

Mapas de Risco das Zonas Costeiras por Efeito da Ação Energética do Mar *

Coastal Risk Maps Due to Waves Action

Carla Pereira ^{@,1}, Carlos Coelho ¹

RESUMO

O 4º Relatório do *International Panel for Climate Changes* (IPCC, 2007) aponta para que, ao longo do século XXI, as alterações climáticas expectáveis se façam expressar não só sob a forma de uma aceleração da subida do nível médio da superfície da água do mar, mas também sob a forma de sobrelevação meteorológica e de uma maior frequência de fenómenos extremos, entre outras. Estes efeitos irão agravar os já graves problemas que resultam do generalizado défice sedimentar das zonas costeiras, essencialmente associado à redução de sedimentos provenientes dos rios. De acordo com a maior ou menor vulnerabilidade e o respetivo grau de exposição, as zonas costeiras sentem os efeitos das referidas instabilidades e alterações, pelo que se torna importante identificar as consequências que daí resultam, a fim de permitir avaliar o risco da zona costeira sujeita à ação energética do mar. O conhecimento do grau de risco de exposição das frentes urbanas, e mesmo dos territórios vizinhos, às ações energéticas do mar, bem como a respetiva representação na forma de mapas podem ser um instrumento fundamental nas tomadas de decisão, no que diz respeito à gestão e planeamento das zonas costeiras.

Este estudo procedeu a um levantamento de diferentes abordagens existentes de classificação de vulnerabilidades e riscos costeiros, tendo aplicado o método apresentado por Coelho (2005), revisto em Coelho *et al.* (2007a) e Coelho & Arede (2009), ao longo do trecho Espinho—Mira, numa faixa de 2km de largura. Obtiveram-se representações de mapas de classificação do grau de vulnerabilidade, do grau de exposição e do nível de risco ao longo desta área de estudo. Os resultados obtidos foram comparados e criticados à luz de anteriores estudos, feitos sobre a mesma área de análise, tendo-se observado que em geral a aplicação da classificação proposta conduz a uma avaliação metódica e objetiva que vai ao encontro do que anteriores ferramentas estabelecem para a região analisada.

A aplicação da metodologia de classificação de risco vem reforçar a conclusão de que todo o trecho costeiro do litoral da região de Aveiro merece elevada preocupação. Nos resultados obtidos, destacam-se com vulnerabilidade muito alta os trechos entre Esmoriz e a Torreira e entre a Costa Nova e Mira. Espinho, devido à forte ocupação urbana, sobressai por uma muito alta exposição à ação da agitação do mar. Por fim, quase toda a costa em estudo é de elevado ou muito elevado risco, com realce para os trechos entre Espinho e a Torreira e entre a Costa Nova e a Vagueira.

Palavras-Chave: vulnerabilidade e exposição, classificação de risco, mapas de risco, gestão e ordenamento, litoral de Aveiro.

ABSTRACT

According to the 4th Report of the International Panel for Climate Changes (IPCC, 2007), during the twenty-first century, the expected climate change will be expressed in terms of an acceleration of sea level rise, but also in terms of a higher frequency of extreme storm events, among other phenomena. These effects will aggravate the serious problems already observed, which result from the generalized deficit of coastal sediments, mainly associated with the reduction of rivers sediments supply. According to the higher or lower vulnerability, and to its level of exposure, coastal areas are suffering the effects of coastal instabilities and changes. Thus, it becomes important to know the consequences that will result from them,

@ - Corresponding author: Carla Pereira <alexandrapereira@ua.pt>

1 - Universidade de Aveiro, Departamento de Engenharia Civil, 3810-193 Aveiro, Portugal

so that an evaluation can be made of the risk of coastal areas being overtopped, flooded or damaged by the sea wave energy. The knowledge of the exposure risk level of urban waterfronts, and of their inland neighbourhood, along with the respective risk mapping, can be a key tool in the decision-making process, namely on the management and planning of the coastal areas.

The present study carried out a survey of different existing approaches for the classification of coastal vulnerability, exposure and risk, and then it applied the method presented by Coelho (2005), reviewed by Coelho, et al. (2007a) and Coelho and Arede (2009), along the Espinho—Mira coastal stretch, with a width of 2km. Representative maps classifying the coastal vulnerability, the exposure degree and the coastal risk to wave action, were obtained along this study area, having been observed that in general, the application of the proposed classification results in a methodical and objective assessment, which leads to results similar to the ones established by previous tools for the analysed region.

The results highlight as very highly vulnerable the stretches between Esmoriz and Torreira and between Costa Nova and Mira. Due to strong urban occupation, Espinho shows a very high exposure to the wave action. Finally, the mapping results were analysed and compared with the previous studies performed to the same study area. This study reinforces the conclusion that the entire coastal stretch of the Aveiro coastal region is classified in a high risk class, highlighting the Espinho—Torreira and Costa Nova—Vagueira situation.

Keywords: vulnerability and exposure, risk classification, planning and management, Aveiro littoral.

1. INTRODUÇÃO

Estima-se que cerca de 75% da população portuguesa viva atualmente na zona costeira e que este número tenha tendência a aumentar significativamente nos próximos anos (MAOTDR / INAG, 2006). Considerando a zona costeira, tal como referido no documento *Bases para a Estratégia de Gestão Integrada da Zona Costeira Nacional* (MAOTDR, 2007), como sendo uma porção de território que, em termos biofísicos, é influenciada direta ou indiretamente pelo mar (ondas, marés, ventos, biota ou salinidade), é conveniente conhecer a vulnerabilidade e o risco imposto pela ação do mar à população, bens e serviços que existem na zona costeira. Apesar de não ser alvo de análise neste estudo, deve ainda considerar-se os riscos associados a desabamentos e deslizamentos de terra nas arribas, fenómeno particularmente crítico em grandes extensões das costas insulares portuguesas (Gomes, 2007).

A vulnerabilidade das zonas costeiras às ações energéticas do mar pode ser entendida como a sensibilidade desses sistemas biofísicos, manifestada através de alterações hidromorfológicas (Gomes & Pinto, 1997). Estas alterações, de que podem resultar galgamentos, inundações e perdas irreversíveis de território, ocorrem durante a atuação das ondas, marés, ventos e correntes, e podem ser intensificadas pela ocorrência de acontecimentos extremos, pelo progressivo enfraquecimento de fontes aluvionares (aproveitamentos hidroelétricos, construção de quebramares, extração de areias, dragagens e canais de navegação), pela progressão da edificabilidade (construções nas zonas de interação fisiográfica, esporões e obras aderentes, aterros sobre praias, destruição de dunas), pela subida generalizada do nível médio das águas do mar, pelos movimentos de neotectónica e por eventuais alterações meteorológicas (Coelho, 2005).

A transformação do potencial de vulnerabilidade para uma situação de risco depende da presença de pessoas e de bens. De forma concreta, o risco pode ser definido como sendo o produto da probabilidade de ocorrência de um acontecimento potencial indesejado (temporal, erosão) pela consequência associada a esse acontecimento (mortes, ferimentos, perda de território, inundações, destruição do edificado, perda de atividades económicas, danos sobre um

ecossistema). Em sentido mais lato, o risco traduz a relação entre a vulnerabilidade de um local e a respetiva exposição a determinada ação. As frentes urbanas e as infraestruturas localizadas em zonas costeiras muito vulneráveis às ações energéticas do mar ficam sujeitas a situações de risco que dependem da existência ou não de intervenção de defesa costeira (Coelho, 2005).

Importa definir estratégias de planeamento que reduzam ao mínimo a contribuição de cada um dos fatores intervenientes na classificação de risco, seja pelo conhecimento e compreensão das vulnerabilidades, seja pela minimização do grau de exposição de pessoas e bens à ação energética das ondas. É essencial que, numa perspetiva de gestão integrada das zonas costeiras, se equacione a compatibilização de fatores e interesses adversos, para que o modelo de desenvolvimento destas áreas não ponha em causa a utilização dos recursos pelas gerações futuras. Coelho (2005) considera que as metodologias que permitem classificar a zona costeira na forma de zonamento constituem um importante instrumento de apoio à tomada de decisão, permitindo proceder à avaliação criteriosa de vulnerabilidades e riscos.

