

Avaliação do Risco de Inundação na Praia de Vale do Lobo

Paulo Duarte Raposeiro^{1,2}, Maria Teresa Reis¹, Conceição Juana Fortes¹, José Carlos Ferreira²
Diogo Rúben Neves¹

¹Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Hidráulica e Ambiente, praposeiro@lnec.pt, treis@lnec.pt,
jfortes@lnec.pt, dneves@lnec.pt

²Universidade Nova de Lisboa – FCT/DCEA & CENSE – Centre for Environmental and Sustainability Research, jcrf@fct.unl.pt

Resumo

O presente trabalho ilustra uma metodologia desenvolvida no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) com a colaboração do Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente da Universidade Nova de Lisboa para avaliação do risco de inundação de uma zona costeira e a sua aplicação à praia de Vale do Lobo, concelho de Loulé. A metodologia baseia-se em quatro etapas principais: a) divisão da área em estudo em sub-áreas com características semelhantes em termos de defesa costeira; b) determinação da probabilidade de ocorrência de cotas de inundação que excedem limiares pré-estabelecidos para cada área de estudo; c) estabelecimento de factores qualitativos associados às consequências da ocorrência de cotas de inundação que excedem esses limiares; d) combinação dos passos acima para avaliação expedita dos riscos de inundação.

Para a determinação das cotas de inundação recorreu-se à metodologia de RAPOSEIRO *et al.* (2009a,b,c; 2010), baseada nas condições de agitação marítima medidas na bóia-ondógrafo de Faro ao longo de 9 anos, na sua propagação até à zona em estudo com recurso ao modelo SWAN, inserido no sistema de informação geográfica (SIG), GUIOMAR, e à determinação do espraiamento e respectivas cotas de inundação com base em fórmulas empíricas. Dá-se especial ênfase à automatização deste processo no GUIOMAR de modo a torná-lo eficiente e de resposta rápida.

Para determinar o risco de inundação da zona costeira desenvolveu-se uma metodologia com base nos trabalhos de FERREIRA (1999 e 2004), que recorre a um sistema de informação geográfica e à análise multicritério para avaliar a vulnerabilidade do território a diversos episódios de inundação e determinar as diferentes áreas de risco.

Palavras-Chave: Áreas de Risco, Cotas de inundação, Espraiamento, Modelação numérica, Praia de Vale do Lobo.

1. INTRODUÇÃO

O impacto das alterações climáticas na zona costeira tem vindo a manifestar-se de diferentes formas, nomeadamente através da subida do nível médio do mar e do aumento, quer em número, quer em intensidade, de fenómenos causadores de risco de inundação. Tendo em consideração a posição geográfica e a concentração de pessoas e bens no litoral, estes fenómenos revelam-se hoje como autênticos desafios na gestão do litoral português.

A maior ou menor exposição das infra-estruturas ou da população aos eventos que podem causar danos é determinante para a avaliação do risco. Este aspecto é importante, pois é possível identificar áreas costeiras com um elevado índice de vulnerabilidade às acções energéticas do mar, mas sem grandes riscos associados por inexistência de ocupação humana, equipamentos ou valores naturais, ou o caso contrário, isto é, zonas de baixo índice de vulnerabilidade, mas de elevada ocupação antrópica que confere um elevado risco. Assim, neste trabalho, entende-se por risco a probabilidade de ocorrência um evento adverso multiplicada pelas suas consequências (FERREIRA 2004, PANIZZA 1990 e VARNES 1984).

A extensão da costa Portuguesa, a severidade do clima de agitação marítima e a concentração da população e das actividades económicas na sua zona costeira, justificam a importância do desenvolvimento de estudos de risco de origem marítima. Para uma correcta avaliação destes riscos, a determinação de cotas de inundação é fundamental.

Com efeito, situações de emergência provocadas pelo estado do mar são frequentes e põem em causa a segurança de pessoas e bens, com consequências negativas para a sociedade, a economia e o património natural.

O aprofundamento dos estudos relativos à agitação marítima, às correntes e aos níveis de maré à escala local, é essencial para melhorar as metodologias de avaliação dos riscos de origem marítima, aumentando a fiabilidade dos resultados e permitindo emitir alertas atempadamente.

Assim, propõe-se uma metodologia que permite aprofundar a avaliação dos riscos de origem marítima, nomeadamente as variáveis que permitem avaliar o risco associado à inundação de uma área costeira, essencial para um correcto ordenamento e gestão do território. Os principais objectivos a atingir são:

- fornecer instrumentos de utilização simples pelas entidades competentes para aumentar a sua eficácia na resposta a situações de emergência de inundações cuja causa esteja directamente relacionada com o mar;
- facultar informação aos decisores sobre os riscos a que estão sujeitas as zonas costeiras, contribuindo para a elaboração de mapas de risco de inundações;
- auxiliar os responsáveis pela gestão das infra-estruturas de protecção costeira na minimização dos riscos a elas associados.

É, neste sentido, que foi desenvolvido o sistema GUIOMAR (NEVES *et al.* 2009), baseado num sistema de informação geográfica (SIG) e construído no sentido de apoiar a utilização dos modelos de propagação e deformação da agitação marítima e de constituir uma ajuda fundamental nos processos de tomada de decisão em estudos correntes de engenharia costeira e em situações de emergência. Com efeito, este sistema coordena o uso de modelos numéricos, incluindo a gestão de dados de entrada, geração de malhas computacionais e a análise geográfica dos resultados.

O sistema GUIOMAR é constituído por três componentes principais: um *software* comercial de SIG, um conjunto de modelos numéricos de propagação de ondas e outros programas de pré e pós-processamento programados em FORTRAN™ e uma interface com o utilizador, desenvolvida em linguagem de programação VBA para ArcGIS™. O sistema tem um carácter modular, o que o torna facilmente expansível, por permitir a inclusão/substituição de: a) módulos por versões mais actualizadas dos modelos numéricos existentes ou mesmo por outros modelos numéricos que permitam simular com maior precisão certos fenómenos físicos; b) módulos específicos para análise e processamento de resultados com vista à funcionalidade que se pretende dar a esses resultados (por exemplo, constituírem a base de uma avaliação de risco).

Ultimamente o sistema GUIOMAR tem vindo a ser desenvolvido para incluir procedimentos e metodologias automáticas de suporte a estudos de avaliação de risco. O trabalho aqui apresentado representa o desenvolvimento de uma metodologia para avaliação do risco de inundação e a sua aplicação à Praia de Vale do Lobo, Concelho de Loulé.

A metodologia baseia-se em quatro etapas principais: a) divisão da área em estudo em sub-áreas com características semelhantes em termos de defesa costeira; b) determinação da probabilidade de ocorrência de cotas de inundação que excedem limiares pré-estabelecidos para cada área de estudo; c) estabelecimento de factores qualitativos associados às consequências da ocorrência de cotas de inundação que excedem esses limiares; d) combinação dos passos acima para avaliação expedita dos riscos de inundação. Para determinação das cotas de inundação, é seguida a metodologia utilizada em RAPOSEIRO *et al.* (2009a,b,c; 2010).

