

IMPORTÂNCIA DOS DADOS DE AGITAÇÃO MARÍTIMA NOS ESTUDOS DE DINÂMICA COSTEIRA

Manuel CLÍMACO

Investigador Principal, LNEC, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, +351218443611, mclimaco@lnec.pt

Claudino VICENTE

Investigador Coordenador, LNEC, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, +351218443611, claudinovicente@sapo.pt

RESUMO

O registo da agitação marítima na costa portuguesa, embora tenha vindo a progredir, mantém algumas limitações que constituem um bloqueio quer ao avanço da investigação da dinâmica da costa portuguesa quer ao estudo e resolução dos problemas de erosão que a afectam.

Considera-se que o melhoramento deste tipo de dados deve incidir nos seguintes aspectos: revisão da cobertura espacial dos ondógrafos; redução para um nível mais aceitável das lacunas dos registos; e colmatação de lacunas que subsistam recorrendo a modelos de reconstituição da agitação marítima (*hindcast*).

Palavras-chave: dinâmica costeira, agitação marítima, ondógrafos, costa portuguesa, modelação.

1. INTRODUÇÃO

As actividades que se realizam na orla marítima, com destaque para as urbanísticas, balneares e portuárias, têm vindo a intensificar-se nas últimas décadas. Por seu lado, o equilíbrio morfológico da costa é relativamente frágil, sendo frequentemente afectado por diversas acções que com ele interferem: construção de barragens com a conseqüente retenção de areias que alimentam a costa, extracções de areia para a indústria da construção civil, construção e ampliação das obras exteriores de portos, dragagem de canais de acesso portuário e edificações demasiado próximas da linha de água.

A dinâmica e a morfologia costeira sofrem com estas interferências, as quais podem originar processos erosivos de grande escala e duração, com conseqüências económicas gravosas para actividades e património.

Estas tendências têm conduzido à necessidade crescente de estudos de dinâmica costeira visando prevenir, atenuar e resolver este tipo de problemas. Nestes estudos estão incluídas análises de diferentes âmbitos: diagnóstico de processos erosivos e sua correcção através de alimentação artificial e obras fixas; criação de praias artificiais; previsão da evolução de trechos de costa em desequilíbrio; efeitos de obras costeiras sobre a morfologia das praias adjacentes; e interpretação de dados de monitorização da costa.

A fiabilidade e profundidade dos estudos de dinâmica costeira dependem da qualidade dos dados de agitação marítima, factor determinante na avaliação das movimentações aluvionares. Procura-se, na presente comunicação, evidenciar a importância desses dados, caracterizar as lacunas existentes na costa portuguesa e propor medidas para colmatar as insuficiências que os afectam.

2. ESTUDOS DE DINÂMICA COSTEIRA

A caracterização da dinâmica de um trecho de costa baseia-se na avaliação do seu balanço aluvionar, com quantificação dos transportes longitudinais de areia nos dois sentidos e dos afluxos de alimentação e das perdas de sedimentos. A um balanço nulo corresponde uma situação de equilíbrio e a balanços positivos ou negativos situações de assoreamento ou de erosão. O fluxo longitudinal de areias, elemento determinante do balanço, depende fundamentalmente das características da agitação marítima na rebentação.

Nos estudos mais antigos de dinâmica costeira, elaborados há cerca de meio século, o cálculo era pouco detalhado, limitando-se a um pequeno número de ondas elementares consideradas representativas do regime geral, ou apenas a uma única onda designada por onda dominante. Nos estudos em modelo físico, então realizados, eram também consideradas poucas ondas devido à morosidade e dificuldade de operação dos modelos.

Com o advento dos modelos numéricos de evolução de linhas de costa foram ultrapassadas as anteriores limitações, sendo agora possível: efectuar balanços em pequenos trechos da ordem de poucas dezenas de metros (células), e em intervalos de tempo de algumas horas (passo de cálculo). Em cada um desses instantes é calculado o transporte sólido litoral nas fronteiras de cada célula, o que exige uma especificação muito pormenorizada da agitação marítima que incide na praia. Estes balanços são integrados de forma a cobrir dezenas de quilómetros de costa e períodos totais de dezenas de anos.