Diversos relatórios técnicos e estudos científicos têm assumido ao longo do tempo o trecho Espinho—Mira como um dos mais preocupantes em termos de erosão costeira (Dias et al., 1994; CEHIDRO/INAG, 1998; HP, 1998; Coelho, 2005; Gomes et al., 2006; Barbosa et al., 2006; Coelho et al., 2007b). O presente estudo avalia a vulnerabilidade, a exposição e o risco numa faixa do litoral de 2km de largura ao longo deste trecho costeiro, que se desenvolve paralelamente à Ria de Aveiro. Foi aplicada a metodologia de classificação proposta por Coelho (2005) e os respetivos resultados foram comparados com diversas ferramentas já existentes de apoio à gestão costeira.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A escolha da localização da área de estudo, entre Espinho e Mira, deve-se fundamentalmente à conjugação de dois fatores, relacionados com a forte pressão urbana sobre esta zona costeira, onde já existe um importante e generalizado défice sedimentar, e com as frequentes manifestações da ação

energética do mar sobre esta zona litoral. Este trecho costeiro, marcado pela presença de um extenso e frágil cordão dunar, praias arenosas de cotas baixas e desenvolvimento paralelo à Laguna de Aveiro, é considerado um dos mais dinâmicos tipos de costa. O trecho costeiro em análise apresenta uma linha de costa com uma extensão linear de cerca de 70km e situa-se na região Centro de Portugal, compreendendo os municípios de Espinho, Ovar, Murtoza, Aveiro, Ílhavo, Vagos e Mira. A largura da área de estudo considerada para a análise do risco foi de cerca de 2km, contabilizada desde a linha de costa, para o interior terrestre. A localização da área de estudo, no território continental português, é apresentada na Figura 1, onde se identifica também a localização de estruturas de defesa costeira (esporões) e dos aglomerados populacionais costeiros presentes no trecho em estudo.

2.1. Déficit sedimentar

Este litoral apresenta um elevado déficit de fornecimento de sedimentos, pelo que a capacidade de transporte sedimentar,

que resulta da ação de ondas (essencialmente provenientes de noroeste), correntes e ventos, se alimenta das areias das praias, o que origina o acentuado recuo da posição da linha de costa. A erosão das praias faz com que a posição da linha de costa tenda para uma nova configuração de equilíbrio, que corresponde a um menor volume de sedimentos em transporte para sotamar, propagando sucessivamente os efeitos erosivos para sul (de acordo com o esquematizado na Figura 2). Se a quantidade de sedimentos disponíveis para a deriva litoral fosse igual à capacidade de transporte, a posição da linha de costa estaria em equilíbrio dinâmico e o transporte sedimentar ao longo deste trecho do litoral encaminharia os sedimentos para sul do cabo Mondego, até ao canhão submarino da Nazaré.

No passado, o rio Douro teria capacidade para, praticamente sozinho, fornecer a quantidade de sedimentos necessários ao equilíbrio (Coelho et al., 2009a). Vários autores são unânimes em afirmar que, no trecho em análise, o enfraquecimento das fontes sedimentares é a causa maior dos problemas erosivos (CEHIDRO, 2010). De acordo com

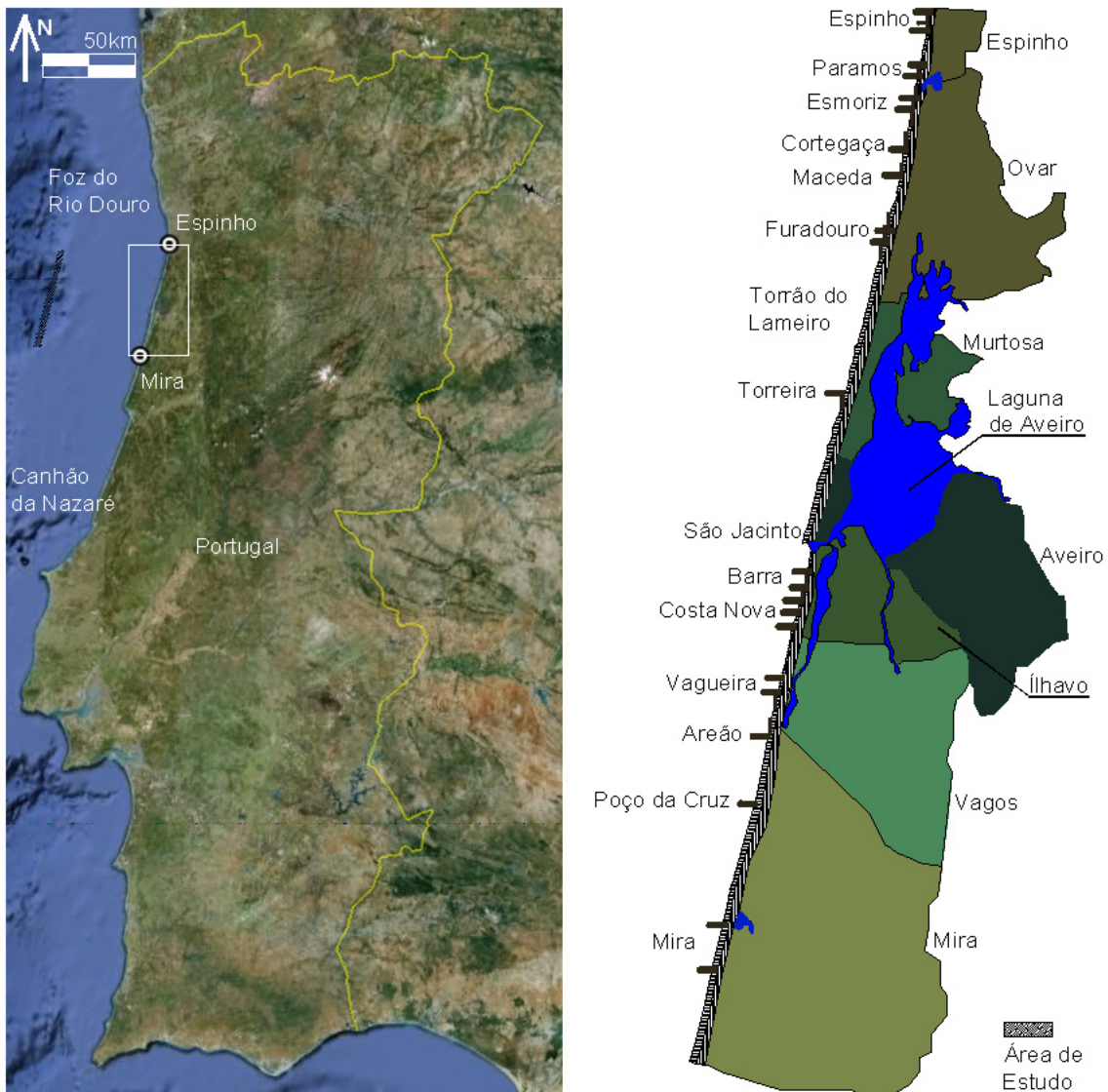


Figura 1. Localização da área de estudo.

Figure 1. Study area location.

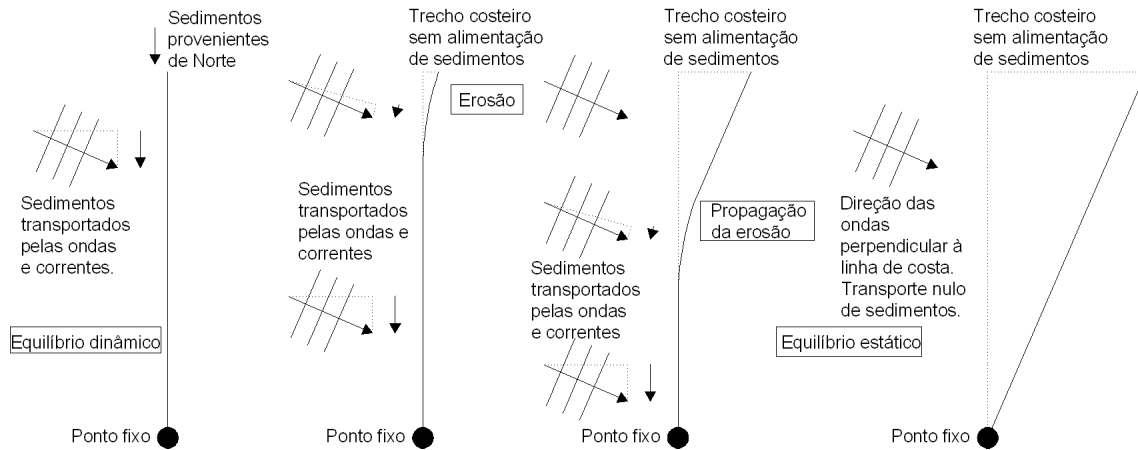


Figura 2. Caracterização genérica do efeito do déficit sedimentar na propagação da erosão e na evolução da linha de costa, desde uma situação de equilíbrio dinâmico, até uma situação de equilíbrio estático.