Assim, após esta introdução, apresenta-se na secção 2 uma caracterização geral da zona em estudo. Na secção 3 é descrita sumariamente a metodologia para determinação do espraiamento e das cotas de inundação e a sua aplicação à zona de estudo. Na secção 4, é feita uma avaliação do risco. Por fim, a secção 5 contém as considerações finais do trabalho e os futuros desenvolvimentos.

2. CASO DE ESTUDO

A praia de Vale do Lobo situa-se no Concelho de Loulé, na região do Algarve (Figura 1). Com uma extensão em areal de 2 km é uma praia de origem sedimentar, tendo as suas arribas um perfil com uma forte tendência anual para manter uma certa verticalidade. As arribas podem variar entre as alturas de 2 m e 20 m, consoante a localização ao longo da praia. Apesar de talhadas em formações arenosas de idade Plio-pleistocénicas, são constituídas essencialmente por areias de grão médio a grosseiro subarcólicas e envolvidas num suporte matricial argiloso (MOURA e BOSKI, 1999).

Vale do Lobo sofreu uma forte expansão urbana com impactes ambientais significativos, destacando-se o empreendimento turístico de Vale do Lobo (Figura 2). Este empreendimento é constituído por um complexo turístico, com restaurantes, piscina e campos de golfe. Próximo das cristas das arribas da Praia de Vale do Lobo encontram-se habitações e campos de golfe. A piscina apresenta uma estrutura de protecção costeira de enrocamento que se desenvolve ao longo de aproximadamente 20 m.

Vale do Lobo é um exemplo de uma ocupação em áreas de vulnerabilidade elevada de origem marítima, nomeadamente de inundação e erosão costeira. A ocupação destas áreas vulneráveis origina riscos de desabamento/derrocada da arriba (colocando em risco habitações, campos de golfe e banhistas) e erosão costeira (colocando em risco a piscina e a Ria Formosa por ruptura do cordão dunar frontal).

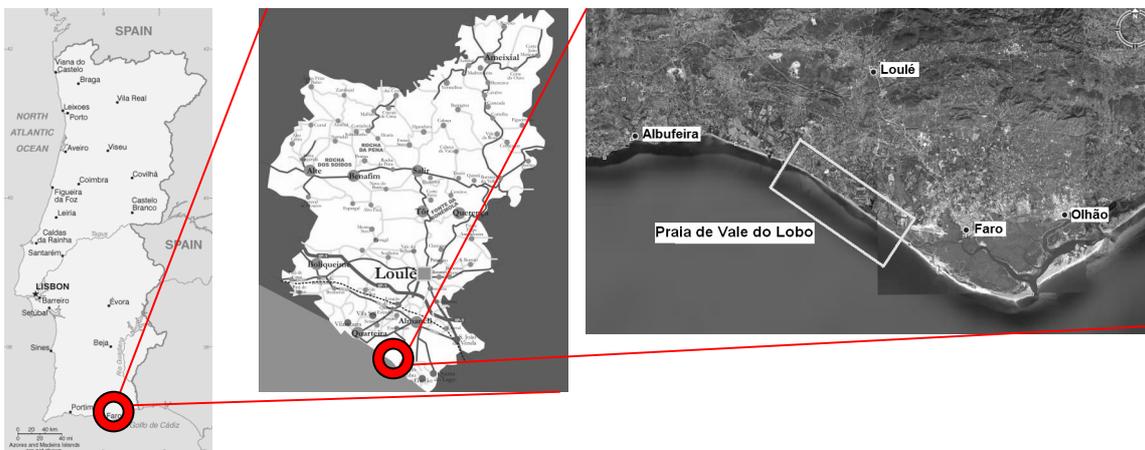


Figura 1 - Localização da Praia de Vale do Lobo



Figura 2 – a) Praia de Vale do Lobo: empreendimento turístico (fotografia cedida por EPRL / IGP).
b) Localização de 16 pontos de amostragem e de 3 perfis transversais à praia.

3. CÁLCULO DO ESPRAIAMENTO E COTAS DE INUNDAÇÃO

3.1. Metodologia

Para o cálculo do espraçamento e cotas de inundação na praia de Vale do Lobo, é necessário caracterizar as condições de agitação marítima ao largo e/ou junto à costa. Para esta caracterização, recorreu-se à metodologia utilizada em RAPOSEIRO *et al.* (2009a,b,c; 2010) que consiste resumidamente:

- Na utilização dos dados de agitação marítima ao largo medidos pelo Instituto Hidrográfico em Faro com a bóia-ondógrafo direccional WAVERIDER e receptor WAREC. A bóia encontra-se localizada na batimétrica -93 m (ZH), sendo a sua posição de $36^{\circ} 54' 17''$ N, $07^{\circ} 53' 54''$ W. Em condições normais, a aquisição dos dados é efectuada de 3 em 3 horas durante períodos de 30 minutos. Em condições de temporal, ou seja, quando a altura significativa excede 3 m, os períodos de aquisição são apenas espaçados de 10 minutos. O período de registos considerado neste trabalho corresponde à série dos anos de 1986 a 1995;
- Na transferência dos dados para junto à costa com o modelo de geração, propagação e dissipação da agitação marítima SWAN (BOOIJ *et al.* 1999), através de uma interface desenvolvida para este modelo no sistema GUIOMAR de modelação da agitação marítima

(NEVES *et al.* 2009). Neste trabalho, a transferência foi efectuada considerando um nível de mar de +4.64 m (ZH);

- No estabelecimento das características da agitação marítima em pontos ao longo de perfis transversais à praia (Figura 2) utilizando o programa REGIMES/SOPRO (PINHEIRO *et al.* 2006).
- No cálculo do espraiamento e cotas de inundação segundo as fórmulas empíricas propostas por MASE (1989), NIELSEN & HANSLOW (1991), MASE *et al.* (2003) e TEIXEIRA (2009). Para este efeito, foram desenvolvidos programas em FORTRAN, FORTES *et al.* (2009, 2010).

Nas secções seguintes apresentam-se, a título de exemplo, algumas das características da agitação marítima ao largo e junto à praia de Vale do Lobo.

3.2. Características da Agitação Marítima ao Largo e na Praia de Vale do Lobo

Nos registos da bóia-ondógrafo de Faro indicam-se, para além do grupo data-hora, várias grandezas relacionadas com as características da onda e, em particular, os valores de altura de onda significativa (HS), período de zero ascendente (TZ) e direcção de onda (DIR). É de salientar que se verifica a existência de algumas falhas de registos ao longo dos anos de 1986 a 1995.

Com base nos registos destes anos, determinam-se as séries temporais dos valores de HS, TZ e DIR, e as relações HS-TZ, HS-DIR e TZ-DIR na bóia-ondógrafo de Faro para os anos de 1986 a 1995 (Figura 3a, b e c, respectivamente).

