

INTENSIDADE ENERGÉTICA SOB TEMPORAIS MARÍTIMOS: PROPOSTA DE METODOLOGIA E APLICAÇÃO AO LITORAL DE ESPINHO

Francisco Sancho¹, David Santos Heitor², M. Graça Neves¹

¹ *Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa*

² *FCT, Universidade Nova de Lisboa, 2829-516 Caparica*

fsancho@lnec.pt, dsantosheitor@gmail.com, gneves@lnec.pt

RESUMO

Estimaram-se as condições de agitação marítima em 26 localizações, paralelas ao litoral de Espinho, através do modelo de geração e previsão de agitação marítima SWAN. O modelo foi forçado por dados estimados ao largo da Figueira da Foz para um período de 56 anos. Obtiveram-se, localmente, os parâmetros da agitação marítima que permitiram identificar e determinar a intensidade energética (definida como a energia da onda integrada ao longo de determinado intervalo de tempo) associada a cada temporal marítimo. O critério de altura significativa de onda ser superior a 3 m foi o utilizado para a identificação de temporais ao longo da costa portuguesa. Em cada ponto definido ao longo do litoral de Espinho foi determinada a intensidade energética, duração de tempestade e altura significativa máxima para cada temporal. Estes foram classificados em cinco classes: Fraca, Moderada, Significativa, Severa e Extrema. Determinou-se a variação ao longo do trecho em estudo da intensidade energética média de todos os temporais.

1 – INTRODUÇÃO

A implementação de medidas de gestão costeira adequadas, de forma a mitigar riscos de erosão e inundação costeiras, requer um elevado nível de conhecimento, tanto dos perigos como do território, da sua ocupação e dos valores em causa. Os perigos estão associados à ação marítima (agitação marítima, níveis de água extremos e *tsunamis*). A suscetibilidade pode ser definida como a predisposição de uma determinada área (incluindo pessoas e bens naturais ou construídos) de serem afetados por determinado perigo (causador potencial de danos), como p. ex., os temporais marítimos.

Com o aumento da ocupação do litoral da costa portuguesa verificado nas últimas décadas, torna-se essencial conhecer quais os riscos associados à agitação marítima, visto que, principalmente a Norte do país, a costa é frequentemente fustigada por temporais. O litoral de Espinho, localizado na costa norte do continente português, é um exemplo de uma zona que sofre de problemas de erosão (Dias *et al.*, 1994, Veloso Gomes *et al.*, 2006).

Existem inúmeros estudos de caracterização de regimes de extremos da agitação marítima para a costa portuguesa (e.g., Pita e Santos, 1989; Carvalho, 1992; Lucas *et al.*, 2004), que incidem sobretudo na caracterização da altura de onda (significativa ou máxima) associada a determinado período de retorno. Estes trabalhos incluem ainda, frequentemente, a caracterização dos períodos (médio ou de pico) e direções (médias) de onda. Estes são os valores vulgarmente utilizados no projeto de obras marítimas, sem se atender à duração de determinado estado do mar, isto é, à duração dos estados de mar associados aos valores extremos observados (ou estimados).

Em Costa *et al.* (2001) procede-se a uma caracterização sumária das condições de temporal observadas em três locais ao largo da costa portuguesa, através da análise das distribuições de frequência simples ou conjuntas envolvendo a altura significativa de onda (*H_s*), direção de

onda, padrões de circulação atmosférica ocorridos nos períodos de observação de temporal e a duração do temporal. Ferreira (2006) aborda a influência da duração dos temporais do ponto de vista do efeito de grupos de tempestades versus tempestades simples na (previsão da) erosão de praias. Este autor conclui que a erosão provocada por grupos de temporais associados a baixo período de retorno é de igual magnitude à erosão provocada por uma tempestade única com muito menor probabilidade de ocorrência (i.e., maior período de retorno). De modo semelhante, Jiménez *et al.* (2003) analisam o efeito da intensidade e duração de temporais na erosão e movimentação sedimentar de praias encaixadas.

Tal como demonstrado por Ferreira (2006) e Jiménez *et al.* (2003) relativamente à importância da duração de temporais na erosão costeira, o mesmo acontece relativamente ao impacto da duração de temporais em estruturas costeiras (p. ex., Castillo *et al.*, 2006). No dimensionamento de estruturas costeiras também intervêm indiretamente a duração de um temporal, pois estatisticamente, para determinado estado de mar, a altura de onda máxima aumenta com o tamanho da amostra (p. ex., Losada e Giménez-Curto, 1981).

Assim, de forma a quantificar simultaneamente a intensidade e a duração de temporais marítimos, Mendoza *et al.* (2011) sugerem o cálculo da intensidade energética de cada temporal, parâmetro este que dá informação da energia contida em cada temporal. Estes autores aplicam esta metodologia à costa catalã (em Espanha), permitindo avaliar e classificar a intensidade de temporais marítimos ao longo daquele trecho.

Face ao exposto, o principal objectivo do presente trabalho é determinar a intensidade energética de um troço da costa continental portuguesa, o litoral de Espinho, de forma a quantificar a perigosidade associada à acção do mar naquela zona, que por sua vez, permitirá melhor quantificar a susceptibilidade, vulnerabilidade e risco em zonas costeiras. A intensidade energética é determinada de acordo com a metodologia proposta por Mendoza *et al.* (2011), adaptando-a ao litoral de Portugal continental.