As novas potencialidades de cálculo dos modelos de linhas de costa permitiram descrever mais detalhadamente a agitação marítima, com grandes vantagens para os estudos de dinâmica costeira, resultando um maior realismo na simulação do transporte sólido litoral e das evoluções da linha de água. O refinamento espacial e temporal dos dados de agitação marítima tornou possível o aprofundamento das simulações, de forma a contemplar novos aspectos de variabilidade inter-anual, sazonal e decorrente de temporais.

Estes aspectos apresentam grande importância quer na interpretação da dinâmica da praia quer no dimensionamento de intervenções de correcção e melhoramento. Padrões de rumos da agitação marítima muito distintos nos períodos de Verão e de Inverno são muitas vezes causa de variações morfológicas da praia ao longo do ano que é importante analisar e caracterizar. São igualmente relevantes as oscilações da massa de areia de praias encaixadas, devidas à ocorrência de um ou mais anos de agitação marítima muito afastados do padrão médio de rumos. Estas oscilações devem ser consideradas na implantação das obras de contorno da praia, tal como passeios marginais e outras construções e equipamentos balneares. É ainda importante a consideração destes factores, bem como dos fluxos extremos de temporal, no projecto de obras de protecção costeira.

A experiência do LNEC tem mostrado a vantagem de recorrer, sempre que possível, a modelos numéricos de evolução da linha de costa. Começa-se por simular a dinâmica do trecho quantificando os fluxos de areia e eventuais défices aluvionares e taxas de recuo. Procura-se reproduzir a evolução morfológica ocorrida no passado, operação que permite avaliar a resposta do modelo e efectuar a sua calibração para o estudo em causa. A simulação é posteriormente repetida, com soluções alternativas de intervenções destinadas a estabilizar a praia e resolver os problemas existentes.

Para tirar o máximo partido das simulações é necessário dispor dos referidos dados pormenorizados, constituídos por longas séries cronológicas reais da agitação marítima que incide na praia. Estas são obtidas a partir da aplicação de modelos numéricos de propagação às correspondentes séries de registo dos parâmetros das ondas, normalmente disponíveis em maiores profundidades.

Mostra a experiência que as séries cronológicas de agitação marítima desejáveis para um estudo completo de dinâmica costeira devem apresentar as seguintes características:

- Abranger um período longo, da ordem de duas dezenas de anos, para permitir caracterizar as condições médias do regime de agitação marítima e identificar os padrões sazonais e os eventos extremos.
- Incluir valores diários dos três parâmetros necessários para o cálculo do transporte de areias: rumo, altura significativa e período das ondas.

3. DADOS DE AGITAÇÃO MARÍTIMA

O registo da agitação marítima na costa portuguesa com bóia-ondógrafo não direccional iniciou-se na década de 70. Numa primeira fase não se registavam os rumos o que limitava o interesse desses dados nas análises de dinâmica costeira. As bóias-ondógrafo direccionais foram introduzidas na década de 80 apresentando-se no Quadro 1 a relação dos postos e dos períodos de registo, desde então até à actualidade.

No que respeita à dinâmica costeira da costa continental, os postos de Leixões, Figueira da Foz e Sines são suficientes para uma boa definição espacial do regime de agitação marítima ao largo da costa oeste. Já a costa do Algarve com apenas o posto de registo de Faro se apresenta mais desguarnecida, dado que a variação espacial dos parâmetros do regime é mais acentuada do que na costa oeste (Figura 1).

A principal deficiência em ambos os trechos consiste nas numerosas falhas de registo que em muitos casos se prolongam por mais de um mês consecutivo. Esta situação é bem visível no exemplo dos registos de Faro no período de 1992 a 1995 que se apresenta no Quadro 2. No conjunto global dos registos da costa portuguesa a frequência das lacunas é quase sempre muito elevada, especialmente nos meses de Inverno.

Quadro 1 – Estações direccionais actuais.
(Adaptado de COSTA et al., 2003)

Estações	Prof. (m)	Latitude (N)	Longitude (W)	Data Inicial
Leixões		41° 12' 12"	9° 5' 18"	Jul. 1993
	83	41° 19' 00"	8° 59' 00"	Jul. 1996
Sines 1	97	37° 55' 16"	8° 55' 44"	Mai. 1988
Faro	93	36° 54' 17"	7° 53' 54"	Set. 1986
Funchal	100	32° 37' 06"	16° 56' 30"	Nov. 1996
Cançal	108	32° 43' 12"	6° 43' 42"	Fev. 2002
Praia da Vitória	~100	38° 45' 00"	27° 00' 58"	Fev. 2005
Ponta Delgada	~100	37° 43' 53"	25° 43' 28"	Ago. 2005
Lajes das Flores	~100	39° 21' 86"	31° 10' 00"	Set. 2006
Faial - Pico	~100	38° 35' 26"	28° 32' 26"	Mar. 2007