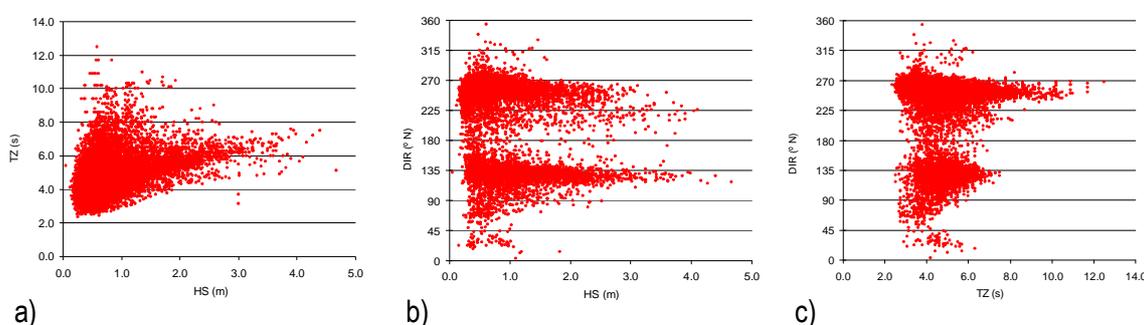


Figura 3 – Relações HS-TZ, HS-DIR e TZ-DIR na bóia-ondógrafo de Faro para os anos de 1986 a 1995.

A transferência dos dados de agitação marítima da bóia-ondógrafo de Faro para junto à costa foi efectuada com o modelo de geração, propagação e dissipação da agitação marítima SWAN (BOUIJ *et al.* 1999), através de uma interface desenvolvida para este modelo no sistema GUIOMAR de modelação da agitação marítima (NEVES *et al.* 2009) e com o módulo REGIMES/SOPRO (PINHEIRO *et al.* 2006). Foram efectuados cálculos considerando um nível de mar de +4.64 m (ZH), que resulta da soma do valor da preia-mar máxima em Lagos em 2009 (obtido nas Tabelas de Marés publicadas pelo Instituto Hidrográfico) com um valor para ter em linha de conta a sobrelevação meteorológica do nível do mar com um período de retorno de 100 anos (valor baseado em estudos levados a cabo no âmbito do Projecto SIAM II, SANTOS *et al.* 2002).

Estabeleceram-se as características da agitação marítima em 16 pontos ao longo de 3 perfis tipo

transversais à praia (Figura 2). Para exemplificar os cálculos de espraioamento e cotas de inundação, apenas foram considerados neste trabalho os resultados nos Pontos 6 (Perfil A1) e 9 (Perfil A2), localizados antes da rebentação se iniciar. A título de exemplo, apresentam-se nas Figuras 4 e 5 as relações HS-TP, HS-DIR e TP-DIR nos Pontos 6 e 9, respectivamente, para os anos de 1986 a 1995, em que TP é o período de pico do espectro.

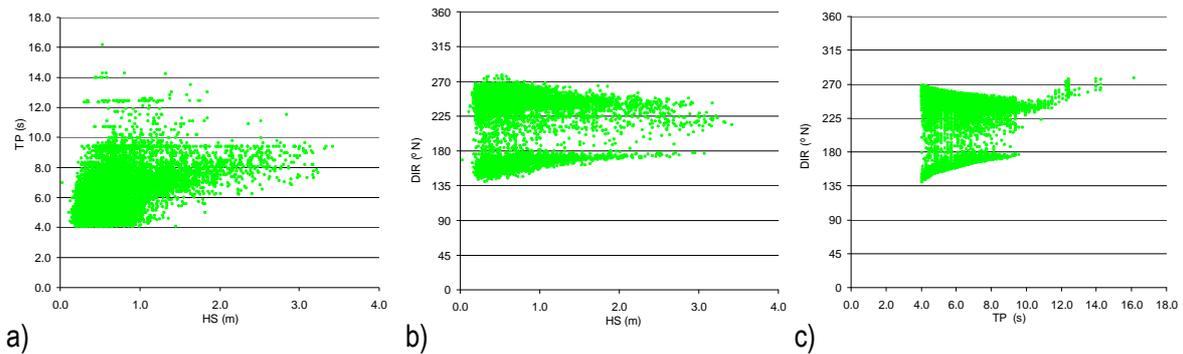


Figura 4 – Relações HS-TP, HS-DIR e TP-DIR no Ponto 6 para os anos de 1986 a 1995.

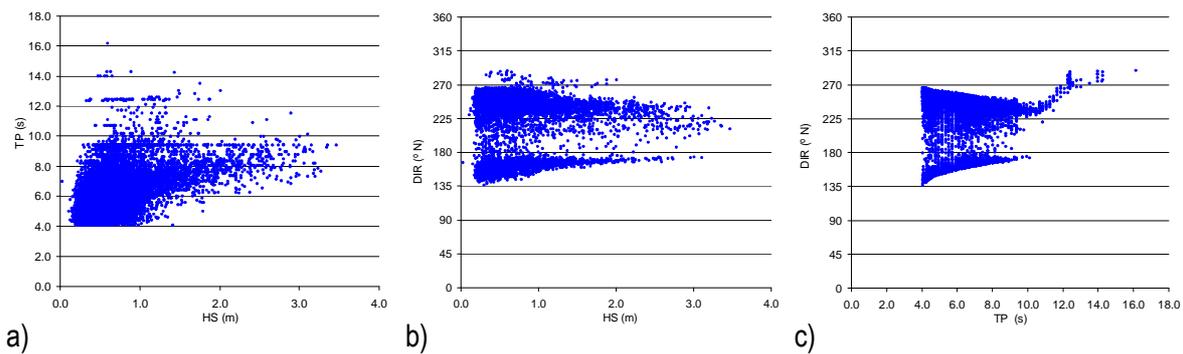


Figura 5 – Relações HS-TP, HS-DIR e TP-DIR no Ponto 9 para os anos de 1986 a 1995.

3.3. Análise do Espraioamento na Praia de Vale do Lobo

O cálculo expedito do espraioamento em praias é usualmente efectuado utilizando essencialmente formulações empíricas, baseadas em medições de campo ou em ensaios em modelo físico reduzido bidimensional de taludes (praias) constantes, lisos e impermeáveis (USACE, 2003). Nos trabalhos anteriores de RAPOSEIRO *et al.* (2009a,b,c; 2010), o espraioamento na praia de Vale do Lobo foi estimado aplicando as fórmulas propostas por MASE (1989) e por MASE *et al.* (2003), desenvolvidas com base em resultados de ensaios, e ainda por NIELSEN & HANSLOW (1991) e por TEIXEIRA (2009), desenvolvidas com base em dados de campo. Note-se que a fórmula de TEIXEIRA (2009) é baseada em dados de campo recolhidos especificamente para a área de estudo considerada neste trabalho.

A Figura 6 mostra, a título de exemplo, os valores do espraioamento máximo, R_{max} , obtidos no Perfil A1 através das fórmulas de MASE (1989), NIELSEN & HANSLOW (1991) e TEIXEIRA (2009) para a série de dados de agitação ao largo entre Janeiro e Junho de 1989.