Figure 2. General characterization of the sediment deficit effects on erosion propagation and shoreline evolution, from a dynamic equilibrium to a static equilibrium situation.

Oliveira (1997), apenas a redução das fontes sedimentares pode explicar as taxas de erosão observadas, pois nenhum outro fator explicaria só por si a evolução registada nas últimas décadas e em especial nos últimos anos.

Na Tabela 1, expõem-se os valores de taxas de recuos médios registados ao longo de diversos períodos de tempo, no trecho Espinho—Mira, de acordo com a bibliografia existente. Os primeiros problemas de erosão costeira registados neste trecho reportam a meados do século XIX, em Espinho, com relatos de avanços do mar e recuos da posição da linha de costa (Oliveira et al., 1982; Pereira & Coelho, 2011). Com o decorrer do tempo, verificou-se que a erosão aumentou de intensidade e que se propagou para sul, afetando as praias do concelho de Ovar. Esta tendência é apenas interrompida pelo quebramar norte do Porto de Aveiro, que ao interromper a deriva litoral promove a barlar uma forte deposição de sedimentos. A mesma tendência de intensificação e propagação da erosão para sul é verificada também a sotamar do quebramar norte do porto de Aveiro, atualmente com efeitos já visíveis nas praias da Vagueira e Mira.

2.2. Eventos de risco

Através da recolha de relatos bibliográficos (comunicação social, documentos de entidades institucionais ou municipais e trabalhos científicos) de situações de erosão, galgamentos ou destruição na zona costeira na área de estudo, foi possível observar que a ocorrência de fenómenos de destruição e dano tem vindo a aumentar ao longo do tempo e que a maior incidência de eventos ocorre durante os invernos marítimos. A Figura 3 apresenta o número de ocorrências de risco relatadas, divididas em períodos de meio século, sendo visível que os 10 últimos anos já têm mais registos que qualquer anterior período de 50 anos. A evolução que se visualiza na Figura 3 deve ser encarada com cautela, já que reflete simultaneamente o agravamento dos problemas de erosão costeira (mais população junto às zonas costeiras

e a linha de costa já muito próximo de zonas construídas) e a facilidade e preocupação crescentes em relatar os acontecimentos erosivos que se vão sucedendo (as populações têm maior conhecimento do problema e portanto possuem uma maior perceção social do risco), mas não indica que as taxas de erosão estejam a aumentar ou que as condições de agitação tenham mudado no tempo.

De acordo com a Figura 4, a maioria das ocorrências relacionadas com o recuo da posição da linha de costa, galgamentos oceânicos, destruição dunar, danos em infraestruturas (vias marginais à praia, apoios de praia, mobiliário urbano, inundações de edifícios, etc.) e danos em obras de defesa costeira, identificadas desde 1850, foi observada nos trechos de Espinho—Furadouro (a norte da Barra) e Barra—Vagueira (a sul da Barra). O trecho Furadouro—São Jacinto apresenta um número reduzido de eventos, já que, conforme foi referido, é a zona que beneficia da acumulação de sedimentos a norte do quebramar do Porto de Aveiro. Uma análise mais extensa destes fenómenos pode ser consultada em Pereira & Coelho (2011), onde todos os eventos são enumerados e descritos.

2.3. Estruturas de defesa costeira

As intervenções de defesa costeira tentam condicionar a evolução da posição da linha de costa em determinado local, diminuindo a vulnerabilidade do mesmo, mas transferindo e propagando o déficit sedimentar para sotamar. Ao longo do litoral em análise, a erosão tem sido combatida com estruturas de proteção, que conduziram a uma importante artificialização desta zona costeira. Atualmente, no trecho compreendido entre Espinho e Mira estão implantados um total de 23 esporões e 13 obras longitudinais aderentes. A localização destas estruturas é coincidente com a localização mais frequente dos eventos erosivos referidos na secção 2.2. A data em que estas estruturas foram construídas e a frequência com que são realizadas intervenções de manutenção também reflete o agravamento do problema da erosão costeira e a sua propagação para sul (Pereira & Coelho, 2011).

Tabela 1. Taxas médias anuais de variação da posição da linha de costa (em metros/ano), entre Espinho e Mira (adaptado de Pereira & Coelho, 2011). Recuo assinalado com sinal negativo e acreção com sinal positivo.

Table 1. Average annual rates of the shoreline position variation (meters/year), between Espinho and Mira (adapted from Pereira and Coelho, 2011). Retreat corresponds to negative values, and accretion to positive values.

Praia	1870/1954	1954/80	1984/1990	1978/92	1996/01
Espinho	- 3,8	- 0,7	0,0	-	-
Paramos	- 3,3	- 6,0	0,0	- 5,6	-
Esmoriz	- 1,6	- 3,7	- 8,0	- 5,6	-
Cortegaça	- 0,9	- 3,6	+ 2,0	- 3,1	-
Maceda	-	-	- 3,0	- 4,6	-
Furadouro	-	- 2,8	- 8,0	-	-
Torreira	-	+ 0,7	- 4,0	-	-
S. Jacinto	-	+ 4,8	0,0	-	-
Barra	-16,0 (1947/54)	+ 0,7	-	-	- 3,3
Costa Nova	-15,0 (1947/54)	- 5,2	- 8,0	-	- 6,6
Vagueira	-	- 3,0	+ 12,0	-	- 7,1
Mira	-	+ 0,7	0,0	-	-

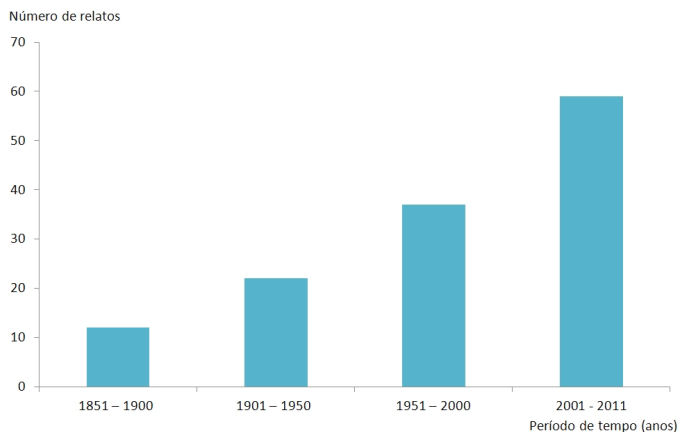


Figura 3. Distribuição temporal de relatos de risco costeiro, desde 1850 (Pereira & Coelho, 2011).

Figure 3. Temporal distribution of coastal risk reports, since 1850 (Pereira and Coelho, 2011).

3. CLASSIFICAÇÃO DE VULNERABILIDADE E RISCO COSTEIRO

Principalmente devido a preocupações com as consequências da subida generalizada do nível médio da água do mar têm vindo a desenvolver-se diversas ferramentas e metodologias que permitem classificar a vulnerabilidade dos territórios face às consequências provocadas por este efeito das alterações climáticas. Segundo Coelho (2005), estas metodologias, desde que com as necessárias adaptações e cuidados, poderão ser aplicadas, numa perspetiva mais geral, às ações energéticas do mar. Podem ainda ser referidas outras abordagens sem relação com a subida do nível

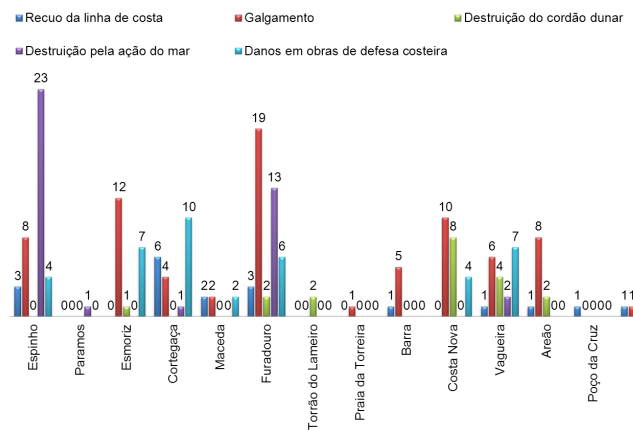


Figura 4. Ocorrências relacionadas com vulnerabilidade e risco, registadas desde 1850, nas praias do trecho costeiro Espinho-Mira.

