m, em Leixões, associadas a um período médio de 10 s (Romão, 2014).

Estes eventos justificam o recuo e a erosão observados na praia emersa e no cordão dunar ou dique arenoso que o substitui. Além disso, analisando os volumes perdidos nas duas componentes, o volume retirado à duna não foi suficiente para alimentar a praia emersa.

O comportamento acrecionário registado entre fevereiro de 2014 e fevereiro de 2015 reflete as intervenções realizadas na segunda metade de 2014, onde foram depositados centenas de milhares de metros cúbicos de sedimento nas componentes emersa e submersa. Por outro lado, o inverno abrangido neste período foi mais ameno, contribuindo para uma menor erosão do litoral. Apesar do aumento de volume, registou-se um recuo do contacto

praia/duna, que também poderá ter contribuído com sedimentos para a praia emersa, sobretudo nos sectores VA e APC. A este fato pode estar associado um reperfilamento do perfil de praia, aquando das alimentações artificiais, contribuindo para as alterações observadas.

De fevereiro a abril de 2015 verifica-se um comportamento díspar entre os 5 sectores. O balanço positivo nos sectores BCN, CNV a PCM pode ser justificado pelas condições favoráveis de agitação que contribuem para a migração das barras submersas que vão alimentar a praia emersa, transição do perfil de inverno (dissipativo) para o perfil de verão (refletivo). No entanto, nos sectores VA e APC verifica-se o contrário, que pode estar associado ao avanço da linha de contacto praia/duna e conseqüente diminuição da área da praia e aumento do volume do cordão dunar ou dique arenoso que o substitui. Além disso, parte do volume perdido nestes dois trechos ao entrarem na corrente de deriva litoral pode ter alimentado o sector a sul, PCM. Enquanto os sectores a norte, BCN e CNV, estão a beneficiar do efeito sombra do molhe sul da entrada ao porto (prolongado recentemente).

O padrão rítmico sinusoidal verificado ao longo de quase todos os setores deve-se à presença de barras transversais rítmicas, as quais migram ao longo da componente longitudinal da praia, induzindo variações de largura e conseqüente volume de praia.

Quanto às variações batimétricas, as campanhas são demasiado espaçadas temporalmente para analisar variações sazonais. Contudo, entre 2012 e 2013 foram realizadas alimentações artificiais (cerca de $1.7 \times 10^6 \text{ m}^3$) entre as batimétricas -2 e -5 m (Z.H.), entre os esporões 3 e 5 (G3 e G5), a sul do molhe sul (APA S.A., 2012). Com a corrente de deriva e as condições de agitação o volume depositado pode ter migrado para sul. Por outro lado, os eventos de temporal do inverno de 2013/2014 podem ter levado para o largo sedimentos que dificilmente retornam à costa ou alterando o equilíbrio das barras submersas, justificando a diminuição de volume entre 2013 e 2015.

6. CONCLUSÃO

A faixa litoral estudada é bastante exposta às condições de agitação marítima e de elevada vulnerabilidade à erosão costeira. A zona está inserida num segmento costeiro onde a pressão urbana excessiva levou a uma artificialização do mesmo, o que contribuiu para uma diminuição do transporte sedimentar pela deriva litoral que a afeta particularmente.

Para o período analisado verificou-se um balanço positivo em praticamente todos os sectores, sendo o sector BCN aquele que mais tem recuperado em virtude das intervenções de alimentação artificial. Os resultados demonstraram a fragilidade do sector APC, onde se verificou uma perda média de $1.7 \text{ m}^3/\text{m}$. Contudo, a alimentação artificial realizada na segunda metade de 2014 amortizou as perdas observadas no inverno de 2013/2014.

A metodologia aplicada na determinação do volume perdido pelo cordão dunar ou dique arenoso que o substitui permite analisar a interdependência entre a praia emersa e o cordão dunar. O balanço entre 2013 e 2015 identifica, mais uma vez, o sector APC com maior perda de volume e o sector BCN o menos fustigado.

A análise dos resultados batimétricos permitiu a identificação do aumento de volume para o período 2012 – 2013, em especial para o sector PCM. No período seguinte observou-se perda de volume em todos os sectores, atingindo uma perda de média de $1125 \text{ m}^3/\text{m}$ para o sector VA. Para os intervalos analisados não foi possível comparar o comportamento das

barras submersas, entre verão e inverno, uma vez que os intervalos entre campanhas não são representativos de épocas consecutivas.

Este estudo permitiu, ainda, obter uma caracterização mais detalhada do comportamento morfodinâmico da zona e da vulnerabilidade à ação de temporais e à presença de estruturas de proteção costeira. Os dados obtidos podem ser considerados como um contributo para a gestão e ordenamento do litoral, tendo em conta que todo o troço é de exposição elevada a muito elevada aos processos que provocam erosão costeira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APA S.A., 2012. *Relatório de Monitorização da Evolução Sedimentar e Batimétrica. Na Campanha de Monitorização Ambiental no Âmbito do Projeto “Dragagem da Barra com Reforço do Cordão Dunar” – Ano 4.* Relatório técnico, Administração do Porto de Aveiro S.A., Aveiro, 20.

