

ANÁLISE E MODELAÇÃO DA PRAIA DE CALA MILLOR (ILHAS BALEARES DE MAIORCA)

Benjamín PARREÑO MAS¹; Tiago ABREU²; Vicent ESTEBAN CHAPAPRÍA³

RESUMO

A Praia de Cala Millor é uma praia urbana localizada nas Ilhas Baleares de Maiorca localizada no Mar Mediterrâneo ocidental. A praia apresenta uma ocupação alta durante os meses de verão. A economia da região depende principalmente da manutenção, em termos de conforto e qualidade, tanto da praia arenosa, como de águas em boas condições para usufruto balnear. A praia localiza-se numa baía rochosa e possui uma camada fina de areia, repousando sobre um substrato rochoso que fica continuamente a descoberto, impedindo o uso recreativo da praia em determinados períodos. Por vezes, isso também ocorre durante a época balnear, causando danos ao sector turístico e às empresas que aí estabeleceram os seus serviços.

Nas últimas décadas, a área urbanística desenvolveu-se em direção à praia, destruindo praticamente todo o sistema dunar preexistente. A modificação do estado de equilíbrio da praia natural tornou-a mais refletiva e vulnerável. Podem-se equacionar algumas soluções para este problema, mas deve-se atender que, perto da costa, o fundo do mar está coberto por uma vegetação nativa conhecida como *Posidonia Oceânica*. Este tipo de vegetação é responsável pela diminuição das alturas de onda através de dissipação de energia. Este trabalho visa avaliar a dinâmica sedimentar da Praia de Cala Millor, considerando a influência da vegetação na morfodinâmica da praia.

Para as simulações de hidrodinâmica e de transporte sedimentar recorreu-se ao programa SMC (Sistema de Modelação Costeira) que integra uma série de modelos numéricos e permite modelar o local em estudo. Os resultados deste trabalho são preliminares, mas contribuem para uma melhor compreensão das especificidades locais associadas à Praia de Cala Millor. Estes apontam para um desequilíbrio do transporte sedimentar associado às derivas para norte e para sul aquando de situações de tempestades. Esta informação é importante, pois visa-se contribuir para uma gestão costeira eficiente, pretendendo melhorar o conhecimento sobre a morfologia costeira local.

¹ Engenheiro de Caminos, Canales y Puertos; Universidad Politecnica de Valencia; Camino de Vera, s/n 46022 Valencia, Espanha; benja0764@gmail.com, Telefone: +34 963877150.

² Doutor e Professor Adjunto; CESAM & Departamento de Engenharia Civil – Instituto Superior de Engenharia do Porto, ISEP-IPP; Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431, 4249-015 Porto, Portugal; taa@isep.ipp.pt, Telefone: +351 228340500.

³ Doutor, Professor e Diretor da Escuela Técnica Superior Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos; Universidad Politecnica de Valencia; Camino de Vera, s/n 46022 Valencia, Espanha; vesteban@tra.upv.es, Telefone: +34 963877150.

Palavras-chave: atenuação de ondas; morfodinâmica; *Posidonia Oceânica*; praia urbana.

1. INTRODUÇÃO

A Praia de Cala Millor é uma praia urbana localizada nas Ilhas Baleares de Maiorca localizada no Mar Mediterrâneo ocidental. A praia apresenta uma ocupação alta durante os meses de verão. A economia da região depende principalmente da manutenção, em termos de conforto e qualidade, tanto das praias arenosas, como de águas em boas condições para usufruto balnear. A praia localiza-se numa baía rochosa e possui uma camada fina de areia, repousando sobre um substrato rochoso que fica continuamente a descoberto, impedindo o uso recreativo da praia em determinados períodos. Por vezes, isso também ocorre durante a época balnear, causando danos ao sector turístico e às empresas que aí estabeleceram os seus serviços.

Nas últimas décadas, a área urbanística desenvolveu-se em direção à praia, destruindo praticamente todo o sistema dunar preexistente. A modificação do estado de equilíbrio de praia natural tornou-a mais refletiva e vulnerável. Podem-se equacionar algumas soluções para este problema, mas deve-se atender que, perto da costa, o fundo do mar está coberto por uma vegetação nativa conhecida como *Posidonia Oceânica* (e.g., Gobert *et al.*, 2006). Este tipo de vegetação é responsável pela diminuição das alturas de onda através de dissipação de energia (Kobayashi *et al.*, 1993; Lima *et al.*, 2006; Sánchez-González *et al.*, 2011). Este trabalho visa avaliar a dinâmica sedimentar da Praia de Cala Millor, considerando a influência da vegetação na morfodinâmica da praia.