Figure 4. Events related to vulnerability and risk, registered since 1850, on the Espinho-Mira coastal stretch.

médio da água do mar, nomeadamente relacionadas com a quantificação da vulnerabilidade dunar (William et al., 1993; Matias et al., 1998; Garcia-Mora et al., 2001; Freire et al., 2011). De seguida, apresentam-se algumas das metodologias de aplicação genérica existentes e descreve-se com mais algum detalhe a metodologia que foi aplicada neste trabalho.

3.1. Metodologias de análise e classificação

Um estudo de vulnerabilidades requer uma grande quantidade de informação e uma abordagem multidisciplinar, que deve abranger as áreas de engenharia e ambiente, a área

socioeconómica e a área política (Nicholls, 1998). Devido à complexidade na análise dos parâmetros de vulnerabilidade e risco, os métodos existentes e aceites baseiam-se essencialmente no conhecimento da área de estudo e das suas características físicas e atributos naturais, na análise de fatores sócios-económicos e ambientais, na evolução histórica da zona costeira, e na ocupação do solo, bem como na evolução dessa mesma ocupação.

Na Tabela 2 referem-se, de forma resumida, as principais características de alguns métodos e ferramentas, utilizados para a classificação de vulnerabilidade e risco costeiro.

Como se verifica, a generalidade dos métodos é posterior a 1995, revelando a atualidade da preocupação com o risco costeiro. Em termos de metodologia, os diversos métodos referidos na Tabela 2 recorrem sistematicamente à caracterização da área costeira, à análise de imagens aéreas do local e a informações relativas à evolução da linha de costa e da ocupação do solo. Os métodos projetam diversos tipos de resultados na tentativa de quantificar a vulnerabilidade e o risco através de índices, classes ou áreas, resultando frequentemente em representação de mapas de vulnerabilidade e/ou risco.

3.2. Metodologia aplicada

Como é referido na Tabela 2, o método proposto por Coelho (2005) avalia fatores relacionados com a vulnerabilidade e com o grau de exposição das zonas costeiras, conjugando ambos através de uma matriz, para obter uma classificação de risco. A metodologia não determina probabilidades, mas define critérios simples para uma avaliação qualitativa do risco. Esta metodologia foi aplicada à área de estudo, pelo que, de seguida, são expostos os princípios fundamentais à compreensão dos fatores envolvidos em todo o processo de classificação.

(a) Vulnerabilidade

A metodologia proposta por Coelho (2005) e revista em Coelho *et al.* (2006) define a vulnerabilidade da zona costeira às ações energéticas do mar como uma combinação da classificação de nove parâmetros de vulnerabilidade (Tabela 3). Estes parâmetros de vulnerabilidade incluem características naturais e antropogénicas da zona costeira, assim como registos sobre a sua dinâmica. Incluem, ainda, informações relativas à agitação marítima.

De acordo com as características de cada parâmetro, e segundo a escala da Tabela 3, é atribuída uma classificação objetiva de vulnerabilidade, que varia entre 1 (muito baixa) e 5 (muito alta). A classificação da vulnerabilidade global é feita através de uma média ponderada da classificação de vulnerabilidade de cada parâmetro, de acordo com os fatores de peso definidos na Tabela 4. A definição da importância de cada fator foi proposta por Coelho *et al.* (2007a), após o teste e discussão da melhor adequabilidade. Esta ponderação também foi testada por Coelho & Arede (2009) e por Coelho *et al.* (2009b).

(b) Exposição

O estudo realizado por Coelho (2005) considera como parâmetros de classificação da exposição às ações energéticas do mar a densidade populacional, a atividade económica,

o património histórico e a ecologia. De forma análoga à classificação dos parâmetros de vulnerabilidade, para a classificação da exposição associada a cada parâmetro, são definidas classes objetivas, com valores que variam de 1 (muito baixa) a 5 (muito alta), de acordo com os critérios apresentados na Tabela 5.

Tal como acontece com a classificação da vulnerabilidade, também os parâmetros de exposição têm importâncias distintas na classificação global de exposição. Segundo Coelho (2005) o valor de classificação da exposição global pode ser adotado como o valor médio dos parâmetros avaliados, com a salvaguarda que este valor médio nunca deve ser inferior ao valor atribuído ao parâmetro da densidade populacional.

(c) Risco

Para conjugar o grau de vulnerabilidade com o grau de exposição da zona costeira, obtendo a classificação de risco, o estudo de Coelho (2005) propõe a aplicação da matriz apresentada na Tabela 6.

De seguida, procede-se à aplicação da metodologia proposta por Coelho (2005) a uma área de estudo, correspondente ao litoral costeiro da região da Laguna de Aveiro.

4. CLASSIFICAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Procedeu-se à aplicação da classificação de vulnerabilidade, exposição e risco ao trecho costeiro entre Espinho e Mira. De seguida referem-se os elementos de base e as principais considerações necessárias à aplicação da metodologia, evidenciando-se os principais resultados e a respetiva comparação com outras ferramentas de planeamento costeiro existentes.

4.1. Elementos de base

Para a aplicação da metodologia de Coelho (2005), foi necessário reunir um conjunto diversificado de informação. Para a classificação dos parâmetros de vulnerabilidade relacionados com a distância à linha de costa (considerada como a linha topográfica à cota do nível médio das águas do mar) e topografia recorreu-se a cartas militares à escala 1:25000, do Instituto Geográfico do Exército (IGE), publicadas em 1998 (143, 153, 162-A, 163), 2001 (173, 184, 195, 206) e 2002 (174). Esta informação foi trabalhada em formato digital, permitindo o traçado de linhas divisórias das diferentes classes. As cartas militares à escala 1:25000 também foram utilizadas para classificar a geomorfologia, substituindo cartas geomorfológicas à escala 1:500000. O estudo da geologia baseou-se em cartas geológicas (1:50000). Para classificar o uso do solo recorreu-se às cartas de ocupação do solo do Instituto Geográfico Português (IGP), referida à informação de agosto de 1990. A classificação dos restantes parâmetros depende unicamente de avaliações junto à linha de costa. De acordo com Coelho *et al.* (2007a), o parâmetro relacionado com a altura de onda foi sempre classificado com vulnerabilidade máxima. A análise do parâmetro relativo a taxas de erosão e/ou acreção foi realizada com base em valores propostos por vários autores, conforme a Tabela 1, e apresentados em Pereira & Coelho (2011). A Figura 5 representa em forma de mapa, a classificação considerada após a análise individual de cada parâmetro.

Tabela 2. Metodologias de classificação de vulnerabilidade e risco.**Table 2.** Methodologies to classify coastal vulnerability and risk.

	Método	Processo	Resultado
Vulnerabilidade	Areal Videotape-Assisted Vulnerability Analysis (AVVA) (Leatherman <i>et al.</i> , 1995)	Observação aérea e classificação de atributos naturais e socioeconómicos.	Análise de vulnerabilidades.
	U.S. Country Studies Program (Leatherman e Yohe, 1996)	Análise AVVA, análise económica e análise de adaptação.	Estimativa de perda de território e avaliação de proteção (custo de proteção), retirada e incerteza.
	Cartas de Risco do Litoral (CRL, 1998)	Avaliação das características que definem a área de estudo.	Carta de vulnerabilidade costeira às ações do mar.
	IPCC Commom Methodology (Nicholls, 1998)	Avaliação das características que definem a área de estudo.	Estratégias de resposta e avaliação da vulnerabilidade e de necessidades.
	Método de Nicholl's (Andrade e Freitas, 2002)	Avaliação da geomorfologia costeira.	Mecanismo de perda de território.
	United States Geological Survey (USGS, 2004)	Avaliação de variáveis geológicas e de variáveis físicas.	Índices de vulnerabilidade.
	Simple Multi-Attribute Rating Technique (SMART) (Goodwin e Wright, 1991)	Avaliação de índice de classificação de vulnerabilidade e de ocupação do solo.	Índices de classificação de risco.
Vulnerabilidade e Risco	Classificação de vulnerabilidade e risco (Velo-Gomes e Taveira-Pinto, 1997)	Análise de vulnerabilidade (fatores ambientais e antrópicos) e de risco (características da ocupação urbana).	Cartas de risco.
	National Oceanic and Atmospheric Administration – Costal Services Center (NOAA CSC, 1999)	Identificação dos riscos, e análise socioeconómica e análise ambiental.	Identificação de riscos e oportunidades de desenvolvimento.
	Classificação de vulnerabilidade, exposição e risco (Coelho, 2005)	Avaliação de fatores de vulnerabilidade e de fatores de exposição, conjugados numa matriz de risco.	Classificação de risco.
	Special Interest Group on Coastal Issues (SIGCI, 2007)	Simulação de cenários de evolução da costa, com base em comportamentos passados.	Análise de risco
	Australian/New Zealand Standard (2004) e ISSO/DIS 31000 (2008)	Recolha, análise e avaliação de informação.	Zonamento de classes de risco.
	Classificação de risco (Pereira, 2010)	Simulação de cenários futuros de evolução da linha de costa.	Classificação de áreas de risco.
	Smartline approach (Sharples <i>et al.</i> , 2009), (Lins-de-Barros e Muehe, 2011)	Avaliação da geomorfologia, exposição e agitação na costa. Fatores socioeconómicos.	Mapas de classificação de vulnerabilidade e risco na forma de polígono de linha de costa.