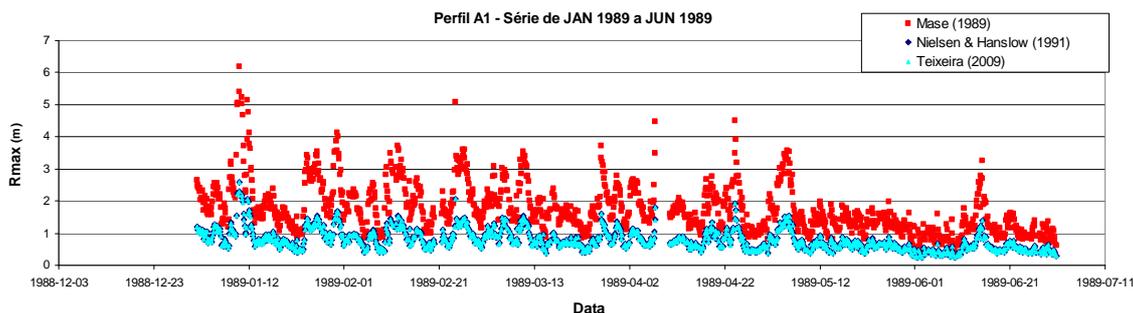


Figura 6 – Valores do máximo espraioamento, R_{max} , obtidos no Perfil A1 para o período entre Janeiro e Junho de 1989, através das fórmulas de MASE (1989), NIELSEN & HANSLOW (1991) e TEIXEIRA (2009) para as condições de agitação marítima ao largo.

3.4. Cálculo de Cotas de Inundação

Uma vez estimados os valores do espraioamento da agitação marítima numa zona costeira, as cotas de inundação correspondentes, CI (referidas ao ZH), podem ser determinadas assumindo que resultam apenas da soma da contribuição da maré astronómica, MA (também referida ao ZH), da sobrelevação meteorológica, SM, e do espraioamento, R, i.e.:

$$CI = MA + SM + R \quad (1)$$

A maré astronómica pode ser estimada com rigor para a maioria dos locais. Em geral, medições maregráficas num dado local permitem obter as componentes harmónicas da mesma e, a partir destas, estimar com elevada precisão a curva maregráfica nesse local, admitindo que as condições hidrodinâmicas se mantêm constantes de forma a não alterarem as componentes harmónicas da maré.

A sobrelevação meteorológica é a diferença entre os valores reais da elevação da superfície livre da água do mar observados nos marégrafos (RM) e os devidos apenas à maré astronómica, i.e. $RM = MA + SM$. A sobrelevação aqui designada por “sobrelevação meteorológica” é essencialmente induzida por ventos fortes ou de prolongada duração e/ou por pressões atmosféricas anormalmente baixas ou elevadas.

Neste trabalho, por falta de dados maregráficos para o período entre 1986 e 1995, utilizaram-se dois anos completos de registo de maré, RM, assumindo assim a maré igual para os nove anos.

Os valores de R considerados correspondem às estimativas de R_{max} obtidas com as metodologias de MASE (1989), NIELSEN & HANSLOW (1991) e TEIXEIRA (2009) para as condições de agitação marítima ao largo para o período de 1986 a 1995.

Na Tabela 1 apresentam-se os valores máximos de CI para os Perfis A1 e A2 para as condições referidas anteriormente. A tabela mostra que o valor máximo de CI é muito semelhante para as metodologias de NIELSEN & HANSLOW (1991) e TEIXEIRA (2009) e muito inferior ao valor obtido pela metodologia de MASE (1989), visto esta se basear em ensaios realizados com taludes impermeáveis. Para NIELSEN & HANSLOW (1991) e TEIXEIRA (2009), a contribuição de R_{max} para CI é inferior à contribuição de RM, enquanto que para MASE (1989) isso não acontece.

Tabela 1 – Cotas de inundação máximas calculadas para os Perfis A1 e A2 com diferentes metodologias.

Metodologia	Perfil	Rmax (m)	CI (m ZH)
MASE (1989)	A1	6.60	9.56
	A2	6.91	9.87
NIELSEN & HANSLOW (1991)	A1	2.71	6.40
	A2	2.88	6.57
TEIXEIRA (2009)	A1	2.70	6.39
	A2	2.87	6.56

4. AVALIAÇÃO DE RISCO

4.1. Metodologia

Para o desenvolvimento da metodologia de avaliação do risco de inundação de uma zona costeira, foram definidas três tabelas: i) uma tabela de Probabilidade de Ocorrência de um evento adverso, a inundação causada pelo mar,; ii) uma tabela de Consequências dessa inundação; e iii) com base nas duas tabelas anteriores, uma tabela de Risco de inundação costeira. O conteúdo destas tabelas teve como suporte estudos efectuados anteriormente (e.g. SIMM e CRUICKSHANK, 1998; FERREIRA, 1999 e 2004), tendo em consideração que, desde os anos 90, que o litoral em estudo revela uma menor resistência, quer aos episódios de tempestade, quer aos episódios de marés vivas, o que evidencia o início de um novo ciclo regressivo.

A metodologia baseia-se em quatro etapas principais:

- divisão da área em estudo em sub-áreas com características semelhantes em termos de defesa costeira;
- determinação da probabilidade de ocorrência de cotas de inundação que excedem limiares pré-estabelecidos para cada área de estudo;
- estabelecimento de factores qualitativos associados às consequências, em termos de danos materiais em cada sub-área, da ocorrência de cotas de inundação que excedem esses limiares;
- combinação dos passos acima de modo a proceder-se à avaliação expedita dos riscos de inundação.

Os resultados de agitação marítima, espraiamento e cotas de inundação da série temporal de 1986 a 1995 na Praia de Vale do Lobo foram utilizados para ilustrar a aplicação e validação do método expedito que identifica as áreas às quais estão associadas as consequências mais sérias da inundação e o maior risco.

4.2. Probabilidade de Ocorrência

Na Tabela 2 apresenta-se uma descrição preliminar da Probabilidade de Ocorrência de cotas de inundação que excedem limiares pré-estabelecidos, tendo em conta uma determinada série temporal de registos de cotas de inundação.

Tabela 2 – Probabilidade de Ocorrência de cotas de inundação que excedem limiares pré-estabelecidos.

Descrição	Probabilidade de Ocorrência (Guia de Orientação)	Grau
Improvável	0 – 1%	1
Raro	1 – 10%	2
Ocasional	10 – 25%	3
Provável	25 – 50%	4
Frequente	> 50%	5

4.3. Consequências

Na Tabela 3 apresenta-se uma descrição preliminar das Consequências da ocorrência para a zona em estudo de cotas de inundação que excedem limiares pré-estabelecidos. Esta tabela tem em linha de conta a sensibilidade e importância intrínseca do meio receptor perante a ocorrência da inundação. Tem como objectivos identificar valores naturais, culturais, antrópicos e socio-económicos de elevada sensibilidade. Os critérios consideram o reconhecimento dos habitats com valor ecológico, a ocupação do solo, a densidade da construção e a localização das edificações em relação à proximidade do elemento potencialmente “agressor”, a permanência das habitações e outros valores únicos cuja perda seria irreparável.