Para as simulações de hidrodinâmica e de transporte sedimentar recorreu-se ao programa SMC (Sistema de Modelação Costeira) que integra uma série de modelos numéricos e permite modelar o local em estudo. Os resultados deste trabalho são preliminares, mas contribuem para uma melhor compreensão das especificidades locais associadas à Praia de Cala Millor. Por conseguinte, o estudo visa contribuir para uma gestão costeira eficiente, pretendendo melhorar o conhecimento sobre a morfologia costeira local.

2. PRAIA DE CALA MILLOR

A Praia de Cala Millor pertence ao município de Son Servera, das Ilhas Baleares de Maiorca (Figura 1). Trata-se de uma praia encaixada com cerca de 1600 m de comprimento e 35 m de largura com orientação NNE-SSW.

Relativamente a condições de agitação locais, prevalecem ondas que provêm dos dois primeiros quadrantes. Devido à maior energia e frequência das ondas que se fazem sentir do primeiro quadrante, é usual a geração de uma deriva litoral dominante com sentido N-S. As marés astronómicas apresentam variações médias mensais entre 0,19 m e 0,48 m.

Para caracterizar o clima de agitação de Cala Millor, recorreu-se a dados da boia Capdepera que integra a rede litoral espanhola. Esta possibilita uma boa caracterização da agitação, pois encontra-se relativamente próxima do local em estudo. Essas informações são disponibilizadas na internet pelo governo espanhol através do sítio “*Puertos del Estado*”. Os dados da boia corroboram que a praia é afetada principalmente por ondas originadas no

primeiro e no segundo quadrante. As do primeiro quadrante apresentam uma frequência mais elevada e uma direção média de 18° (N18E). As do segundo quadrante apresentam uma menor frequência com direção média próxima de 117° (S63E).



Figura 1. Localização do município de Son Servera em Maiorca.

Devido ao desequilíbrio sazonal da propagação entre norte e sul, pode-se esperar uma perda anual líquida de sedimentos na baía, que resulta no desaparecimento das areias em determinados períodos. Recorde-se ainda que há que considerar o efeito de dissipação de energia produzido pelas algas marinhas da espécie *Posidonia Oceanica*. Essa vegetação reduz as ondas mais enérgicas e é espectável que restaure o equilíbrio do trânsito sedimentar gerado pelas ondas do primeiro e do segundo quadrante.

Para analisar as flutuações da agitação em termos de médias mensais e anuais processaram-se os dados da boia Capdepera entre os anos 1990 e 2013. As figuras 2 e 3 mostram, respetivamente, os valores médios anuais de altura de onda significativa (H_s) e do período de pico (T_p). Ambas as figuras evidenciam os valores médios, bem como a flutuação em torno da sua média quando adicionada e subtraída do desvio padrão. Observa-se um ligeiro aumento de H_s ao longo das últimas décadas, mas, em média, pode-se adotar um valor $H_s \approx 1.0$ m. Existe maior constância relativamente ao período de pico, pois $T_p \approx 6.2$ s em praticamente todo o horizonte temporal analisado.

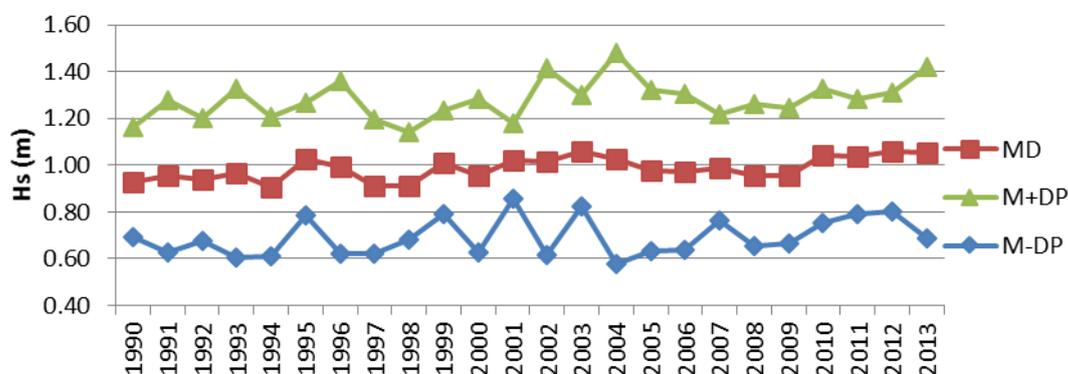


Figura 2. Média da altura de onda significativa registada na boia Capdepera, entre os anos 1990 e 2013. A linha MD representa o valor médio e as outras linhas adicionam e subtraem o desvio padrão (DP).

As figuras 4 e 5 indicam, respetivamente, os valores médios mensais de altura H_s e T_p . As figuras evidenciam alguma variabilidade associada ao clima mediterrâneo (definido por verões quentes e secos e invernos chuvosos), mas também comprovam que no Mar Mediterrâneo não existe uma variação muito significativa da altura de onda e do período de pico face aos valores médios anuais.