2 – CASO DE ESTUDO: LITORAL DE ESPINHO

A zona de Espinho constitui, em Portugal, um dos casos mais antigos e importantes de erosão costeira. Os problemas provenientes de grandes temporais nesta zona reportam-se ao século XIX (Veloso Gomes *et al.*, 2006). O litoral de Espinho tem sofrido, ao longo dos tempos, uma forte degradação. A elevação do nível do mar, a diminuição da quantidade de sedimentos fornecidos ao litoral, a degradação por parte de intervenção humana das estruturas naturais e obras pesadas de engenharia costeira, são fenómenos e ações que têm forte influência nessa deterioração. O turismo balnear, o avanço da urbanização, a construção de áreas industriais, a alteração dos planos de escorrência e a exploração de sedimentos, são alguns dos causadores dos fenómenos anteriormente referidos.

Assim, dada a intensidade dos fenómenos de erosão nesta região, Pires *et al.* (2011) e Antunes (2012) delimitaram o trecho identificado na Figura 1 (a vermelho), a sul do rio Douro, com comprimento de Norte a Sul de aproximadamente 10 km, para a determinação de um índice de pressão antrópica litoral. No presente trabalho, determina-se a intensidade energética ao longo desse trecho, localizado em costa arenosa mas intensamente artificializado. Efetivamente, dados os graves problemas de erosão, trata-se de uma zona extremamente intervencionada (Mota Oliveira e Martins, 1991; Veloso Gomes *et al.*, 2006) e por isso a sua fisiografia resulta da presença de diversas estruturas de proteção: desde o quebra-mar a norte, na Aguda, passando pelos dois esporões na frente marítima da cidade de Espinho, até ao campo esporões a sul, com início em Paramos que se concilia com defesa longitudinal aderente. Este trecho termina na barra intermitente da barrinha de Esmoriz.

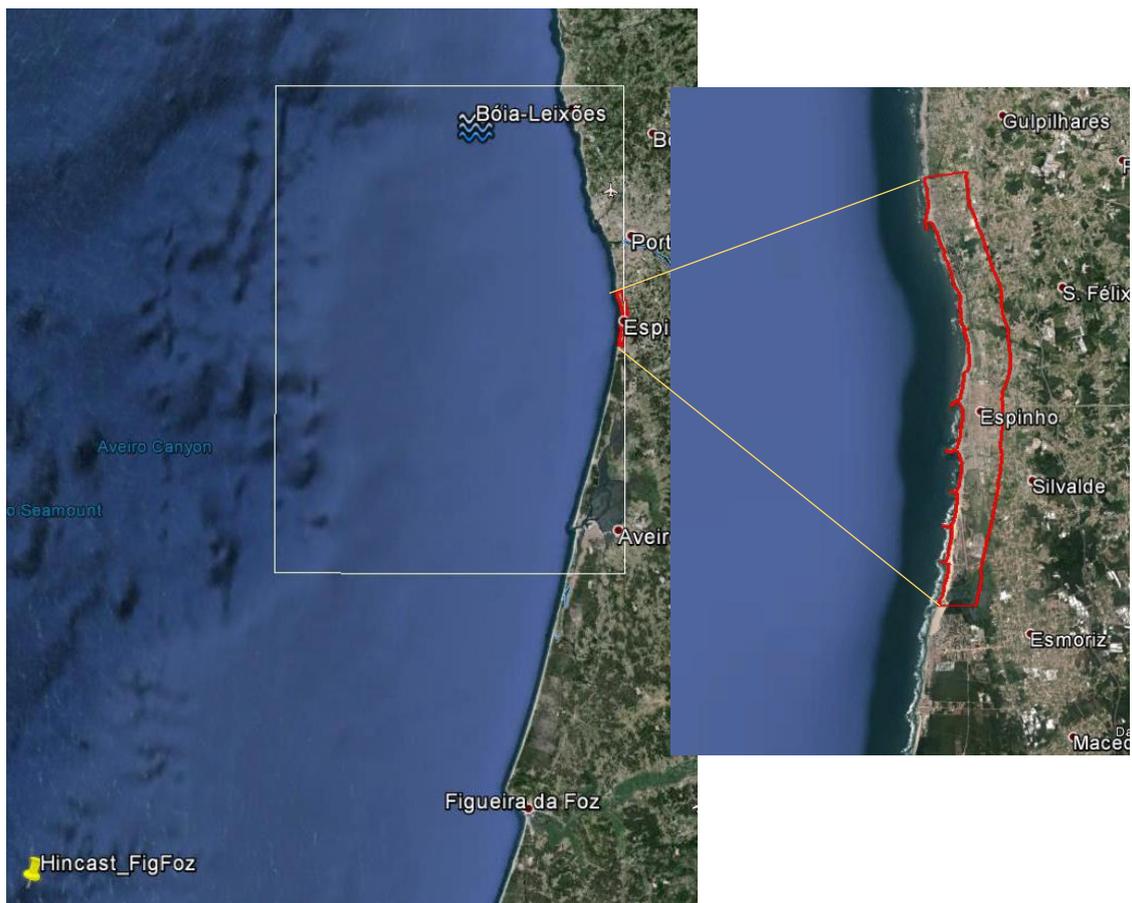


Figura 1 – Trecho costeiro objeto de estudo, com identificação do domínio de cálculo do modelo SWAN à esquerda (rectângulo branco) e ampliação do local à direita.