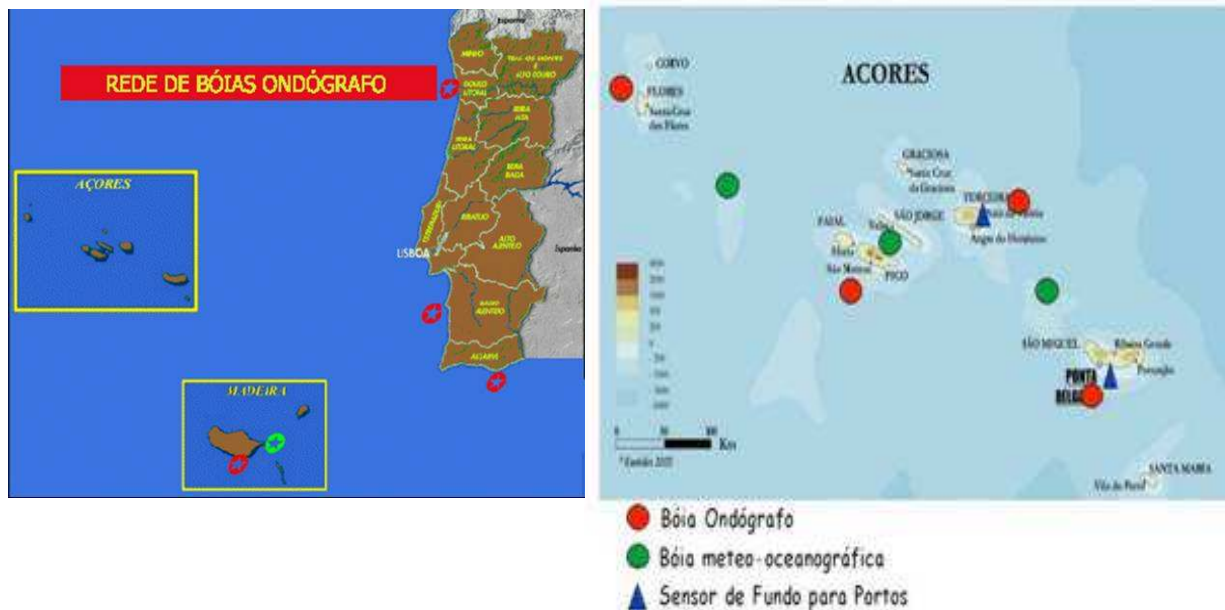


Figura 1 – Localização das bóias-ondógrafo na costa portuguesa.
(Extraído de FORTES et al.,2006).

Quadro 2 – Dias com e sem dados de ondógrafo em Faro nos anos de 1992 a 1995.

(Extraído de FILIPE et al., 1999).

1992	JAN			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31							
	FEV						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29						
	MAR						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31				
	ABR		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30									
	MAI					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31					
	JUN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30										
	JUL		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31								
	AGO				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31						
	SET		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30									
	OUT			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31							
	NOV					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30						
	DEZ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31									
1993	JAN					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31					
	FEV	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28												
	MAR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31									
	ABR			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30								
	MAI					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31					
	JUN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30										
	JUL		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31								
	AGO				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31						
	SET			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30								
	OUT			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31							
	NOV	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30										
	DEZ		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31								
1994	JAN					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31					
	FEV	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28												
	MAR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31									
	ABR				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30							
	MAI					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31					
	JUN		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30									
	JUL			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31							
	AGO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31									
	SET			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30								
	OUT				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31						
	NOV	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30										
	DEZ			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31							
1995	JAN					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31					
	FEV		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28											
	MAR		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31								
	ABR				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30							
	MAI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31									
	JUN		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30									
	JUL			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31							
	AGO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31									
	SET			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30								
	OUT				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31						
	NOV		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30									
	DEZ			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31							

Verde : dias com dados

Vermelho : dias sem dados

4. MELHORAMENTO DOS DADOS

A actual situação de insuficiência de dados de agitação constitui um bloqueio quer ao avanço da investigação da dinâmica sedimentar da costa portuguesa quer ao estudo e resolução dos problemas de erosão que a afectam. O melhoramento dos dados de agitação marítima é pois um factor prioritário para o progresso dos conhecimentos e da capacidade de intervenção na costa.