	Método	Descrição
Vulnerabilidade	Areal Videotape-Assisted Vulnerability Analysis (AVVA) (Leatherman <i>et al.</i> , 1995)	Análise de vulnerabilidades, através da classificação por observação aérea dos atributos naturais e socioeconómicos.
	U.S. Country Studies Program (Leatherman e Yohe, 1996)	Estimativa de perda de território e avaliação de proteção futura (custo de proteção), retirada e incerteza. Método com recurso a Análise AVVA, análise económica e análise de adaptação.
	Cartas de Risco do Litoral (CRL, 1998)	Carta de vulnerabilidade costeira à perda de território e inundação devido às ações do mar, através da avaliação das características que definem a área de estudo.
	IPCC Commom Methodology (Nicholls, 1998)	Avaliação da vulnerabilidade e definição de estratégias de resposta e de necessidade, de acordo com a avaliação das características que definem a área de estudo.
	Método de Nicholl's (Andrade e Freitas, 2002)	Identificação de mecanismos de perda de território, de acordo com uma avaliação da geologia e geomorfologia costeira.
	United States Geological Survey (USGS, 2004)	Classificação por índices de vulnerabilidade, recorrendo à avaliação de variáveis geológicas e de variáveis físicas.
	Simple Multi-Attribute Rating Technique (SMART) (Goodwin e Wright, 1991)	Classificação por índices de risco, através da avaliação de índices de classificação de vulnerabilidade e de ocupação do solo.
Vulnerabilidade e Risco	Classificação de vulnerabilidade e risco (Velo-Gomes e Taveira-Pinto, 1997)	Mapeamento na forma de cartas de risco, como resultado da análise de vulnerabilidade (fatores ambientais e antrópicos) e de risco (características da ocupação urbana).
	National Oceanic and Atmospheric Administration – Costal Services Center (NOAA CSC, 1999)	Identificação de riscos e oportunidades de desenvolvimento, de acordo com análises socioeconómicas e análises ambientais.
	Classificação de vulnerabilidade, exposição e risco (Coelho, 2005)	Classificação de risco, na sequência da avaliação de fatores de vulnerabilidade e de fatores de exposição, conjugados numa matriz de risco.
	Special Interest Group on Coastal Issues (SIGCI, 2007)	Análise de risco através da simulação de cenários de evolução da costa, com base em comportamentos passados.
	Australian/New Zealand Standard (2004) e ISSO/DIS 31000 (2008)	Zonamento de classes de risco, com base em recolha, análise e avaliação de informação.
	Classificação de risco (Pereira, 2010)	Classificação de áreas de risco, recorrendo a simulações de cenários futuros de evolução da linha de costa.
	Smartline approach (Sharples <i>et al.</i> , 2009), (Lins-de-Barros e Muehe, 2011)	1. Mapeamento indicativo (geologia e geomorfologia); 2. Avaliação Regional (morfofodinâmica da praia, características do pós-praia, etc.); 3. Avaliação local (altura da duna, exposição à ação do mar, evolução da linha de costa, etc.); 4. Vulnerabilidade social e análise de risco.

Tabela 3. Parâmetros de vulnerabilidade (Coelho, 2005).**Table 3.** Parameters of vulnerability (Coelho, 2005).

Vulnerabilidade	Muito baixa (Classe 1)	Baixa (Classe 2)	Moderada (Classe 3)	Alta (Classe 4)	Muito alta (Classe 5)
Distância à linha de costa (m)	> 1000	> 200 ≤ 1000	> 50 ≤ 200	> 20 ≤ 50	≤ 20
Cota topográfica (m)	> 30	> 20 ≤ 30	> 10 ≤ 20	> 5 ≤ 10	≤ 5
Geologia	Rochas magmáticas	Rochas metamórficas	Rochas sedimentares	Sedimentos não consolidados de grandes dimensões	Sedimentos não consolidados de pequenas dimensões
Geomorfologia	Montanhas	Arribas rochosas	Arribas erodíveis, abrigadas, zonas interiores de relevo pouco acentuado	Praias expostas, planícies	Dunas, restingas, estuários, aluviões, lagunas
Revestimento do solo	Floresta	Vegetação rasteira, solo cultivado e jardins	Solo não revestido	Urbanizado rural	Urbanizado ou industrial
Ações antropogénicas	Intervenções com estruturas de manutenção da posição da linha de costa	Intervenções sem estruturas mas sem evidência de redução nas fontes sedimentares	Intervenções sem estruturas mas com evidência de redução nas fontes sedimentares	Sem intervenções e sem evidência de redução nas fontes sedimentares	Sem intervenções e com evidência de redução nas fontes sedimentares
Máxima altura de onda significativa (m)	<3.0	≥ 3.0 <5.0	≥ 5.0 <6.0	≥ 6.0 <6.9	≥ 6.9
Máxima amplitude de maré (m)	<1.0	≥ 1.0 <2.0	≥ 2.0 <4.0	≥ 4.0 <6.0	≥ 6.0
Taxas médias de erosão/acreção (m/ano)	> 0 Acreção	> -1 ≤ 0	> -3 ≤ -1	> -5 ≤ -3	≤ -5 Erosão

Tabela 4. Fatores de ponderação dos parâmetros de vulnerabilidade (Coelho *et al.*, 2007a; Coelho e Arede, 2009; Coelho *et al.*, 2009b).

Table 4. Weighting factors of vulnerability parameters (Coelho *et al.*, 2007a; Coelho and Arede, 2009; Coelho *et al.*, 2009b).

Parâmetros de vulnerabilidade	Distância à linha de costa (d)	
	<100m	> 100m
Distância à linha de costa (m)	6/28	$\frac{6}{28} + \frac{0.665(d-100)}{4900}$
Cota topográfica (m)	6/28	$\frac{6}{28} - \frac{0.665(d-100)}{4900} \frac{6}{22}$
Geologia	6/28	
Geomorfologia	2/28	$\frac{2}{28} - \frac{0.665(d-100)}{4900} \frac{2}{22}$
Revestimento do solo	2/28	
Máxima altura de onda significativa (m)	2/28	
Taxas médias de erosão/acreção (m/ano)	2/28	$\frac{1}{28} - \frac{0.665(d-100)}{4900} \frac{1}{22}$
Máxima amplitude de maré (m)	1/28	
Ações antropogénicas	1/28	

Tabela 5 – Parâmetros de exposição (Coelho, 2005).

Table 5 – Exposure parameters (Coelho, 2005).

Exposição	Muito baixa (Classe 1)	Baixa (Classe 2)	Moderada (Classe 3)	Alta (Classe 4)	Muito alta (Classe 5)
Densidade populacional (habitantes/km ²)	<100	100-200	200-350	350-500	>500
Atividades económicas (empresas por município)	<2000	2000-4000	4000-6000	6000-8000	>8000
Ecologia	Zonas sem relevância ecológica	Reserva Agrícola Nacional	Reserva Ecológica Nacional	Zonas de Proteção Ecológica	Reservas Naturais
Património histórico existente (número de elementos identificados por freguesia)	<5	5-15	15-25	25-35	>35

Tabela 6. Matriz de classificação de riscos (Coelho, 2005).
Table 6. Risk classification matrix (Coelho, 2005).