3 – METODOLOGIA

3.1 – AGITAÇÃO MARÍTIMA LOCAL

Para o cálculo da intensidade energética procedeu-se primeiro à determinação da agitação marítima local, em frente à zona de estudo. Para o efeito, recorreu-se a um conjunto de dados disponíveis de agitação marítima ao largo, tão vasto quanto possível. Assim, atendendo ao menor número de anos de dados da bóia ondógrafo direccional de Leixões (iniciada em 1993, de acordo com Costa *et al.*, 2003), em relação à série temporal de 56 anos de dados obtidos por reconstituição numérica para diversos pontos do Atlântico Nordeste, ao largo da península ibérica (Dodet *et al.*, 2010), optou-se por utilizar esta última fonte de dados para a caracterização da agitação marítima ao largo. Note-se que estes autores procederam a uma validação rigorosa do modelo utilizado.

Utilizaram-se assim os dados relativos ao período entre 1953 até 2009 calculados por Dodet *et al.* (2010), para o ponto ao largo da Figueira da Foz, de coordenadas 10.0° W, 40.0° N, identificado na Figura 1. Este período de tempo é suficientemente amplo para realizar um estudo deste género. Por outro lado, estando este ponto coordenado distanciado cerca de 50 km do limite sul da região em apreço (ver Figura 1) e situado no bordo exterior da plataforma continental, portanto em “águas profundas”, admitiu-se que a agitação marítima ao largo de Espinho era igual à estimada ao largo da Figueira da Foz. Os dados utilizados correspondem às séries de valores, a cada 6 horas, de altura significativa da onda, H_s , período de pico, T_p , direção média (espectral) associada ao período de pico, Dir , e espalhamento

direccional da onda, Spr , isto é, um valor representativo da largura do espectro direccional para a frequência de pico.

A série de agitação marítima ao largo foi, por sua vez, propagada para a frente marítima da zona de estudo, através de modelação recorrendo ao modelo numérico SWAN (Booij *et al.*, 1999). Este modelo considera os processos físicos de refração, empolamento devido a alterações do fundo, correntes, geração e crescimento da agitação marítima por ação do vento, rebentação por influência do fundo e por excesso de declividade da onda (fenómeno de *whitecapping*), dissipação de energia devido ao atrito no fundo, difração em torno de obstáculos e reflexão devido a correntes opostas à agitação.

No presente trabalho optou-se por usar o modelo em modo não estacionário, forçando-o simultaneamente nas três fronteiras marítimas as condições de agitação marítima determinadas ao largo, através das séries temporais de valores de H_s , T_p e Dir . O domínio de cálculo do modelo foi discretizado através da malha regular e retangular, que cobre toda a região adjacente a Espinho até ao largo, identificada na Figura 1. Esta região cobre uma extensão de 70 km na direção Oeste-Este e de 100 km na direção Norte-Sul, com uma resolução de 500 m.

As profundidades em cada ponto da malha foram obtidas por interpolação da batimetria fornecida através da “*European Marine Observation and Data Network – EMODNET*” (<http://www.emodnet-hydrography.eu>), com uma resolução espacial de 0.25 minutos de latitude e longitude. Os pontos desta malha, em coordenadas geográficas (latitude – longitude), foram ainda convertidos para coordenadas UTM, uma vez que se optou por utilizar coordenadas cartesianas no SWAN. Outros detalhes do uso do modelo SWAN e da sua aplicação a este caso de estudo estão descritos em Heitor (2013).

Os resultados do modelo SWAN, nomeadamente as séries temporais locais de H_s , T_p e Dir , foram extraídos em 26 localizações, próximas da batimétrica 15 m (ZH), em frente à zona de estudo, com um espaçamento de 500 metros entre si. O ponto situado mais a Sul é designado por P1, com coordenadas $x_1=524500$ m; $y_1=4532700$ m, enquanto o ponto mais a Norte é designado por P26, com coordenadas $x_{26}=525400$ m; $y_{26}=4545200$ m. Optou-se por determinar a agitação marítima sobre aquela profundidade, por a mesma corresponder sensivelmente à “profundidade de fecho” nesta zona (Ferreira, 1993; Coelho, 2005), isto é, a profundidade onde não ocorrem alterações significativas da mesma pela ação da agitação marítima (embora possa existir transporte de sedimentos).

3.2 – INTENSIDADE ENERGÉTICA EM PERÍODO DE TEMPORAL

De acordo com Mendoza *et al.* (2011), a intensidade energética, E , pode ser definida por:

$$E = \int_{t_1}^{t_2} H_s^2 dt \quad (1)$$

em que H_s representa a altura significativa de onda acima de determinado limiar quando ocorre uma tempestade marítima, e t_1 e t_2 são os instantes inicial e final dessa tempestade. Esta variável é assim proporcional à energia da agitação marítima ($E_m = 1/8 \rho g H_s^2$) contida em cada temporal.