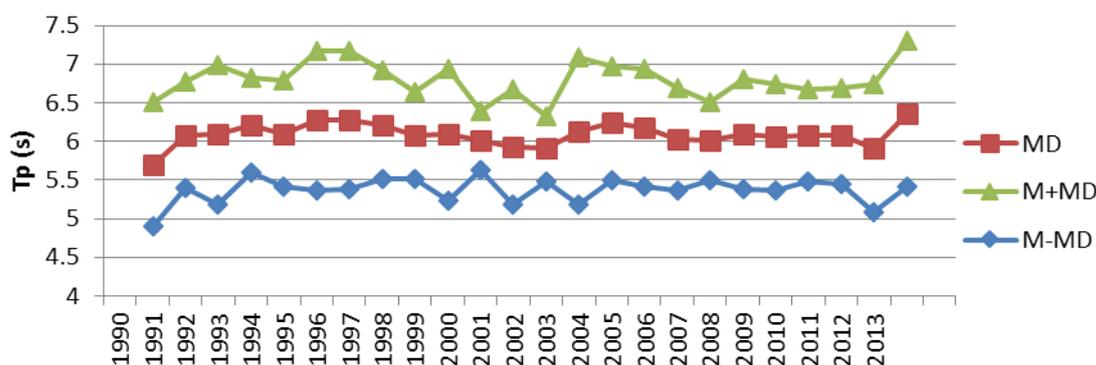


Figura 3. Período de pico registado na boia Capdepera, entre 1990 e 2013. A linha MD representa o valor médio e as outras linhas adicionam e subtraem o desvio padrão (DP).

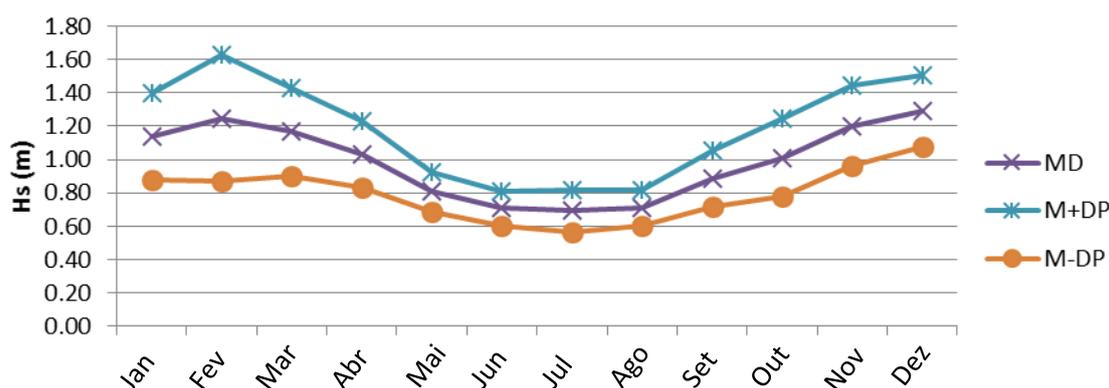


Figura 4. Altura significativa de onda entre Janeiro e Dezembro, registada na boia Capdepera. A linha MD representa o valor médio e as outras linhas adicionam e subtraem o desvio padrão (DP).

3. MODELAÇÃO DA ZONA EM ESTUDO

Para modelar a zona em estudo no que concerne à hidrodinâmica e ao transporte de sedimentos, recorreu-se ao programa de SMC. Este modelo foi desenvolvido pelo *Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas (GIOCO)* da *Universidad de Cantabria* para a *Dirección General de Costas del Ministerio de Medio Ambiente*. O programa integra uma série de modelos numéricos, permitindo a modelação hidro-morfodinâmica do local em estudo. Uma particularidade inerente ao programa é a facilidade com que se obtêm e inserem as batimetrias. Para esse efeito, utiliza-se o modelo BACO que incorpora batimetrias disponibilizadas para toda a faixa costeira espanhola. A esse modelo é possível acoplar

diferentes condições de agitação marítima e simular a sua propagação sobre a batimetria carregada (modelo OLUCA). Há ainda a possibilidade de combinar esses resultados com o modelo MOPLA que permite efetuar cálculos de morfodinâmica.