Baptista, P., Coelho, C., Pereira, C., Bernardes, C., e Veloso-Gomes, F. (2014). Beach morphology and shoreline evolution: Monitoring and modelling medium-term responses (Portuguese NW coast study site). *Coastal Engineering*, 84, 23–37.

Baptista, P., Cunha, T., Matias, A., Gama, C., Bernardes, C., e Ferreira, Ó. (2011). New land-based method for surveying sandy shores and extracting DEMs: the INSHORE system. *Environmental monitoring and assessment*, 182(1-4), 243–57.

Boto, A. (1997). *Evolução da zona costeira entre a Costa Nova do Prado e o Areão.* Dissertação de Mestrado em Ciências das Zonas Costeira. Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, Aveiro.

Bowen, A., e Inman, D. (1966). Budget of littoral sands in the vicinity of Point Arguello, California. *Technical Memorandum* 19, 45.

Caetano, P. (2002). *Análise fotointerpretativa da evolução da linha de costa e morfologias dunares entre o Furadouro e a Praia de Mira.* Dissertação de Mestrado. Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, Aveiro.

Coelho, C. (2005). *Riscos de exposição de frentes urbanas para diferentes intervenções de defesa costeira.* Dissertação de Doutoramento em Engenharia Civil. Secção Autónoma de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Aveiro.

Dias, J., Ferreira, Ó., e Pereira, A. (1994). *Estudo sintético de diagnóstico da geomorfologia e da dinâmica sedimentar dos troços costeiros entre Espinho e Nazaré.* Universidade do Algarve, Lisboa.

Diogo, M. (2004). *Evolução da linha de costa da praia da Vagueira.* Dissertação de Mestrado. Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, Aveiro.

EUrosion. (2006). *Viver com a erosão costeira na Europa – Sedimentos e espaço para a sustentabilidade.* (P. Doody, M. Ferreira, S. Lombardo, I. Lucius, R. Misdorp, H. Niesing, ... J. P. Barbosa, Eds.) (1ª ed.). Luxemburgo: Luxemburgo: Serviço das Publicações Oficiais das Comunidades Europeias.

Ferreira, Ó. (1993). *Caracterização dos principais factores condicionantes do balanço sedimentar e da evolução da linha de costa entre Aveiro e o Cabo Mondego*. Dissertação de Mestrado em Geologia Económica e Aplicada. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa.

Ferreira, Ó. (1998). *Morfodinâmica de praias expostas: aplicação ao sector costeiro Aveiro-Cabo Mondego*. Dissertação de Doutoramento em Ciências do Mar. Unidade de Ciências e Tecnologias dos Recursos Aquáticos, Universidade do Algarve, Algarve.

Ferreira, Ó. (2005). Storm groups versus extreme single storms: predicted erosion and management consequences. *Journal of Coastal Research*, SI(42), 221–227.

Ferreira, Ó., e Dias, J. (1997). Avaliação da acção de temporais na costa oeste portuguesa (sector Aveiro - Cabo Mondego). *Associação EUROCOASTPORTUGAL, Porto*, 429–447.

Ferreira, Ó., e Dias, J. A. (1992). Dune erosion and shoreline retreat between Aveiro and Cape Mondego (Portugal). Prediction of future evolution. *Proceedings of the international coastal congress*, 187–200.

Komar, P. (1998). *Beach processes and sedimentation* (2^a ed.). Upper Saddle Rive, New Jersey: Prentice Hall.

Lourenço, C. S. (2012). *Dinâmica da duna frontal em função das intervenções humanas*. Dissertação de Mestrado em Ciências do MAR e Zonas Costeiras. Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, Aveiro.

Maia, A. (2012). *Evolução litoral entre a Vagueira e a Praia de Mira - análise geoeconómica*. Dissertação de Mestrado em Ciências do MAR e Zonas Costeiras. Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, Aveiro.

Pereira, L. (2000). *Evolução de curto prazo da linha de costa entre Costa Nova e Poço da Cruz*. Dissertação de Mestrado em Ciências das Zonas Costeiras, Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, Aveiro.

POOC. Plano de Ordenamento da Orla Costeira de Ovar-Marinha Grande, Pub. L. No. I SÉRIE-B (2000). Portugal: Diário da República.

Romão, S. (2014). *Balanço sedimentar costeiro no troço litoral entre a praia da Barra e a praia de Mira*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Geológica. Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, Aveiro.

Rosati, J. (2005). Concepts in sediment budgets. *Journal of Coastal Research*, 212, 307–322.

Veloso Gomes, F., Taveira Pinto, F., Neves, L., Pais Barbosa, J., e Coelho, C. (2004). Erosion risk levels at the NW Portuguese coast: The Douro mouth - Cape Mondego stretch. *Journal of Coastal Conservation*, 10(1), 43.