Os valores do grau de Consequências foram atribuídos de forma a ser possível, no cálculo do grau de Risco (secção 4.4), ter em conta a importância do risco no que diz respeito ao seu controle e priorização. Por exemplo, é importante distinguir entre um evento com elevado grau de Probabilidade de Ocorrência mas com grau de Consequências baixo e um evento com baixo grau de Probabilidade de Ocorrência mas com grau de Consequências muito elevado.

Tabela 3 – Consequências da ocorrência para a zona em estudo de cotas de inundação que excedem limiares pré estabelecidos.

Descrição	Consequências (Guia de Orientação)	Grau
Insignificantes	Locais com características geotécnicas relativamente estáveis; praias de areia natural, locais ocupados por habitats de reduzido valor ecológico; caminhos locais ou valas de drenagem.	1
Reduzidas	Locais com solos de características geotécnicas fracas ou possuindo alguma vegetação do tipo arbustivo ou outro que lhe confira alguma estabilidade; áreas ocupadas por habitats em condições fitossanitárias débeis.	2
Sérias	Locais com infra-estruturas de protecção costeira; locais com estruturas para actividades económicas relevantes; locais com características geotécnicas muito fracas, pouco estáveis e de reduzida resistência à desagregação; áreas ocupadas por habitats com algum interesse ecológico.	5
Muito Sérias	Locais com ocupação humana permanente (zonas urbanas planeadas); locais com características geotécnicas muitíssimo fracas, muito instáveis e de muito reduzida resistência á desagregação, sem vegetação estabilizadora; locais com elementos naturais de grande valor cuja perda seria difícil de compensar.	10
Catastróficas	Locais com ocupação humana permanente; locais absolutamente únicos e de enorme valor e cuja perda seria irreparável; sistema praia-duna.	25

4.4. Risco

Risco é o produto da probabilidade de ocorrência de um evento adverso pelo valor atribuído às suas consequências. Assim, no âmbito da metodologia aqui apresentada, faz-se apenas uma avaliação qualitativa do risco de inundação, resultando o grau de Risco do produto dos graus atribuídos à Probabilidade de Ocorrência de inundação (Tabela 2) e às Consequências dessa inundação (Tabela 3). A matriz de cruzamento destes dois graus encontra-se apresentada na Tabela 4 enquanto na Tabela 5 se descreve a avaliação da aceitabilidade do grau de Risco obtido.

Tabela 4 – Grau de Risco: matriz de cruzamento do grau atribuído à Probabilidade de Ocorrência de inundação e do grau atribuído às Consequências dessa inundação.

GRAU DE RISCO		Consequências				
		1	2	5	10	25
Probabilidade de Ocorrência	1	1	2	5	10	25
	2	2	4	10	20	50
	3	3	6	15	30	75
	4	4	8	20	40	100
	5	5	10	25	50	125

Tabela 5 – Avaliação da aceitabilidade do grau de Risco obtido.

Grau	Descrição	Controlo do Risco (Guia de Orientação)
1 – 3	Insignificante	Risco desprezável; não é preciso levar a cabo medidas de controlo de risco.
4 – 10	Reduzido	Risco que pode ser considerado aceitável/tolerável case se seleccione um conjunto de medidas para o seu controlo, possíveis danos materiais de pequena dimensão.
15 – 30	Indesejável	Risco que deve ser evitado se for razoável em termos práticos; requer uma investigação detalhada e análise de custo-benefício; é essencial a monitorização.
40 – 125	Inaceitável	Risco intolerável; tem que se proceder ao controlo do risco (e.g. eliminar a origem dos riscos, alterar a probabilidade de ocorrência e/ou as consequências, transferir o risco, etc.).

4.5. Aplicação em SIG

Após a avaliação do risco de ocorrência de cotas de inundação que excedem limiares pré-estabelecidos, a utilização do SIG e respectiva Base de Dados Georreferenciada permite proceder de forma célere, precisa e eficiente à criação de mapas de inundação e correspondentes mapas de risco. Para cada limiar pré-estabelecido, os primeiros identificam as áreas que se localizam abaixo desse limiar, enquanto que os segundos mostram o risco associado a cada sub-área da zona de estudo.

Neste trabalho e a título ilustrativo apenas, foram considerados dois cenários:

- Cenário 1 – Ocorrência de cotas de inundação que excedem o limiar de +3 m (ZH);
- Cenário 2 – Ocorrência de cotas de inundação que excedem o limiar de +6.5 m (ZH).

Na Figura 7 apresenta-se o mapa de ocupação do solo para a zona em estudo na praia de Vale do Lobo. Nas Figuras 8 a 11 apresentam-se os mapas de inundação e de risco para os dois cenários considerados. Como se pode ver, nas extremidades da zona de estudo, protegidas essencialmente por dunas, o mar vai avançando à medida que o limiar de cota de inundação aumenta, sendo estas as zonas que apresentam maior risco de inundação. No entanto, na parte central da praia, protegida por arribas cuja cota da crista atinge em alguns locais +20 m (ZH) o aumento do nível de água para os cenários considerados não tem grande repercussão, sendo nesta zona menor o risco de inundação.