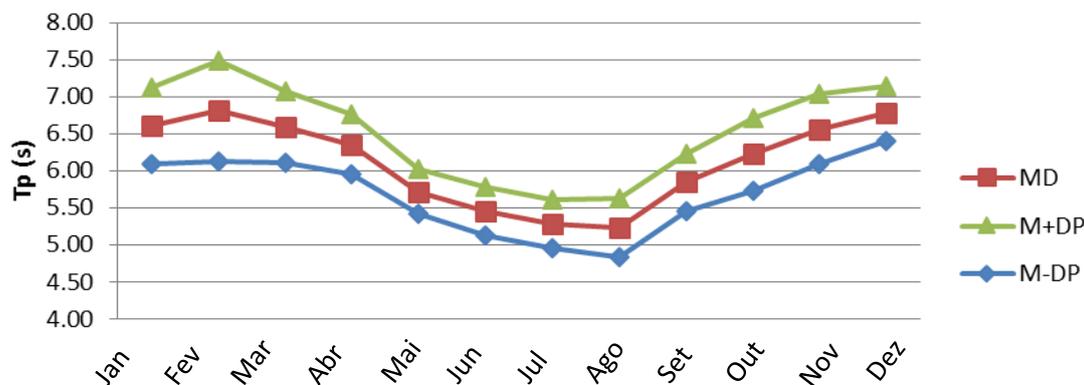


Figura 5. Período de pico entre Janeiro e Dezembro, registado na boia Capdepera. A linha MD representa o valor médio e as outras linhas adicionam e subtraem o desvio padrão (DP).

A figura 6 ilustra dois painéis com as malhas computacionais que foram utilizadas para a geração e propagação das ondas para a secção em estudo. Os painéis reportam à construção de malhas retangulares que atendem às direções de propagação médias dominantes registadas para o 1.º e o 2.º quadrante. Em ambos os painéis, considerou-se uma malha correspondente a grandes profundidades e uma outra a menores profundidades onde se localiza a praia de Cala Millor. As malhas M2 e S2 possuem malhas mais apertadas com o intuito de obter resultados com maior precisão na zona da praia. É sobre as malhas M1 e S1 que se introduzem as condições de agitação ao largo provenientes do 1.º e 2.º quadrante, respetivamente.

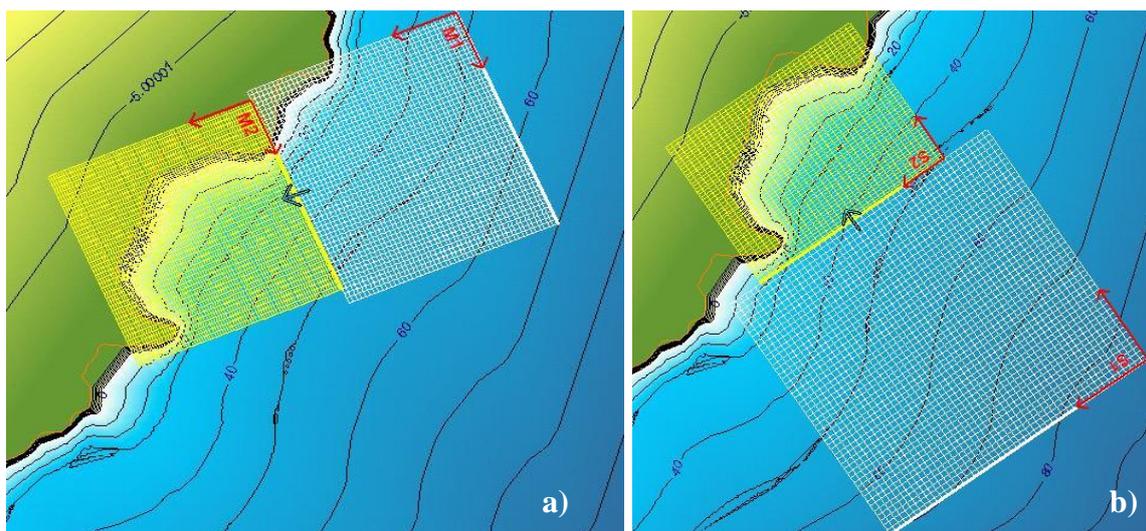


Figura 6. (a) Posição das malhas computacionais M1 e M2 para propagações de onda provenientes no primeiro quadrante, (b) Posição das malhas computacionais S1 e S2 para propagações de onda provenientes no segundo quadrante.

Frisa-se que as malhas da Figura 6 não contemplam efeitos de rugosidade de fundo associadas à *Posidonia Oceânica*. Nestes casos, considerou-se um fundo arenoso com um diâmetro mediano $d_{50} = 0.33$ mm segundo estudos efetuados pelo Instituto Mediterrâneo de Estudos Avançados – IMEDEA (e.g., Gómez-Pujol *et al.*, 2011).

Para contemplar os efeitos da *Posidonia Oceânica* no programa SMC, consideraram-se malhas distintas, conforme indicado na Figura 7. A malha S1 considera um fundo com essa vegetação e a malha F1 corresponde a uma malha espacial mais refinada, mas com fundo arenoso, como se constata na realidade. Por uma questão de simplicidade de execução destas malhas no SMC, para atender à disposição espacial da vegetação do fundo do mar, alterou-se a direção de propagação. Esta foi colocada sensivelmente paralela à das linhas batimétricas. Reconhece-se que estas características de agitação não são dominantes e, por esse motivo, os resultados extraídos deste trabalho são meramente indicativos em termos do balanço sedimentar e influência deste tipo de vegetação. É, no entanto, possível comparar tendências do trânsito sedimentar para as três situações distintas num sentido qualitativo e avaliar a importância da rugosidade de fundo.