A definição de temporal marítimo varia de ponto para ponto do globo, embora seja normalmente definido por um valor limite da altura significativa de onda, H_s . Em Mendoza *et al.* (2011) utilizou-se o critério de ocorrência de tempestade marítima quando $H_s > 2$ m (valor de referência admitido pela Autoridade Portuária Espanhola) por um período superior a 6 horas, para a região costeira da Catalunha. Esta definição resultou também da identificação deste limiar como aquele em que se observam condições mínimas necessárias para que haja um impacto significativo na costa, relativamente aos fenómenos de erosão costeira e inundações, naquela região costeira (Mendoza e Jiménez, 2006). Estes autores adicionaram à condição anterior um outro critério para identificar tempestades estatisticamente independentes, que corresponde a considerar como uma única tempestade com dois picos a que ocorra quando dois episódios extremos se dão com um intervalo máximo entre eles de 72 horas e um intervalo inferior a 6h, com altura significativa inferior a 1.5 m.

Por seu turno, é conhecido que a agitação marítima no litoral de Portugal continental é muito distinta da observada na costa Catalã. Assim, na costa oeste continental portuguesa, a identificação de períodos de tempestade (e de aquisição de dados pelas bóias-ondógrafo com maior frequência temporal) é considerada quando $H_s > 5$ m, enquanto para a costa Sul os temporais estão associados a eventos em que $H_s > 3$ m (* e Costa *et al.*, 2001). Estes valores têm sido comumente utilizados noutros estudos para a costa portuguesa, em particular de extremos de agitação marítima. Refira-se ainda que Costa *et al.* (2011) consideram na sua identificação e análise de períodos de tempestade para a costa oeste de Portugal o limiar $H_{m0} > 4.5$ m (sendo H_{m0} a altura significativa de onda determinada espectralmente). Refira-se ainda que Castillo *et al.* (2006) definem a ocorrência de temporal quando $H_s > 3$ m para a costa Norte de Espanha (nas Astúrias), onde o clima de agitação marítimo é bastante severo.

No presente trabalho, optou-se por definição igual de temporal marítimo para todo o território de Portugal continental. Tal permitirá utilizar esta metodologia em qualquer lugar e comparar imediatamente os resultados, independentemente da sua localização. Caso se optasse por definições distintas na costa oeste e sul, as intensidades energéticas obtidas nesses setores não seriam comparáveis. Assim, optou-se por utilizar o limiar $H_s > 3$ m, para o presente estudo. Admitiu-se ainda que este limiar teria de ser superado durante um mínimo de 6 horas. Para além disso, considerou-se que duas tempestades consecutivas eram na realidade uma só tempestade quando o período em que $H_s \leq 3$ m era inferior a 48 horas. Estes dois critérios foram os estipulados para definir períodos de temporal no caso de estudo.

No trabalho de Mendonza *et al.* (2011), cada período de tempestade foi categorizado em 5 classes, em função da intensidade energética associada, correspondente a tempestade Fraca, Moderada, Significativa, Severa ou Extrema. No presente estudo consideraram-se as mesmas 5 classes de intensidade energética, apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Classificação de tempestades (baseado em Mendoza *et al.*, 2011).

Classes	E (m ² h)
Fraca	$E \leq 250$
Moderada	$250 < E \leq 500$
Significativa	$500 < E \leq 700$
Severa	$700 < E \leq 1200$
Extrema	$E > 1200$

Assim, a metodologia prosseguida consiste em, para cada série temporal dos parâmetros da agitação marítima em cada ponto de cálculo, identificar os períodos de temporal e calcular para cada um deles a sua intensidade energética. Na secção seguinte apresentam-se os resultados globais, bem como alguns valores estatísticos associados, nomeadamente, valores médios de H_s , T_p e Dir por classe de temporal.

4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

A título de exemplo, na Figura 2 apresentam-se as séries, para os primeiros 10 anos de dados, de valores de H_s , ao largo e no ponto central da zona de estudo sobre a batimétrica 15 m (ZH). Como se pode observar, há uma ligeira redução geral dos valores de H_s locais, em relação aos observados (/estimados) ao largo. Tal resulta, como é natural, principalmente do processo de refração das ondas sobre a plataforma continental. Além disso, observa-se claramente a ocorrência de vários períodos de tempestade marítima, com valores de H_s elevados.