- Revisão da cobertura espacial dos ondógrafos direccionais na costa continental. Sugere-se a reactivação do posto de registo da Figueira da Foz o que permitirá, juntamente com Leixões e Sines, uma distribuição equilibrada das observações na costa oeste. Como a costa do Algarve apresenta uma mais rápida variação espacial do regime de agitação marítima, recomenda-se a instalação de mais um posto de registo, após análise das localizações mais favoráveis.
- Colmatação de lacunas dos registos recorrendo a resultados de modelos de *hindcast*, para passar a dispor de séries cronológicas sem falhas. Para o conseguir será necessário o desenvolvimento de um projecto de investigação que afira as séries de *hindcast* e as compatibilize com as registadas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A crescente importância das actividades que se realizam na orla marítima e dos conflitos e problemas a elas associados têm conduzido à necessidade crescente de estudos de dinâmica costeira visando prevenir, atenuar e resolver este tipo de problemas. Nestes estudos estão incluídos diferentes análises: diagnóstico de processos erosivos e sua correcção através de obras fixas e alimentação artificial; previsão da evolução de trechos de costa em desequilíbrio; previsão dos efeitos de obras costeiras sobre a morfologia das praias adjacentes; criação de praias artificiais; e interpretação de dados de monitorização da costa.

Com o advento dos modelos numéricos de evolução de linhas de costa foram ultrapassadas anteriores limitações, sendo agora possível: efectuar balanços em pequenos trechos das praias, da ordem de poucas dezenas de metros (células), e em intervalos de tempo de algumas horas (passo de cálculo). Estes balanços exigem uma especificação muito pormenorizada da agitação marítima incidente.

É actualmente possível atingir um maior realismo na representação das condições de actuação das ondas sobre a praia, simulação das evoluções da linha de água e análise de novos aspectos, decorrentes da variabilidade sazonal e inter-anual da agitação marítima e da incidência de temporais. Estes aspectos apresentam grande importância quer na interpretação da dinâmica da praia quer no dimensionamento de intervenções.

Para tirar o máximo partido das simulações numéricas é necessário dispor dos referidos dados pormenorizados, constituídos por longas séries cronológicas reais da agitação marítima que incide na praia. Estas são obtidas a partir da aplicação de modelos numéricos de propagação às correspondentes séries de registo dos parâmetros das ondas, normalmente disponíveis em maiores profundidades.

O registo da agitação marítima na costa portuguesa tem vindo a ser prosseguido desde há algumas décadas. Numa primeira fase os rumos não eram registados o que retirava grande parte do interesse desses dados para as análises de dinâmica costeira. O principal problema são as numerosas falhas de registo que em muitos casos se prolongam por mais de um mês consecutivo.

A actual situação de insuficiência de dados de agitação constitui um bloqueio quer ao avanço da investigação da dinâmica da costa portuguesa quer ao estudo e resolução dos problemas de erosão que a afectam. O melhoramento dos dados de agitação marítima é pois um factor prioritário para o progresso dos conhecimentos e da capacidade de intervenção na costa.

Considera-se que esse melhoramento deve incidir nos seguintes aspectos: reduzir para um nível mais aceitável as lacunas nos futuros registos; melhorar a cobertura espacial dos ondógrafos direccionais com reactivação do posto de registo da Figueira da Foz e a instalação de mais um posto de registo na costa do Algarve; e colmatar as lacunas dos registos recorrendo a resultados de modelos de *hindcast*.

BIBLIOGRAFIA

COSTA, M.; BAPTISTA, R.; RUSU, L. (2003). "Vinte Anos de Dados de Agitação Marítima na Costa Portuguesa", in *3^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária*. PIANC, Aveiro (Portugal), 13 - 14 Nov.

FILIFE, A.; CARVALHO, M. M.; CAPITÃO R. (1999). "Valores Extremos da Agitação Marítima no Algarve", *Rel. 179/99 – NPE*, LNEC, Lisboa (Portugal), Jul.

FORTES, C.; SANTOS, J. A.; CLIMACO, M.; OLIVEIRA, I.M. (2006). "Alguns Aspectos da Engenharia Portuária e Costeira em Portugal", in *SEMENGO'06 - II Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica*, Rio Grande (Brasil), 9 - 11 Nov.