Na literatura podem-se encontrar vários modelos que permitem avaliar a atenuação das ondas face aos efeitos de vegetação no fundo marinho (e.g., Dalrymple, 1984; Kobayashi, 1993; Méndez e Losada, 2004; Lima *et al.*, 2006). Neste estudo considerou-se o modelo Lima *et al.* (2006), pois incorpora efeitos do movimento da vegetação e da interação entre as hastes, adequando-se bem à *Posidonia Oceânica*.

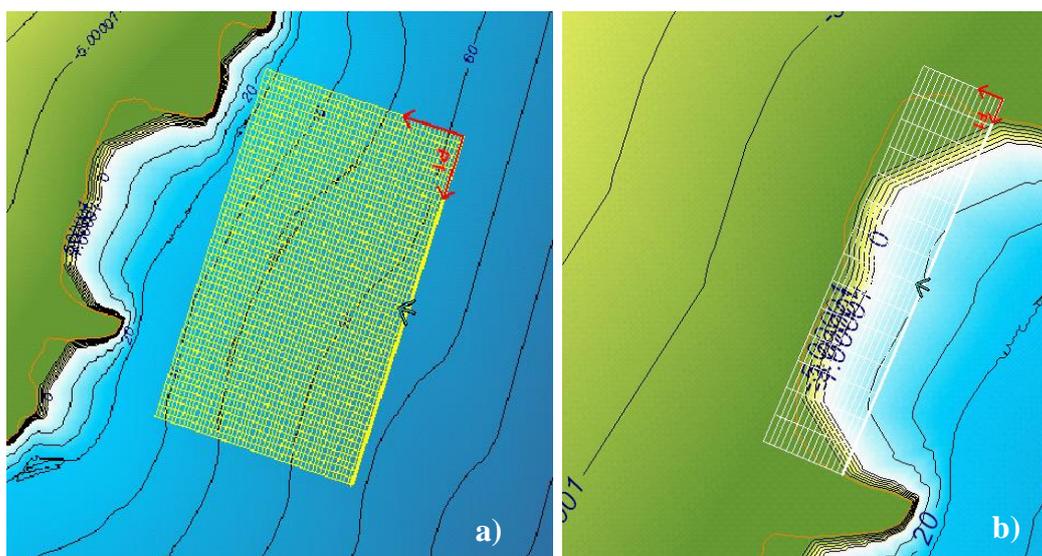


Figura 7. (a) Posição da malha computacional P1 que considera um fundo com vegetação marinha
(b) Posição da malha computacional F1 que considera um fundo arenoso.

4. RESULTADOS

As figuras 8 e 9 evidenciam estimativas do transporte sedimentar obtido pelo programa SMC. A diferença entre ambas as figuras reside apenas na direção de propagação das ondas. Estas reportam as duas direções de propagação médias dominantes registadas para o 1.º e o 2.º quadrante (Malhas M e Malhas S, respetivamente). Frisa-se que a resposta do

modelo não considera diques verticais construídos sobre a praia nas últimas décadas, bem como os afloramentos rochosos existentes na zona sul da praia. Adicionalmente, não se consideram variações de maré e estes resultados também não contemplam efeitos associados à vegetação do fundo marinho. Como se verá, a introdução da *Posidonia Oceânica* atenua os fluxos sedimentares. No entanto, os resultados fornecem uma ideia do transporte de sedimentos que ocorreria para sul ou para norte, sobretudo, em condições de agitação energética. Para esse efeito, adotaram-se os valores do mês de fevereiro que apontam para valores máximos de $H_s = 1.6$ m e $T_p = 7.5$ s (Figuras 4 e 5).

A comparação das figuras 8 e 9 demonstra um claro desequilíbrio do transporte sedimentar, consoante as ondas tenham origem no primeiro ou no segundo quadrante. Essa diferença é evidenciada pela magnitude do transporte de sedimentos nas duas situações, resultando num transporte pronunciado para sul.

Na realidade, é espectável que o transporte sedimentar seja mitigado, pois pode-se esperar uma redução da altura da onda induzida pela *Posidonia Oceânica*. Essa é uma possível explicação para as diferenças encontradas relativamente à realidade local. Por conseguinte, a Figura 10 procura explorar os efeitos da vegetação.