* <http://www.hidrografico.pt/boias-ondografo.php>

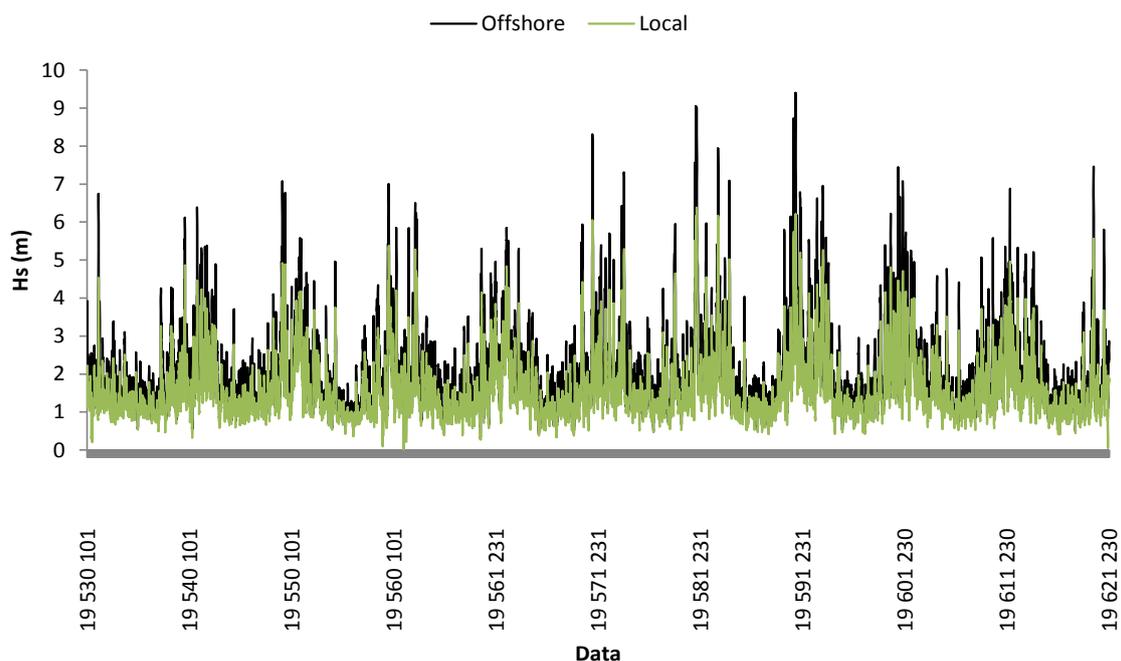


Figura 2 – Série temporal (1953-1963) de valores de H_s , ao largo e no ponto central da zona de estudo, sobre a batimétrica 15 m (ZH).

Com base na série de resultados total (56 anos de dados), obtida no ponto central acima identificado, primeiramente, calcularam-se o número de eventos de temporais para diversos limiares de ocorrência de temporal, nomeadamente, $H_s > 3$ m, $H_s > 4$ m e $H_s > 5$ m. Os resultados obtidos são apresentados no Quadro 2. Naturalmente, para valores maiores do limiar de definição de temporal identificam-se menos temporais. Neste caso, ocorrem 96 temporais para $H_s > 5$ m e 649 temporais para $H_s > 3$ m, correspondente a um acréscimo de 553 temporais. Para o limiar $H_s > 4$ m, verifica-se um acréscimo de 377 temporais identificados. Nesta comparação, além dos limiares para o valor de H_s , admitiu-se ainda que existe tempestade se tiver uma duração mínima de 6 horas e que, durante a mesma, não ocorre nenhum intervalo de tempo superior a 48 horas com H_s inferior ao limiar.

O mais notório e importante para a análise subsequente reporta-se à distribuição obtida por classes de temporais, para cada uma destas definições de temporais. Tal é melhor ilustrado na Figura 3 (e Quadro 2). Efetivamente, verifica-se uma distribuição sensivelmente próxima em todos os casos, com exceção da classe de temporais Fraca. Para esta classe, naturalmente, o número de ocorrências aumenta quando o limiar de temporal baixa. Para as restantes classes de tempestade, com exceção da Significativa, esta tendência inverte-se, sempre com um ligeiro aumento do número de ocorrências com o aumento do limiar.

Em consequência, e como anteriormente justificado, optou-se pela definição $H_s > 3$ m para a identificação de temporais, apesar de se reconhecer que esta definição não corresponde aquela reconhecida pela comunidade técnico-científica. Saliente-se, contudo, que a identificação de 649 temporais num período de 56 anos equivale à ocorrência média de 11.5 temporais por ano, o que, dado o conhecimento popular da agitação marítima local, o número de alertas costeiros anuais emitidos pelas Capitánias próximas e os elevados problemas de erosão marinha, não se afigura desajustado. Comparativamente, e utilizando o mesmo critério de ocorrência de temporal em termos de H_s , mas não de independência de temporais, Castillo *et al.* (2006) reportam uma média de 45 temporais anuais ao largo de Gijón, nas Astúrias.

Quadro 2 – Distribuição por classes das tempestades identificadas para três definições de ocorrência de tempestade, $H_s > 3$ m, $H_s > 4$ m e $H_s > 5$ m, respetivamente.