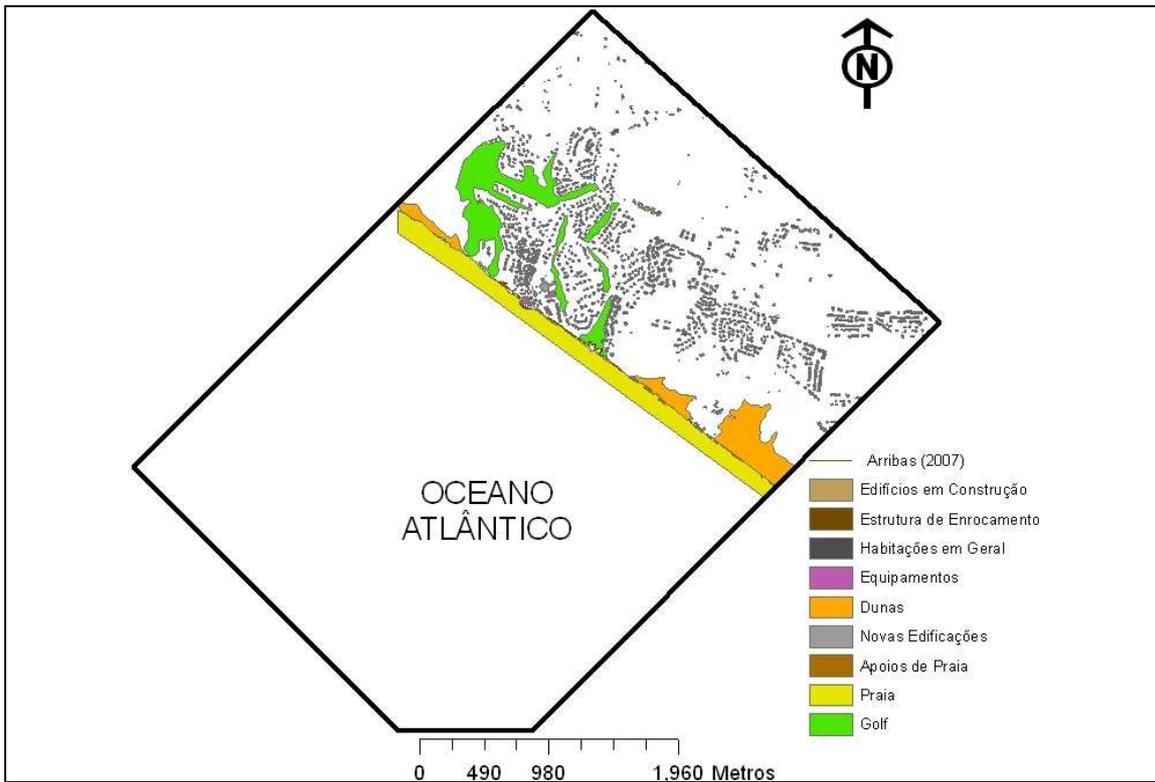


Figura 7 – Mapa de ocupação do solo na zona da Praia de Vale do Lobo.

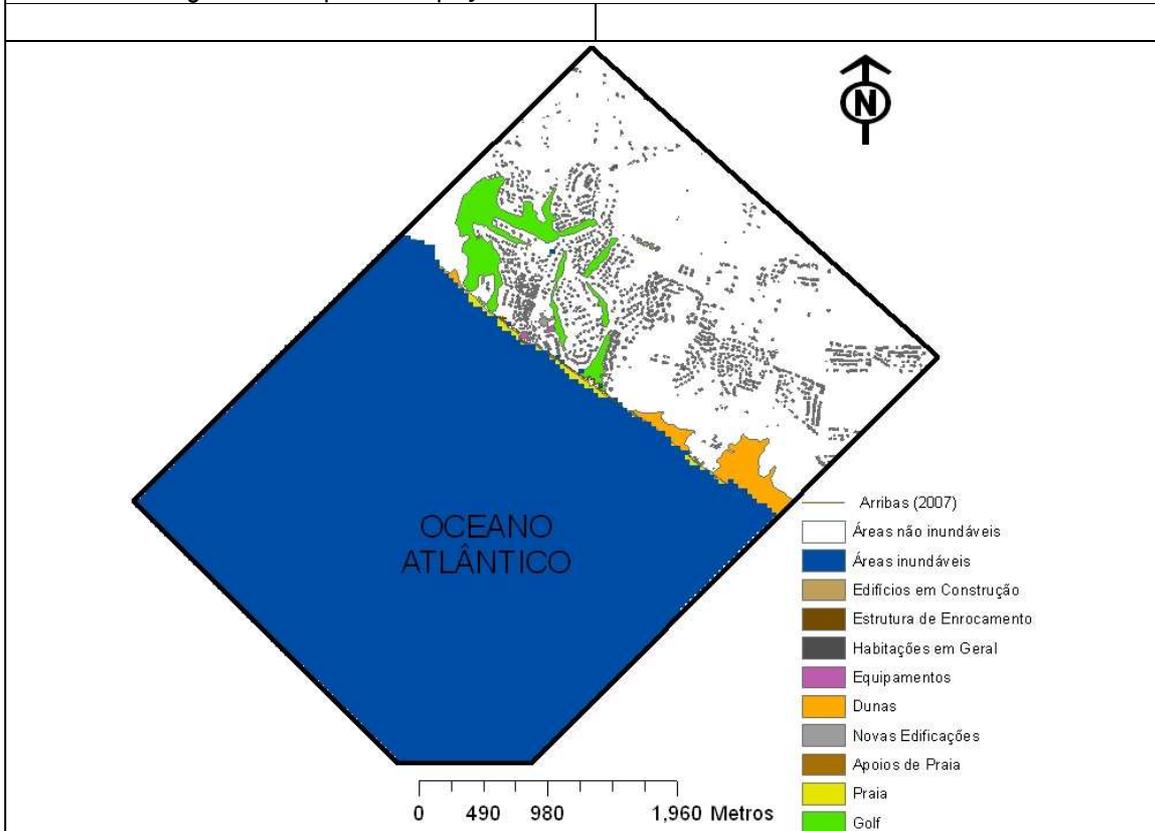


Figura 8 – Mapa de Inundação: Cenário 1.

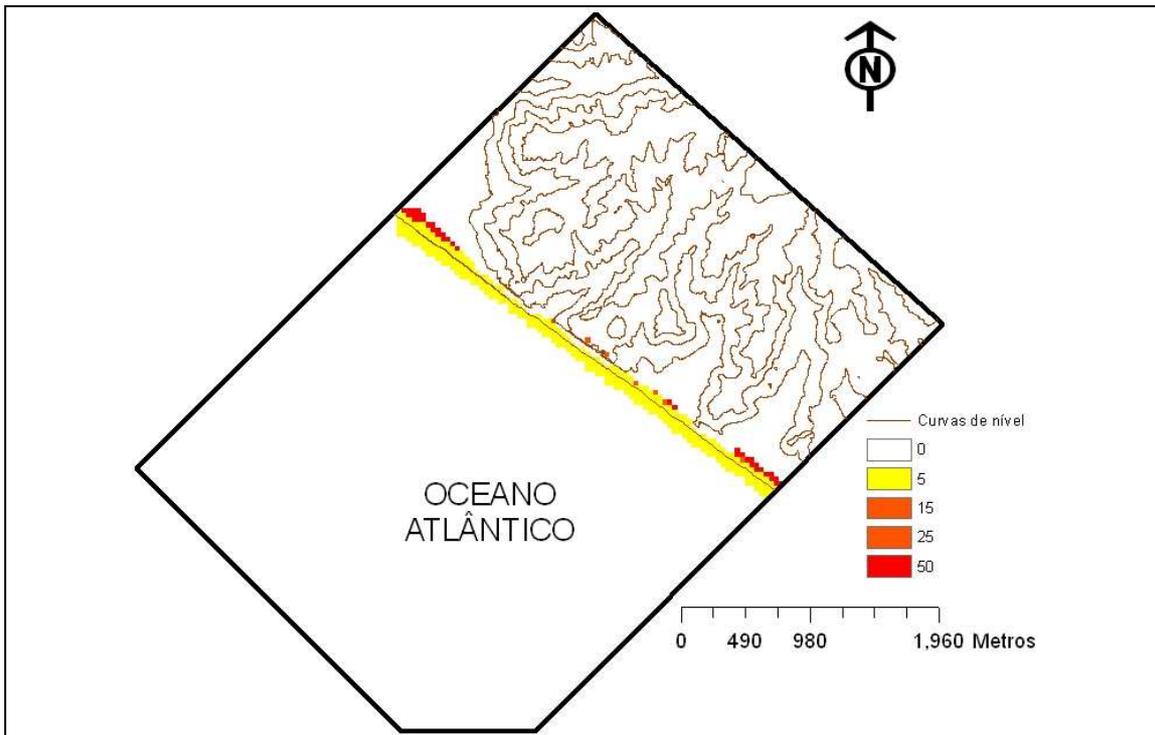


Figura 9 – Mapa de Risco: Cenário 1.