Os resultados da figura 10 correspondem às Malhas P1 e F1 apresentadas anteriormente na figura 7. Recorde-se que estas malhas têm em consideração a distribuição espacial da *Posidonia Oceânica*, mas não a direção predominante de propagação das ondas. Reconhece-se que a direção das ondas ora adotada não é frequente e, por esse motivo decidiu-se considerar uma ligeira redução de H_s e T_p para esta análise ($H_s = 1.3$ m e $T_p = 7$ s). Ainda assim, a magnitude dos resultados obtidos acarreta uma diminuição significativa do transporte sedimentar aquando da introdução da *Posidonia Oceânica*. Por conseguinte, os resultados corroboram a ideia de que as variações morfológicas podem ser atenuadas significativamente na presença deste tipo de vegetação.

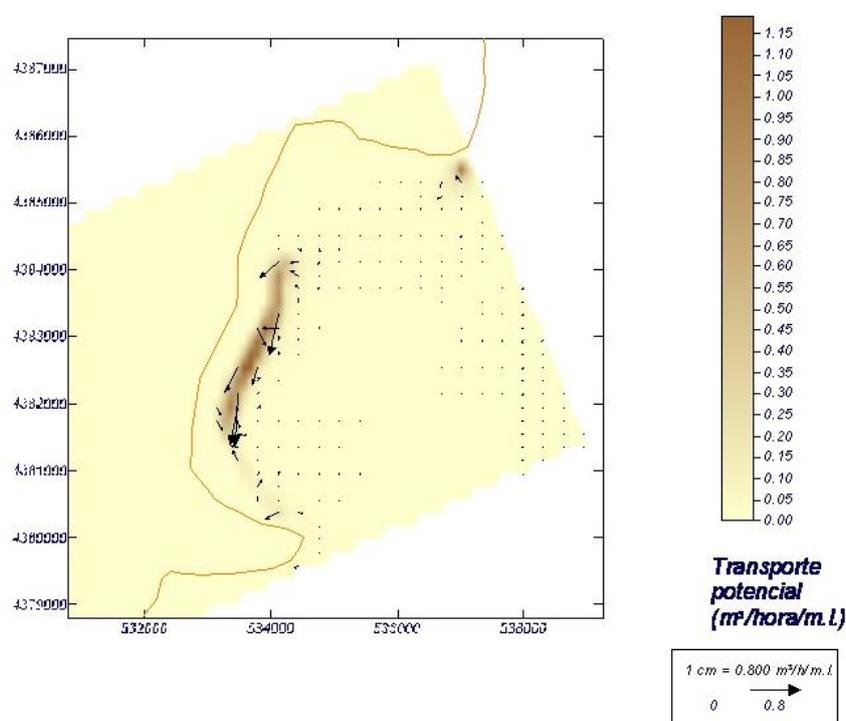


Figura 8. Transporte de sedimentos obtido para ondas provenientes do primeiro quadrante (malhas M1 e M2) com $H_s=1.6$ m, $T_p=7.5$ s.

Uma das hipóteses que geralmente está associada a praias abrigadas é que não há perdas nem fontes de sedimentos nas extremidades da praia (norte e sul). Este não é o caso da praia de Cala Millor, pois, de facto, tem-se assistido ao desaparecimento contínuo de areia na zona sul. O modelo SMC indica a tendência da maior parte da areia poder ser transportada para a essa zona, podendo desaparecer desta praia a médio/longo prazo. Esta situação poderá produzir uma recessão generalizada da costa a longo prazo, caso não haja proveniência de sedimentos de outros locais. Recentemente o município de Son Servera tem feito alimentações artificiais de areia para fazer face à redução de areias que se tem observado nos últimos anos. Esta solução tem permitido manter as condições balneares desejáveis, mas é necessário estudar mais alternativas de forma a estudar a viabilidade de soluções para o local. Os resultados obtidos na sequência das figuras 8 a 10 sugerem a tendência do transporte de areias verificados para sul, mas os resultados devem ser vistos com precaução. Há todo um conjunto de hipóteses/limitações assumidas no modelo e torna-se necessário fazer um estudo mais aprofundado do sistema. Esse estudo pode passar por analisar outras alternativas para a zona em estudo, avaliando as suas vantagens e desvantagens face ao impacte que possam ter.