Limiar 3

Classes	E (m ² h)		nº temporais / Classe	% temporais / Classe
Fraca	<250	188	188	0.290
Moderada	<500	356	168	0.259
Significativa	<700	421	65	0.100
Severa	<1200	516	95	0.146
Extrema	>1200	133	133	0.205
			649	1

Limiar 4

Classes			nº temporais / Classe	% temporais / Classe
Fraca	<250	49	49	0.180
Moderada	<500	117	68	0.250
Significativa	<700	154	37	0.136
Severa	<1200	204	50	0.184
Extrema	>1200	68	68	0.250
			272	1

Limiar 5

Classes			nº temporais / Classe	% temporais / Classe
Fraca	<250	8	8	0.083
Moderada	<500	38	30	0.313
Significativa	<700	45	7	0.073
Severa	<1200	71	26	0.271
Extrema	>1200	25	25	0.260
			96	1

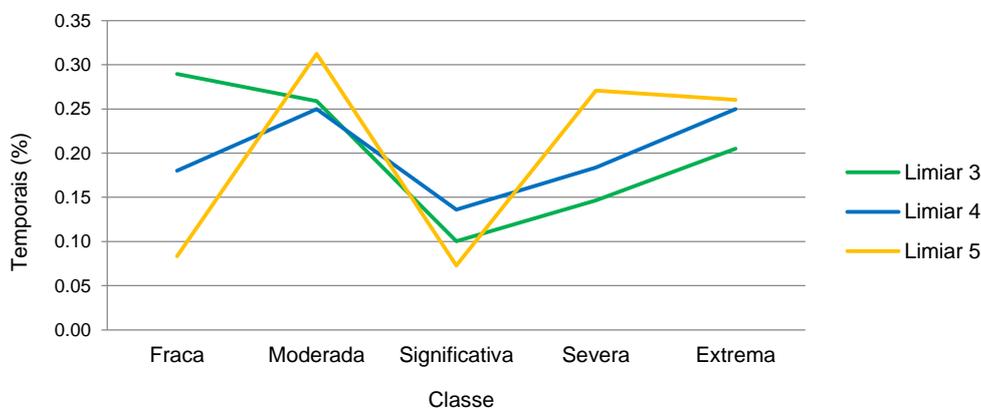


Figura 3 – Percentagem de ocorrências de temporais por classes, para três limiares de ocorrência de tempestade, $H_s > 3$ m, $H_s > 4$ m e $H_s > 5$ m, respetivamente.

Na Figura 4 mostra-se a variação ao longo do litoral de Espinho, de Sul (ponto 1) para Norte (ponto 26), da intensidade energética média (obtida pela média das intensidades energéticas calculadas para cada tempestade marítima). Verifica-se nesta região uma diminuição do extremo Norte até à frente de Espinho (entre esporões) da intensidade energética média, voltando depois a crescer, embora menos, para Sul. Assim, estes resultados mostram que existe um mínimo local em frente à cidade de Espinho, expondo portanto que esta zona é sujeita, em média, a menor energia das ondas e/ou a menor número de temporais. Uma análise mais detalhada dos resultados (Heitor, 2013) mostra também que o número total de temporais é maior a norte que a sul.



Figura 4 – Intensidade energética média (em m^2h) para a zona de estudo.

Apresenta-se ainda na Figura 5 a variação da distribuição percentual por classes de tempestade ao longo da zona de estudo. Verifica-se assim que ocorre um menor número de tempestades da classe Fraca a norte de Espinho, acompanhada de um ligeiro aumento da frequência de ocorrência de tempestades das classes Significativa e Extrema, justificando assim a maior intensidade energética média verificada a Norte.

Na Figura 6 apresentam-se os pares de valores ($H_{s,max}$, E) por tempestade, para a localização central (ponto 13). Naturalmente, há uma correlação positiva entre estas duas variáveis, embora se observe que as maiores intensidades energéticas não estão necessariamente associadas aos maiores valores de $H_{s,max}$ (i.e., o máximo de H_s ocorrido em cada tempestade).

Na Figura 7 apresenta-se uma distribuição idêntica, mas para os pares de valores ($H_{s,max}$, t_2-t_1) em que t_2-t_1 é a duração de cada tempestade. Existe também uma correlação positiva destas duas variáveis, ou seja, em regra, os temporais marítimos mais longos têm associados maiores valores de $H_{s,max}$. A duração máxima de tempestades estimadas é da ordem de 350 hr, ou seja, de 14.5 dias, com H_s superior a 3 m.

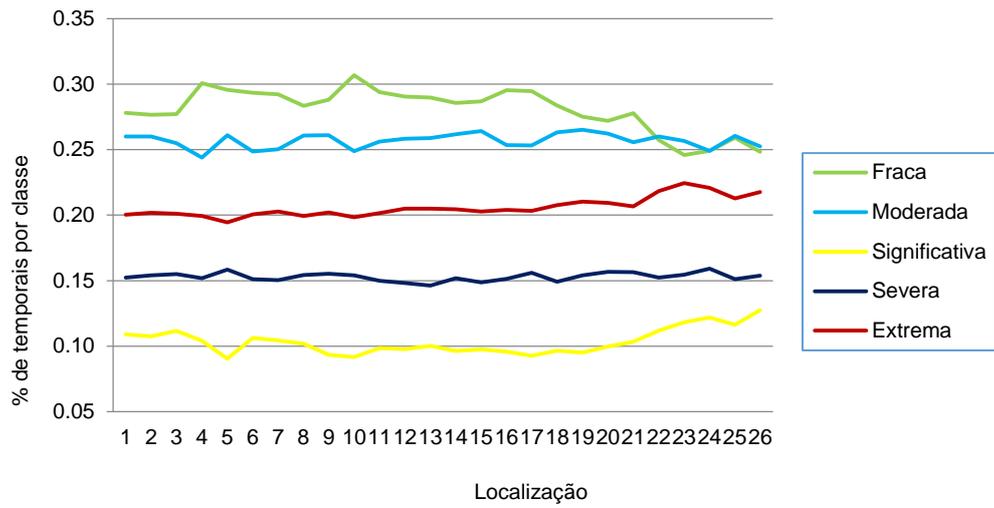


Figura 5 – Distribuição das classes por duração de tempestade.