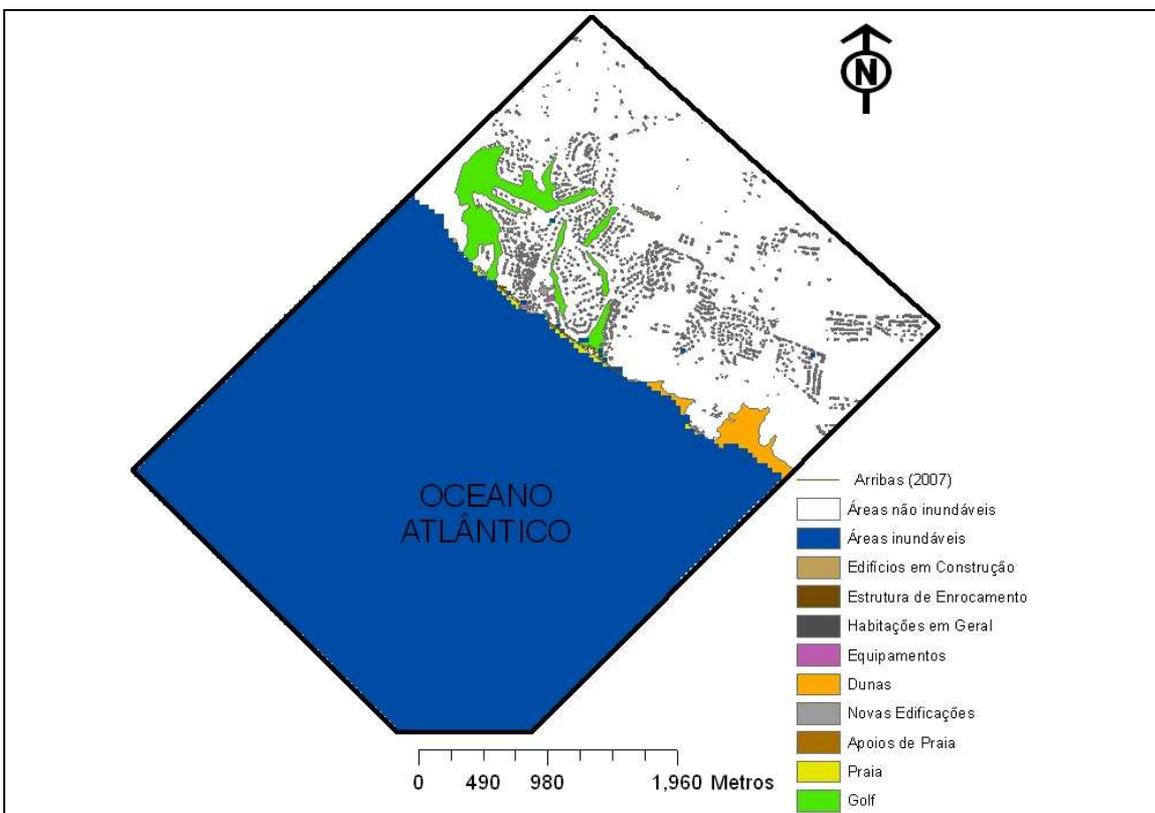


Figura 10 – Mapa de Inundação: Cenário 2.

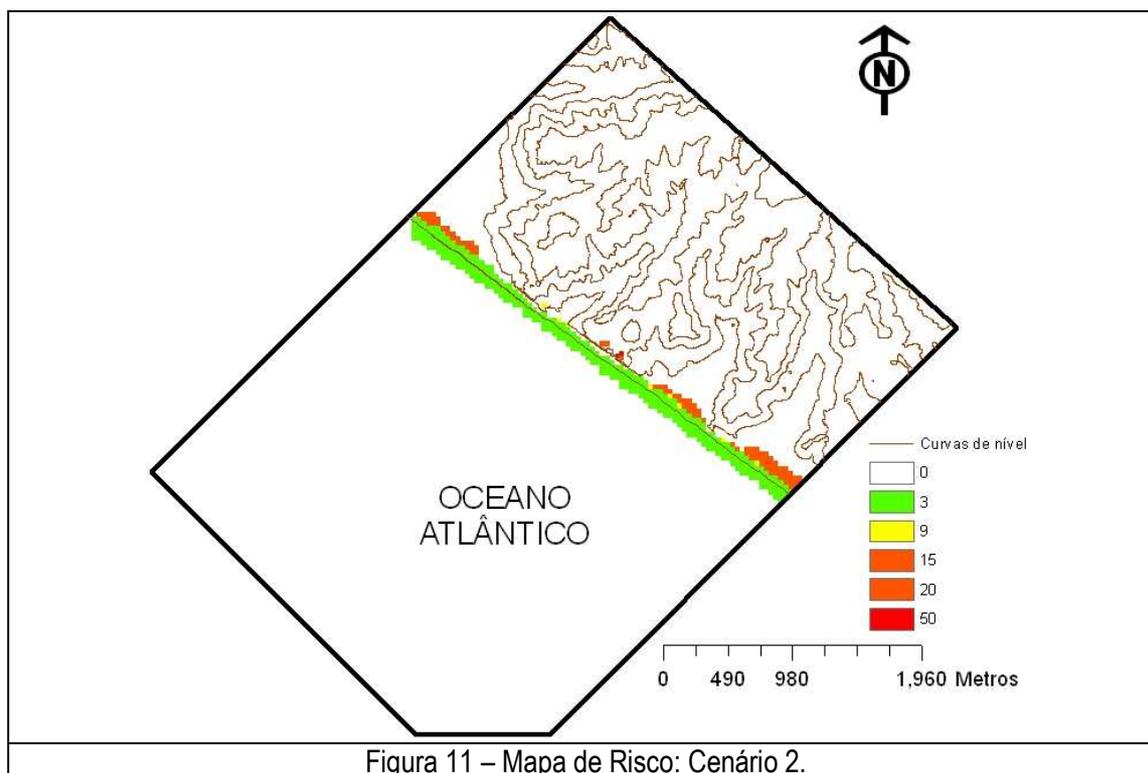


Figura 11 – Mapa de Risco: Cenário 2.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO TRABALHO E FUTUROS DESENVOLVIMENTOS

Uma gestão costeira eficaz, baseada na avaliação de áreas vulneráveis e de risco, evita a degradação e perda irreversíveis dos seus recursos. Esta comunicação apresenta os últimos resultados do desenvolvimento de uma metodologia para a avaliação do risco de inundação e sua aplicação à Praia de Vale do Lobo, Concelho de Loulé.