Matriz de risco		Grau de exposição				
		1	2	3	4	5
Vulnerabilidade Global	1	I	I	I	II	III
	2	I	I	II	III	IV
	3	I	II	III	IV	V
	4	II	III	IV	V	V
	5	III	IV	V	V	V

Legenda:

- I - Risco desprezável
- II – Risco baixo
- III - Risco médio
- IV – Risco elevado
- V – Risco muito elevado

No estudo do grau de exposição, a análise dos fatores foi realizada de acordo com Coelho & Arede (2009). Foi considerada a densidade populacional correspondente a cada freguesia da área de estudo, através de dados do Instituto Nacional de Estatística (INE), dos censos de 2011. Ainda recorrendo a dados do INE, classificou-se o parâmetro relativo às atividades económicas, à escala municipal. Para a avaliação do parâmetro de ecologia foram utilizados os mapas do Plano de Ordenamento da Orla Costeira (POOC), onde estão implantadas as zonas de Reserva Agrícola Nacional e as várias zonas da Reserva Ecológica Nacional, Zonas de Proteção Ecológica e Reservas Naturais (FBO, 1997; HP, 1998). Para a classificação do património histórico foi elaborada uma base de dados, à escala das freguesias, de todos os elementos existentes (edifícios, monumentos, locais de culto religioso, etc.) considerados de interesse histórico e cultural. Com base nas considerações anteriores, foram representados em mapa todos os parâmetros de exposição (Figura 6).

Depois de reunida toda a informação de base, foi criada uma grelha de pontos sobre a área de estudo e todos os parâmetros foram classificados de forma isolada, em cada ponto. Os pontos definidos distam entre si 200 metros na direção paralela à linha de costa e 1000 metros na direção norte-sul. Por se entender necessário maior refinamento dos resultados, consideraram-se ainda pontos a 25 e a 50 metros de distância da linha de costa, por ser a zona de maior variabilidade do grau de risco. Através da aplicação da ponderação apresentada na Tabela 4 e do critério relativo ao grau de exposição, foram obtidas, respetivamente, a classificação de vulnerabilidade global e a de exposição global, para cada ponto da grelha. A interpolação de valores entre os pontos da grelha permitiu identificar as curvas de igual classificação, para os valores de 1,5, 2,5, 3,5 e 4,5, correspondendo aos limites entre as diferentes classes de vulnerabilidade e de exposição, permitindo a representação dos mapas de vulnerabilidade global e exposição global. De acordo com a Tabela 6, para cada ponto da grelha, foi cruzado o valor da classificação de vulnerabilidade global e do grau de exposição global, para obter o valor do risco, permitindo a representação final do respetivo mapa.

4.2. Resultados

Na Figura 7 apresentam-se os resultados das classificações globais de vulnerabilidade, exposição e risco.

A faixa de 2km de largura não engloba nenhuma classificação na vulnerabilidade muito baixa, indicando desde logo alguma da fragilidade da região, de baixas cotas e depósitos sedimentares, numa frente costeira muito energética e com elevado défice sedimentar. A Barrinha de Esmoriz e a Laguna de Aveiro, retratadas simultaneamente nos parâmetros de geomorfologia e de topografia, conferem uma maior largura da faixa de território classificada com vulnerabilidade alta. Algumas zonas entre Esmoriz e a Torreira e entre a Costa Nova e Mira atingem mesmo vulnerabilidades muito altas, numa faixa estreita e próxima da linha de costa. O estudo considera todo o trecho como vulnerável, apresentando, no entanto, alguns trechos mais críticos do que outros. A caracterização de trechos com alta vulnerabilidade deve-se fundamentalmente, por um lado, ao forte processo erosivo nessas áreas, às perdas significativas de território ou alterações no ecossistemas, como acontece nos trechos Cortegaça—Furadouro e Vagueira—Mira, e, por outro lado, está relacionado com a presença de aglomerados urbanos próximos à linha de costa, como no caso dos trechos Esmoriz—Cortegaça e Costa Nova—Vagueira.

Na representação da exposição global, destaca-se a influência das fronteiras administrativas, ao nível das freguesias, na delimitação dos resultados das diferentes classes. O facto de 2 dos 4 parâmetros serem definidos através de características identificadas ao nível da freguesia (densidade populacional e património histórico existente) e das atividades económicas serem definidas ao nível do município, faz com que apenas a classificação da ecologia permita diferentes classificações de exposição global para pontos dentro dos limites administrativos da mesma freguesia. O parâmetro de densidade populacional, pela sua importância (valor mínimo a adotar, mesmo que seja maior que o resultado da média dos parâmetros de exposição), ganha destaque e por vezes é o parâmetro que condiciona a exposição global nas classes mais altas. Por esse motivo, a freguesia de Espinho é classificada com o grau de exposição muito alta.

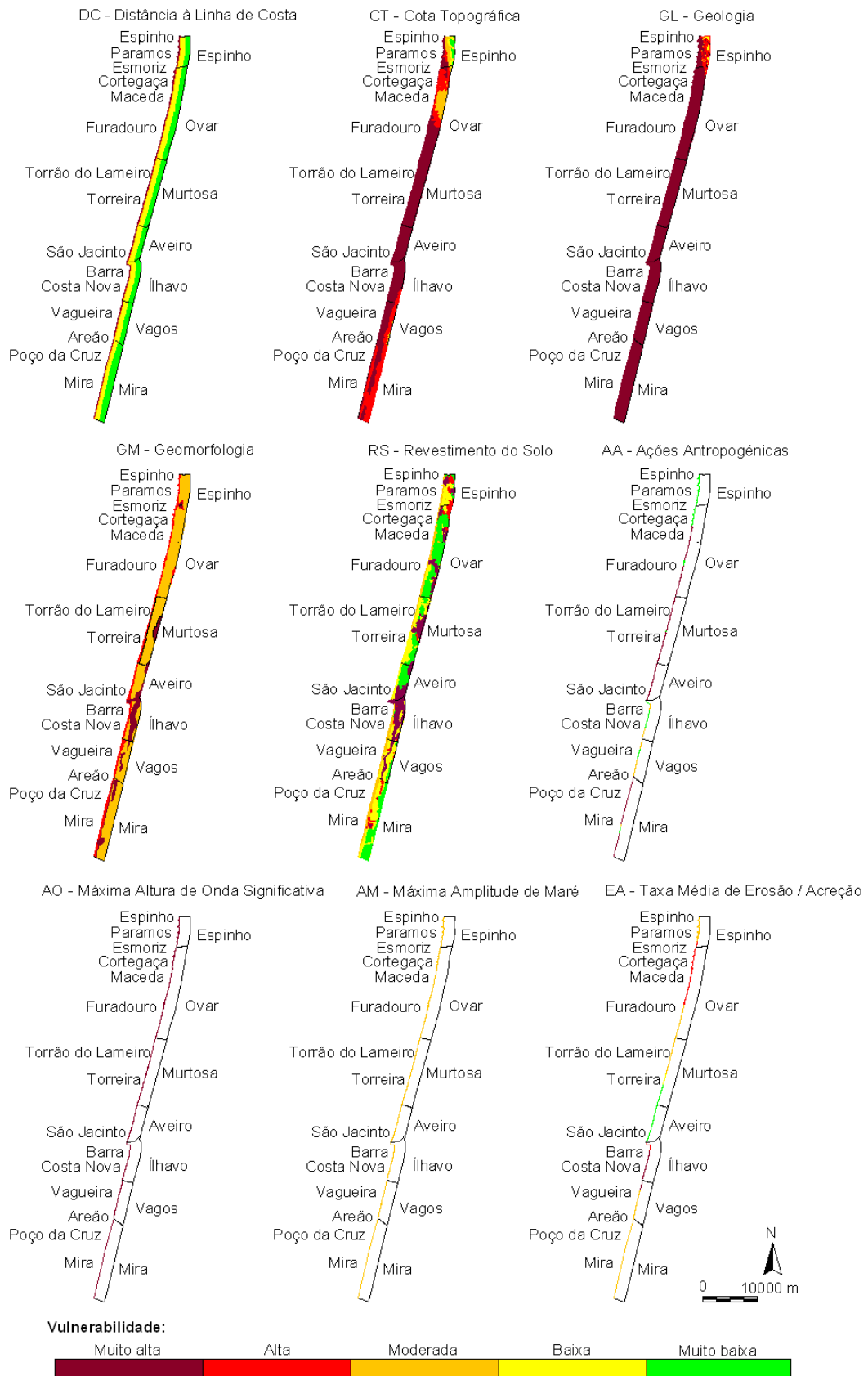


Figura 5. Classificação dos parâmetros de vulnerabilidade para a área de estudo.
Figure 5. Classification of the parameters of vulnerability, for the study area.