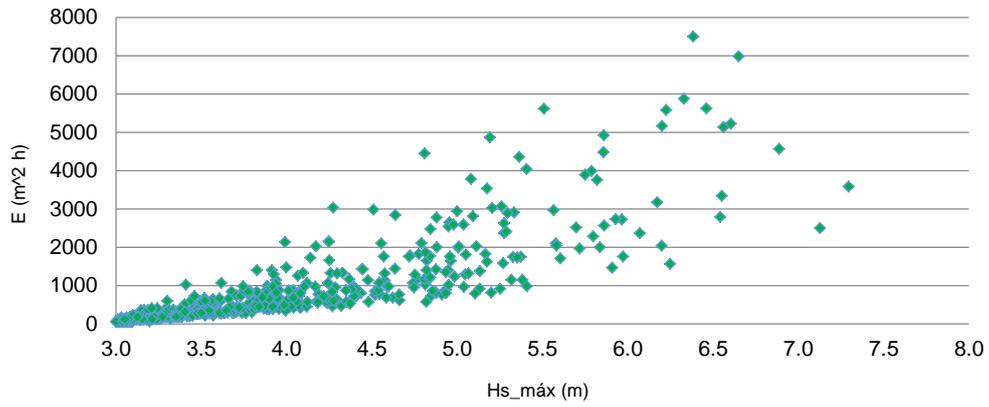


Figura 6 – Intensidade energética versus $Hs_{máx}$ no ponto 13.

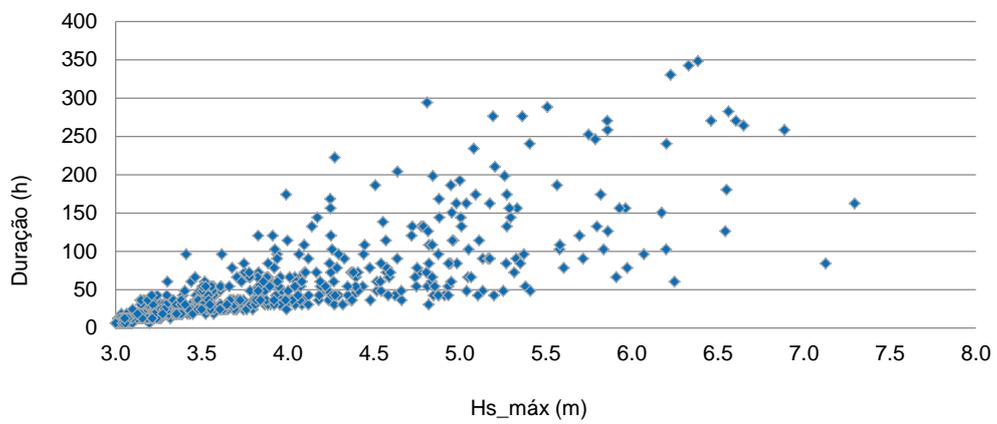


Figura 7 – Duração de temporal marítimo versus $Hs_{máx}$ no ponto 13.

5 - SÍNTESE E CONCLUSÕES

Neste trabalho quantificou-se o efeito da duração de tempestades marítimas integrando a energia total da agitação marítima ao longo de determinada tempestade. O valor resultante, a intensidade energética, foi classificado de acordo com a categorização adotada em Mendoza *et al.* (2011), correspondente a 5 classes de tempestade: Fraca, Moderada, Significativa, Severa e Extrema.

Esta metodologia foi aplicada para o litoral de Espinho, em que o regime de agitação marítima local (à profundidade de fecho) foi obtido por propagação da agitação incidente ao largo, através do modelo SWAN. Ao largo, forçou-se o modelo com a série temporal de 56 anos de dados de agitação marítima (H_s , T_p , Dir e Spr), obtida para o período entre 1953 e 2009 por Dodet *et al.* (2010).

Concluiu-se que a distribuição por classes de tempestade, dos temporais ocorridos naquele período, não variava muito com o limiar de definição de período de temporal. Assim, e tendo presente que esta metodologia permite distinguir as intensidades em cada local e potencia a análise comparativa e a identificação dos parâmetros que mais contribuem para a exposição de um território à agitação marítima intensa, adotou-se a definição de ocorrência de temporal marítimo quando $H_s > 3$ m. Assumiu-se ainda que ocorre tempestade se houver uma duração mínima de 6 horas e que, durante a mesma, não ocorre nenhum intervalo de tempo superior a 48 horas com $H_s < 3$ m.