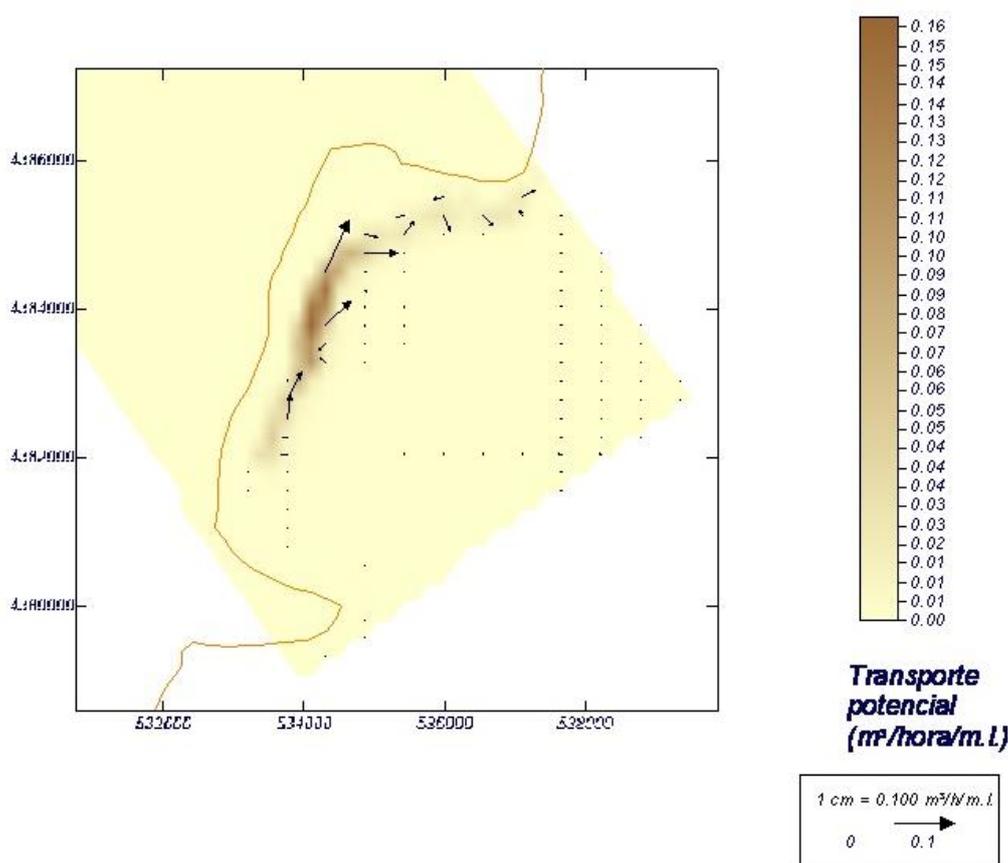


Figura 9. Transporte de sedimentos obtido para ondas provenientes do segundo quadrante (malhas S1 e S2) com $H_s=1.6 \text{ m}$, $T_p=7.5 \text{ s}$.