Para aplicação da metodologia a uma dada zona em estudo, as principais etapas são: a) divisão da área em estudo em sub-áreas com características semelhantes em termos de defesa costeira; b) determinação da probabilidade de ocorrência de cotas de inundação que excedem limiares pré-estabelecidos para cada área de estudo; c) estabelecimento de factores qualitativos associados às consequências da ocorrência de cotas de inundação que excedem esses limiares; d) combinação dos passos acima para avaliação dos riscos de inundação.

Com os resultados obtidos na modelação da agitação marítima, identificaram-se para o período entre 1986 e 1995, as cotas máximas de inundação no local segundo vários autores. Efectuando a avaliação de risco para cada cenário escolhido, foi possível com recurso a SIG identificar as áreas de inundação e mostrar o risco associado a cada sub-área da zona de estudo.

A aplicação desta metodologia à praia de Vale do Lobo mostrou que ela é rápida e eficiente e que pode ser estendida facilmente para outros locais. O SIG constitui uma ferramenta essencial na análise da ocupação do solo e na criação de mapas de inundação e correspondentes mapas de risco.

No entanto, é muito importante continuar o trabalho de desenvolvimento do conteúdo das tabelas que descrevem a probabilidade de ocorrência de inundação e as suas consequências. O conteúdo destas tabelas é fundamental para a obtenção de resultados realistas e fiáveis. É importante também que

a ocorrência de inundações se baseie não só no cálculo do espraiamento, mas também dos galgamentos oceânicos correspondentes.

Encontra-se em curso o trabalho relacionado com a incorporação desta metodologia, assim como do software desenvolvido, no sistema GUIOMAR, de modo a torná-lo uma ferramenta efectiva de apoio ao ordenamento e gestão sustentável da zona costeira. O desenvolvimento de um sistema de previsão e alerta de inundações para zonas costeiras e portuárias é um dos passos futuros no desenvolvimento e aplicação desta metodologia.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) o financiamento concedido através do projecto PTDC/AMB/67450/2006.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOUIJ, N.; RIS, R.C.; HOLTHUIJSEN, L.H. - A Third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation. *J. Geoph. Res.*, 104, C4, 1999, 7649-7666.

FERREIRA, J.C. – *Vulnerabilidade e Risco Biofísico em Áreas Costeiras. O Arco Litoral Caparica – Espichel*. Dissertação de Mestrado em Geografia Física e Ambiente apresentada à Universidade de Lisboa, 1999.

FERREIRA, J.C. - Coastal Zone Vulnerability and Risk Evaluation. A Tool For Decision-Making (an Example In The Caparica Littoral - Portugal). *J. Coastal Res*, SI 39, 2004.

FORTES, C.J.E.M.; REIS, M.T.; RAPOSEIRO, P.D. - *Programas de Espraiamento*. Relatório GUIOMAR 01/2009. LNEC, 2009.

FORTES, C.J.E.M.; REIS, M.T.; RAPOSEIRO, P.D. - *Programas em FORTRAN para Cálculo do Espraiamento*. Relatório GUIOMAR 01/2010. LNEC, 2010.

MASE, H. - Random wave runup height on gentle slope. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, **115**, 5, 1989, 649-661.

MASE, H.; HEDGES, T.S.; SHAREEF, M.; NAGAHASHI, S. - Wave overtopping formula for gentle slopes incorporating wave run-up. *Proc. Coastal Engineering*, **50**, 2003, 636-640.

MOURA, D.; BOSKI, E.T. - Unidades litostratigráficas do Pliocénico e Plistocénico no Algarve. *Comunicações do Instituto Geológico e Mineiro*, **86**, 1999, 85-106.

NEVES, D.R.C.B; ZÓZIMO, A.C.; PINHEIRO, L.V.; FORTES, C.J. - GUIOMAR: desenvolvimentos recentes e aplicação ao caso de Sines. *Proc. 6ªs Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária*, PIANC, Funchal, 7 e 8 de Outubro, 2009.

NIELSEN, P.; HANSLOW, D.J. - Wave run-up distributions on natural beaches. *J. Coastal Res.*, **7**, 4, 1991, 1139-1152.

PANIZZA, M. – *Geomorfologia applicata. Metodi di applicazione alla pianificazione territoriale e alla valutazione d'impatto ambientale*. La Nuova Italia Scientifica, Roma, 1990.

PINHEIRO, L.; FORTES, C.J.; SANTOS, J.A.; NEVES, M.G. - Caracterização de regimes de agitação marítima utilizando a ferramenta SOPRO. *Proc. 8º Congresso da Água*, APRH, Figueira da Foz, 13 a 17 de Março, 2006.

RAPOSEIRO, P.D.; FORTES, C.J.E.M.; REIS, M.T.; FERREIRA, J.C. - Methodology for the run-up and flooding estimation for the costal zone using the GUIOMAR system: application to the Vale do Lobo beach. *Proc. CoastGis2009*, Itajai - Brazil, 30 Sept-2 Oct, 2009a.

RAPOSEIRO, P.D.; FORTES, C.J.E.M.; REIS, M.T.; NEVES, D.; FERREIRA, J.C. - Metodologia de cálculo do espraçamento e inundação em zonas costeiras recorrendo ao sistema GUIOMAR: aplicação à praia de Vale do Lobo. *Proc. 6ªs Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária*, PIANC, Funchal, 7 e 8 de Outubro, 2009b.

RAPOSEIRO, P.D.; FORTES, C.J.E.M.; REIS, M.T. - Ferramenta de cálculo e análise do espraçamento em estruturas de enrocamento: caso de estudo Praia de Vale do Lobo. *Proc. 3º Encontro Nacional de Riscos, Segurança e Fiabilidade*, Lisboa, 3 a 5 de Novembro, 2009c.

RAPOSEIRO, P.; REIS, M.T.; FORTES, C.J.E.M.; FERREIRA, J.C. - Análise de cotas de inundação na praia de Vale do Lobo. *10º Congresso da Água*, APRH, Alvor, 22 a 24 de Março, 2010.

SANTOS, F.D.; FORBES, K.; MOITA, R. (Eds.) - *Climate Change in Portugal: Scenarios, Impacts and Adaption Measures – SIAM*. Gradiva, Lisboa, Portugal, 2002.

SIMM, J.; CRUICKSHANK, I. - *Construction Risk in Coastal Engineering*. Thomas Telford, London, 1998.

TEIXEIRA, S.B. - *Demarcação do leito e da margem das águas do mar no litoral sul do Algarve*. Administração da Região Hidrográfica do Algarve. Faro, 2009.

USACE - *Coastal Engineering Manual*. Coastal and Hydraulics Laboratory, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, Miss., 2003.

VARNES, D.J. - *Landslide hazard zonation: a review of principles and practice*. UNESCO, Paris, 1984.