Os resultados obtidos permitem concluir que a intensidade energética média é ligeiramente superior a norte e sul de Espinho, ocorrendo um mínimo (relativo) em frente a esta cidade. Conclui-se ainda que embora as intensidades energéticas por tempestade estejam naturalmente positivamente correlacionadas com H_s e a duração de cada tempestade, as maiores intensidades energéticas não correspondem necessariamente aos maiores valores de H_s , nem às maiores durações, mas sim à combinação de ambos.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi parcialmente financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) através do projeto “RENCOASTAL – Regulações e conflitos ambientais devido à erosão costeira” (PTDC/CS-SOC/103202/2008).

REFERÊNCIAS

- Antunes, Ó., 2012. Análise multicritério em SIG para determinação de um índice espacializado de pressão antrópica litoral: casos de Espinho, Caparica e Faro. Dissertação de Mestrado em Gestão do Território, Área de Especialização em Detecção Remota e Sistemas de Informação Geográfica, Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, 121 pp.
- Booij, N., Ris, R.C., Holthuijsen, L.H., 1999. A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation. *J. Geoph. Research*, 104, C4, 7649-7666.
- Carvalho, M.M., 1992. Valores extremos da agitação marítima, Figueira da Foz – tratamento local dos dados existentes.
- Castillo, C., R. Mínguez, E. Castillo, M.A. Losada, 2006. An optimal engineering design method with failure rate constraints and sensitivity analysis. Application to composite breakwaters. *Coastal Engineering*, 53, 1 – 25.
- Coelho, C.D.B., 2005. Riscos de exposição de frentes urbanas para diferentes intervenções de defesa costeira. Dissertação de Doutoramento em Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, 404 pp.
- Costa, M., R. Silva e Vitorino, J., 2001. Contribuição para o estudo do clima de agitação marítima na costa portuguesa. 2.as Jornadas Portuguesas de Eng. Costeira e Portuária, AIPCN, 20p (CD-Rom).

- Costa, M., Baptista, R, e Rusu, L., 2003. Vinte anos de dados de agitação marítima na costa portuguesa. 3.as Jornadas Portuguesas de Eng. Costeira e Portuária, AIPCN, 16p (CD-Rom).
- Dias, J. A., Ferreira, O., Pereira, A. R., 1994. Estudo sintético de diagnóstico da geomorfologia e da dinâmica sedimentar dos troços costeiros entre Espinho e Nazaré. Edição eletrónica de 2005: w3.uaig.pt/~jdias/JAD/ebooks.
- Dodet, G., Bertin, X., Taborda, R., 2010. Wave climate variability in the North-East Atlantic Ocean over the last six decades. *Ocean Modelling*, 31 (3-4): 120-131.
- Ferreira, Ó., 1993. Caracterização dos principais factores condicionantes do balanço sedimentar e da evolução da linha de costa entre Aveiro e o Cabo Mondego. Tese de Mestrado, Universidade de Lisboa, 166 pp.
- Ferreira, Ó., 2006. The role of storm groups in the erosion of sandy coasts. *Earth Surface Processes and Landforms*, 31, 1058-1060, doi: 10.1002/esp.1378.
- Heitor, D. S., 2013. Classificação da Intensidade Energética no Litoral de Espinho. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, FCT, Universidade Nova de Lisboa.
- Jiménez, J. A., Valdemoro, H. I., Sanchez-Arcilla, A., 2003. Bayed beaches behavior under storms. Effects of storm direction, intensity, duration and water level on beach erosion. Proceedings of the Int. Conf. Coastal Sediments, Texas.
- Losada, M. A., Giménez-Curto, L., 1981. Flow characteristics on rough, permeable slopes under wave action. *Coastal Engineering*, 4 187-206.
- Lucas, C., Costa, M., Silva, R., 2004. Valores extremos de agitação marítima ao largo de Sines. IX Jornadas Técnicas de Engenharia Naval, IST, Lisboa.
- Mendoza, E. T., Jiménez, J. A., 2006. Storm-Induced beach erosion potential on the Catalanian Coast. *J. Coast Res.*, 48, 81-88.
- Mendoza, E. T., Jiménez, J. A., Mateo, J., 2011. A coastal storms intensity scale for the Catalan Sea (NW Mediterranean). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11, 2453-2462.
- Mota Oliveira, I.B. e Martins, L.M.P., 1991. Obras de Defesa e de Reconstrução das Praias de Espinho. *Recursos Hídricos*, APRH, pp 71-88, vol. 12.
- Pires, I., Craveiro, J.L., Antunes, Ó., Almeida, I.D., Sancho, F., Oliveira, F., e Freire, P., 2011. Litoral continental português: casos de estudo sobre o risco de erosão, conflitos e regulações ambientais – contributos para uma sociologia do ambiente e ecologia humana. VI Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa, Ilha da Boa Vista, Cabo Verde, 4-8 de Abril.
- Pita, C. e Santos, J.A., 1989. Análise dos temporais da costa oeste de Portugal Continental. Relatório PO-WAVES 1/89-A, IH/LNEC, 29 pp.
- Veloso Gomes, F. Taveira Pinto, F., Neves, L., Barbosa, J.P., 2006. Pilot site of river Douro – Cape Mondego and case studies of Estela, Aveiro, Caparica, Vale do Lobo and Azores. CERUP, 317 pp.