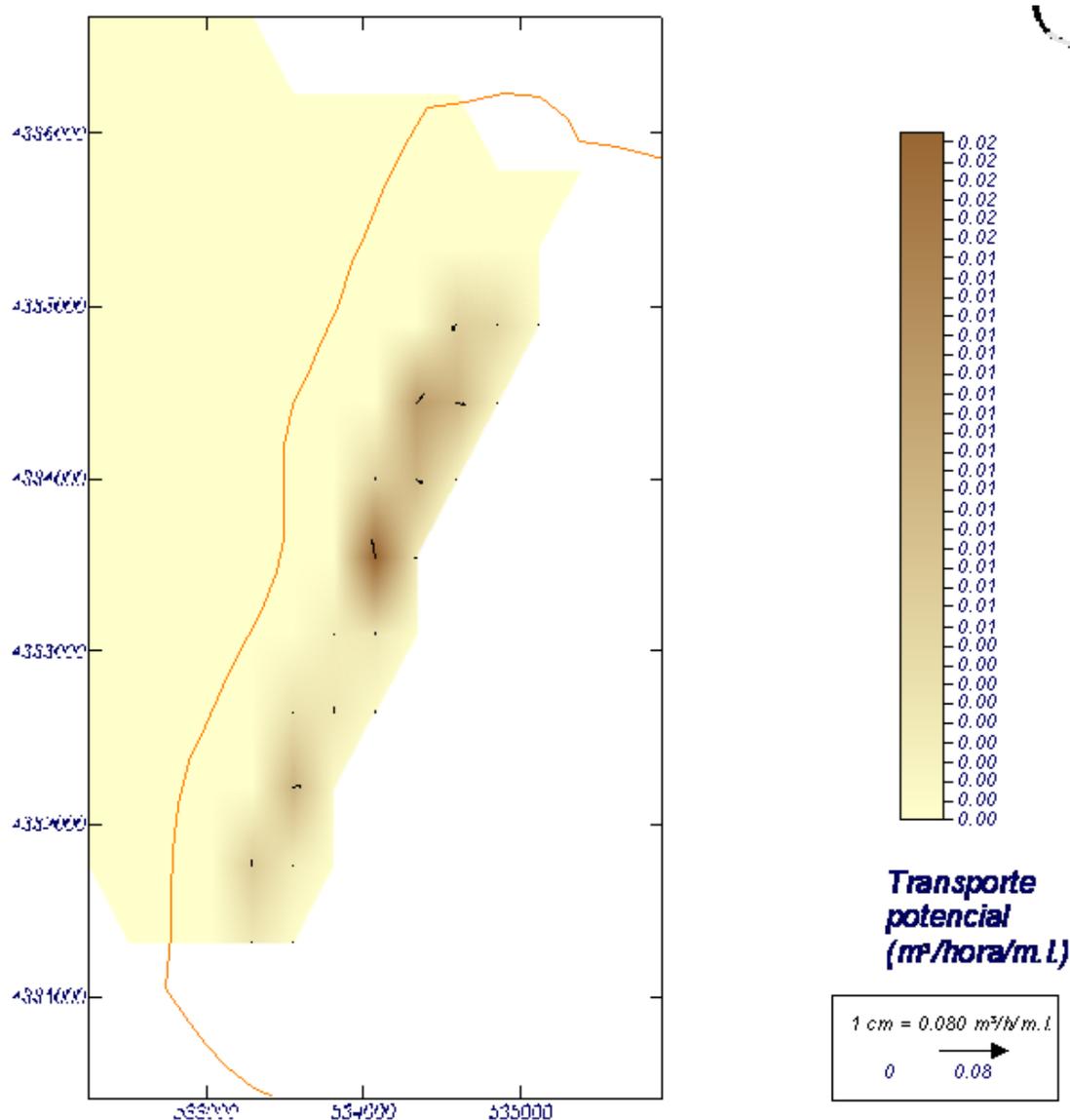


Figura 10. Transporte de sedimentos obtido para ondas provenientes do segundo quadrante (Malhas P1 e F1) com $H_s=1.3$ m, $T_p=7.0$ s.

5. CONCLUSÕES

A praia de Cala Millor tem sofrido uma perda persistente de sedimentos desde que o seu equilíbrio natural foi alterado com a área urbanística que se expandiu em direção à praia, destruindo praticamente todo o sistema dunar preexistente. A erosão observada acaba por ser um problema sério para o desenvolvimento desta praia, uma vez que os principais rendimentos do município resultam do sector turístico. Assim, urge corrigir este problema ou, pelo menos, atenuá-lo através de soluções sustentáveis e económicas.

Com o intuito de estudar a dinâmica local desta praia recorreu-se ao modelo SMC. O modelo é utilizado para estudar as tendências do transporte de sedimentos e sua evolução num curto prazo. Chama-se a atenção para os resultados preliminares deste trabalho que possui algumas limitações, pois foram adotadas várias premissas na obtenção dos

resultados. Ainda assim, os resultados alcançados parecem corroborar um problema observado que resulta de um desequilíbrio do transporte sedimentar associado às derivas para norte e para sul aquando de situações de tempestades. As condições locais apontam uma maior perda de sedimentos para sul, podendo prejudicar significativamente o uso balnear futuro da praia. Por essa razão, convém aprofundar os estudos nesta praia de forma a propor alternativas para proteger e mitigar estas perdas de sedimentos. As soluções carecem de um estudo mais profundo que atente a aspetos técnicos, funcionais, económicos e ambientais.

Recomenda-se que as medidas de proteção velem pela preservação da vegetação de *Posidonia Oceanica*, pois verifica-se um efeito positivo inegável no que toca à mitigação da energia das ondas e consequente redução do transporte sedimentar.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apoiado por fundos europeus, através do COMPETE e por fundos nacionais através da Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) no âmbito do projeto PEst-C/MAR/LA0017/2013.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Dalrymple R.A., Kirby J.T., Hwang P.A. (1984). Wave diffraction due to areas of energy dissipation. *J. Wway, Port, Coastal and Ocean Eng.* 110(1), 67-79.

Gobert S., Cambridge M.L., Velimirov B., Pergent G., Lepoint G., Bouquegneau J.-M., Dauby P., Pergent-Martin, C., Walker D.I. (2006). Biology of *Posidonia*. In *Seagrasses: Biology, ecology and conservation*, Ed Larkum, A.W.D., Orth, R.J., Duarte, C.M., Netherlands, Springer, 387-408.

Gómez-Pujol L., Orfila A., Alvarez-Ellacuria A., Tintoré, J. (2011). Controls on sediment dynamics and medium-term morphological change in a barred microtidal beach (Cala Millor, Mallorca, Western Mediterranean). *Geomorphology* 132, 87-98.

Kobayashi N., Raichle A.W., Asano T. (1993). Wave attenuation by vegetation. *J. Wway., Port, Coastal and Ocean Eng.* 119(1), 30-48.

Lima S. F., Neves C. F., Rosauo N. M. L. (2006). Damping of Gravity Waves by Fields of Flexible Vegetation. In *Proceedings of the 30th International Conference on Coastal Engineering*. World Scientific. pp. 491- 503.

Mendez F., Losada I.J. (2004). An empirical model to estimate the propagation of random breaking and nonbreaking waves over vegetation fields. *Coastal Eng.* 51(2), 103-118.

Sánchez-González J.F., Sánchez-Rojas, V., Memos C.M, 2011. Wave attenuation due to *Posidonia oceanica* meadows. *Journal of Hydraulic Research* 49(4), 503-514.