Figura 6. Classificação dos parâmetros de exposição para a área de estudo.

Figure 6. Classification of the parameters of exposure, for the study area.

Enquanto resultado da conjugação da vulnerabilidade e da exposição, o risco apresenta características das duas representações referidas anteriormente. As classes distribuem-se de forma uniforme, com o grau de risco a diminuir quando se avança para o interior. O risco máximo (muito elevado) só acontece nos concelhos de Espinho e Ovar mas ao longo de todo o litoral, na faixa mais próxima da linha de costa, vão-se identificando locais de risco elevado. Só a zona de linha de costa em Paramos (concelho de Espinho) e a sul da Torreira, no concelho da Murtoesa é que apresenta risco médio. Quando a distância à linha de costa já é superior a 1km, as classes de risco que passam a dominar são o risco baixo e negligenciável. A classificação da vulnerabilidade, exposição e risco, distribui-se ao longo das diferentes classes, de acordo com os resultados da Tabela 7, resumindo a situação de cada concelho.

O concelho de Espinho é o que apresenta uma maior percentagem (39%) de território classificado com baixa vulnerabilidade. Este fato deve-se essencialmente às cotas

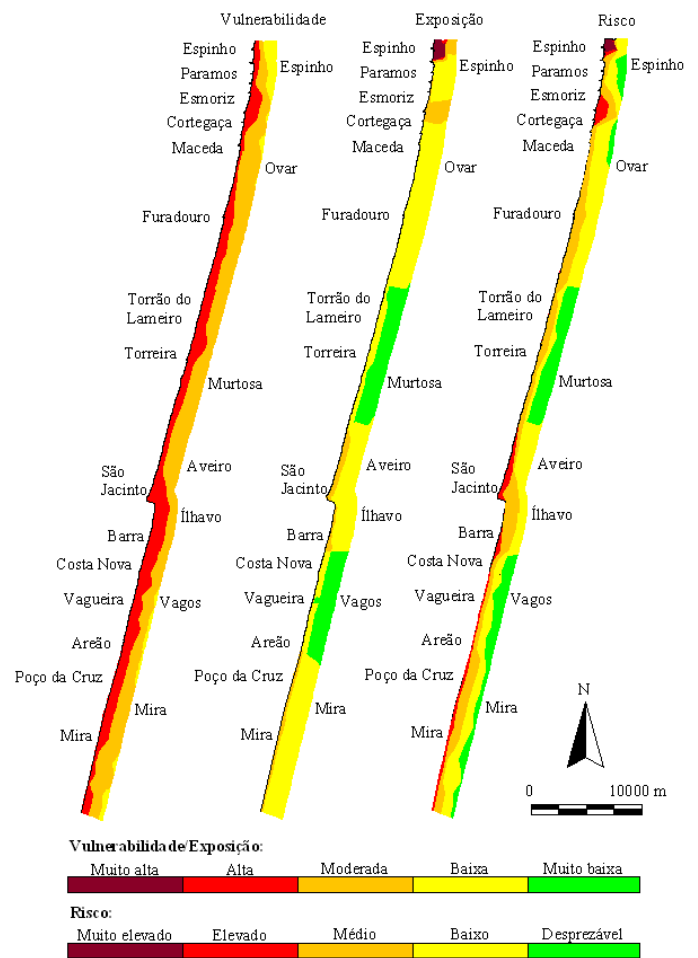


Figura 7. Classificação de vulnerabilidade, exposição e risco, na área de estudo.

Figure 7. Classification of vulnerability, exposure and risk, in the study area.

topográficas mais elevadas e às melhores características geológicas (rochas sedimentares). Por outro lado, Ílhavo é o concelho mais vulnerável, com quase 58% do seu território analisado a ser classificado nas classes de vulnerabilidade alta e muita alta.

A classe de exposição global com maior representatividade, cerca de 68% de toda a área analisada, é a classe de grau de exposição baixo, já que todas as restantes classes têm uma expressão pontual ao longo da área de estudo. O concelho de Espinho é o único com classe de exposição muito elevada e deve a sua classificação à densidade populacional da freguesia de Espinho, que se apresenta como a maior de toda a área de estudo. A exposição moderada resulta do parâmetro de ecologia, nas zonas de Reserva Ecológica Nacional, e do parâmetro da densidade populacional das freguesias de Anta e de Esmoriz. O grau de exposição muito baixo resulta da densidade populacional das freguesias da Murtoesa, da Gafanha do Carmo e da Gafanha da Boa Hora, onde também não se regista desenvolvimento de atividades económicas, nem existência de património histórico significativo.

Tabela 7. Área (km²) classificada em cada classe de vulnerabilidade, exposição e risco, distribuída pelos diferentes concelhos da área de estudo.
Table 7. Area (km²) classified in each class of vulnerability, exposure and risk, in the different municipalities of the study area.

Concelho	Área total	Vulnerabilidade					Exposição					Risco				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	I	II	III	IV	V
Espinho	11,3	0,0	4,4	3,8	3,1	0,0	0,0	7,6	1,6	0,2	1,8	2,4	4,8	2,4	0,6	1,1
Ovar	35,4	0,0	1,0	23,0	11,0	0,4	0,0	31,5	3,9	0,0	0,0	11,6	17,9	3,6	2,3	0,1
Murtosa	25,2	0,0	0,0	15,4	9,6	0,2	18,0	7,2	0,0	0,0	0,0	12,0	6,1	6,8	0,3	0,0
Aveiro	13,2	0,0	0,0	8,8	4,4	0,0	0,0	10,5	2,8	0,0	0,0	0,0	7,8	3,4	2,1	0,0
Ílhavo	15,9	0,0	0,0	6,7	9,0	0,2	3,8	11,1	1,1	0,0	0,0	5,8	7,7	2,2	0,4	0,0
Vagos	15,0	0,0	1,0	7,1	6,8	0,1	11,8	3,2	0,0	0,0	0,0	6,4	4,9	3,5	0,3	0,0
Mira	30,3	0,0	1,4	17,5	11,4	0,0	0,0	27,7	2,6	0,0	0,0	5,8	10,9	11,6	1,9	0,0
Total	146,4	0,0	7,8	84,4	55,3	0,9	33,5	98,9	12,0	0,2	1,8	44,0	60,0	33,4	7,8	1,2

O risco muito elevado, obtido numa zona extensa de Espinho e em Esmoriz, resulta essencialmente da respetiva densidade populacional, que representa, no concelho de Espinho, quase 10% do território analisado. A Barrinha de Esmoriz influencia a classificação da geomorfologia, o que, associado à considerável densidade populacional, confere à parte Norte do trecho Esmoriz—Furadouro a classificação de risco muito elevado. O trecho Furadouro—Torreira, apesar da sua fraca densidade populacional, caracteriza-se por uma forte tendência erosiva, possuindo características físicas e naturais que elevam a sua vulnerabilidade global, e lhe confere uma classificação de classe de risco elevado. São Jacinto, apesar de beneficiar da deposição de sedimentos a Norte dos quebramares do porto de Aveiro, deve a classificação de risco elevado à exposição que resulta da área classificada como Reserva Natural. A sul dos quebramares do Porto de Aveiro, a classificação de risco elevado prolonga-se ao longo de todo o litoral, destacando-se o trecho Costa Nova—Vagueira, que associado à grande vulnerabilidade apresenta áreas urbanas próximas ao litoral.

4.3. Comparação com outras ferramentas de planeamento

Procede-se de seguida a uma breve comparação dos resultados da classificação obtida com o que foi preconizado anteriormente por outras ferramentas ou estudos de planeamento.

(a) POOC Ovar—Marinha Grande (HP, 1998)

O Plano de Ordenamento da Orla Costeira Ovar—Marinha (HP, 1998) destaca 4 trechos críticos: Esmoriz—Cortegaça, Furadouro Sul, Costa Nova—Vagueira e Vagueira Sul. A Tabela 8 apresenta de forma resumida as observações relativas aos trechos com classificação crítica.

O resultado agora obtido vai ao encontro da classificação de risco destes trechos. No entanto, o HP (1998) remete para um nível inferior, o risco a sul de Cortegaça e em São Jacinto. No primeiro caso, a avaliação do HP (1998) deve-se à inexistência de ocupação humana. No entanto, a diminuição do grau de exposição é compensada por uma vulnerabilidade

Tabela 8. Trechos críticos do POOC Ovar-Marinha Grande (HP, 1998), identificados na área de estudo.
Table 8. Critical stretches on POOC Ovar-Marinha Grande (HP, 1998), identified in the study area.

Trecho	Estado	Observação
Esmoriz-Cortegaça	Muito crítico	Processo erosivo contínuo. Manutenção da frente litoral através de obras de defesa. Inviabilidade para utilização balnear.
Furadouro Sul	Moderadamente crítico	Tendência erosiva. Cordão dunar mais largo e com cotas mais elevadas conferem mais estabilidade a esta área.
Costa Nova-Vagueira	Crítico	Iminência de rutura do cordão dunar.
Vagueira Sul	Extremamente crítico	Na inexistência de intervenções de proteção o cordão dunar romperá facilmente.

alta, que conduz à classificação final deste trecho com grau de risco elevado. A presença do quebramar norte do Porto de Aveiro, que ao reter a barlar os sedimentos promove a estabilidade da praia de São Jacinto, é considerada pela HP (1998) um fator para baixar a classificação de risco que lhe está associada. A presente metodologia descreve São Jacinto como área de risco elevado fundamentalmente devido à vulnerabilidade da geomorfologia associada à presença da Laguna de Aveiro e ao grau de exposição elevado, pela presença da Reserva Natural de São Jacinto.

(b) Cartas de Risco do Litoral (CEHIDRO/INAG, 1998)

Nas *Cartas de Risco do Litoral* (CRL) (CEHIDRO/INAG, 1998), caracterizaram-se como zonas de risco os territórios costeiros que, tecnicamente, pudessem ser ameaçados pelo mar, conduzindo à perda irreversível de território, assim como as áreas de territórios suscetíveis à inundação, devido a fenómenos de agitação marítima. No entanto, as CRL deverão ser entendidas como cartas de vulnerabilidade da zona costeira às ações do mar, uma vez que o zonamento é realizado sem considerar o uso do território costeiro, nomeadamente a existência de edificado urbano. Apesar da representação da classificação em planta, a CRL não procede a qualquer diferenciação de classes para as zonas interiores do território, mantendo o mesmo valor que é atribuído na linha de costa. A CRL atribui risco elevado ao trecho Espinho—Torrão do Lameiro, justificado com a forte e histórica tendência erosiva, e atribui risco médio na Torreira, onde a posição da linha de costa tem sido quase inalterada. No presente estudo, entende-se que a vulnerabilidade junto à linha de costa se mantém na classe muito alta no trecho Esmoriz—Torreira, diminuído apenas para a classe de classificação elevada entre a Torreira e São Jacinto. A sotamar dos quebramares do Porto de Aveiro, no trecho Barra—Praia do Areão, a CRL classifica o risco de elevado, pela estreita restinga arenosa e de cotas baixas, que confere fragilidade ao sistema dunar, susceptível de sofrer galgamentos e inundações. O trecho compreendido entre a Praia do Areão e Mira é classificado de risco médio, já que apesar das características do trecho serem semelhantes ao que lhe antecede a barlar, o sistema dunar é mais robusto.

(c) Projeto EUrosion (Gomes *et al.*, 2006)

O projeto EUrosion apresenta dez zonas de estudo num trecho que se estende entre a Foz do Douro e o cabo Mondego, concluindo que as causas potenciadoras de erosão neste segmento são as atividades humanas e os aglomerados urbanos, as barragens e as obras portuárias. Esse trabalho identifica os trechos Espinho—Torreira e Costa Nova—Mira como locais em estado crítico em termos de risco. O trecho entre a Torreira e o quebramar norte do Porto de Aveiro é menos crítico, devido ao acumular de sedimentos retidos no quebramar. A classificação é similar à agora obtida e é fundamentada pelo forte processo erosivo e pela presença frequente de frentes urbanas, ainda que protegidas com obras de defesa costeira. O EUrosion (2006) destaca os trechos Esmoriz—Cortegaça e Vagueira—Mira, com classificação de muito críticos, ainda que por aspetos diversos. No caso de Esmoriz—Cortegaça, o risco advém do fato de que qualquer

perda de território corresponde a zona urbana, o que neste estudo se estendeu até à Torreira. No caso de Vagueira—Mira, a classificação de Gomes *et al.* (2006), deve-se ao facto de os recuos na posição da linha de costa poderem implicar ruturas na restinga de areia que separa a Laguna de Aveiro do mar. A presente metodologia admite que este critério também seja válido para o trecho Costa Nova—Vagueira, onde, associada à vulnerabilidade da restinga, se encontra a elevada exposição das frentes urbanas costeiras.

(d) Projeto SECUR—Ria (Coelho *et al.*, 2007b)

O projeto SeCUR—Ria considerou a metodologia de análise de vulnerabilidades apresentada por Coelho (2005), Coelho & Gomes (2005) e Coelho *et al.* (2006), que se baseia na definição de vulnerabilidade global de uma zona costeira como a combinação ponderada de vários parâmetros de vulnerabilidade associados às características (ambientais e antrópicas) de cada local. Este projeto apresentou resultados semelhantes aos obtidos para a análise de vulnerabilidade pelo presente estudo, pois ambos seguiram a mesma metodologia. No projeto SECUR—Ria, a extensão litoral analisada foi menor, não compreendendo o concelho de Espinho, mas incluindo uma faixa de largura bem superior a 2km. Nos resultados do projeto SECUR—Ria a vulnerabilidade diminui à medida que se avança para o interior do território, sendo muito baixa a partir dos 5000m de distância da linha de costa a vulnerabilidade.

5. DISCUSSÃO

O trecho costeiro compreendido entre Espinho e Mira encontra-se entre os trechos costeiros mais dinâmicos de Portugal, manifestando graves problemas de erosão costeira, recuo da posição linha da costa e episódios, cada vez mais recorrentes, de danos em infraestruturas costeiras, devidos à ação energética do mar. Por esse motivo, diversos estudos de dinâmica costeira têm vindo a ser elaborados, por forma a fornecer elementos condutores para a gestão e planeamento da zona costeira.

Ao longo do trecho Espinho—Mira, a distribuição das classes de vulnerabilidade global é relativamente uniforme. Estes resultados vão ao encontro dos resultados obtidos pelo estudo de Coelho *et al.* (2007a), onde se observa que a faixa de vulnerabilidade muito alta corresponde essencialmente a faixas estreitas nas zonas de praia. As faixas de grau de vulnerabilidade elevada são mais extensas, apresentando larguras entre 250m e 1800m. Conforme apresentado na Figura 7, as zonas mais expostas às ações do mar são as frentes costeiras urbanizadas. Este resultado está de acordo com o trabalho de Pereira & Coelho (2011), que refere que as ocorrências de dano e destruição nas zonas costeiras estão frequentemente associadas a locais urbanizados, como Espinho, o trecho Esmoriz—Furadouro, Costa Nova, Vagueira e Mira.

Apesar de se considerar genericamente apropriada, a metodologia apresenta algum carácter subjetivo que pode ser questionado. O valor ecológico atribuído no parâmetro de exposição pode estar sobreavaliado por esta metodologia, já que os resultados obtidos na Reserva Natural de São Jacinto são de risco elevado, apesar de corresponder a uma zona que

beneficia da acumulação de sedimentos no quebramar norte do Porto de Aveiro. No entanto, outros estudos e ferramentas conferem a este local uma classificação de baixo risco, não pesando da mesma forma o valor ecológico do local.

Refira-se, também, que o acesso a dados, por vezes só disponíveis à escala administrativa da freguesia ou do município, dificulta uma representação mais localizada, podendo condicionar a classificação de alguns locais. Assim, a distribuição das diferentes classes de risco pelo território representado em planta é uma mais-valia da metodologia, mas que deve ser encarada com algum cuidado, em função da forma como se acede à informação. A representação do risco segundo esta metodologia depende da escala de representação utilizada, considerando-se apropriada para a distinção entre classificações de zonas costeiras heterogêneas. Todo o trecho do litoral de Aveiro apresenta características bastante homogêneas, acabando por apresentar resultados muito próximos em toda a extensão.

6. CONCLUSÕES

O déficit de sedimentos que existe ao longo do litoral entre Espinho e Mira traduz-se em graves problemas de erosão costeira. Os casos mais graves correspondem a locais de intensa ocupação, em que a proteção das pessoas e bens se torna imprescindível, mas, devido à fragilidade da restinga de areia que separa o mar da Laguna de Aveiro, os aspetos ambientais desta zona costeira também devem ser considerados.

O déficit sedimentar, os eventos de risco, relacionados com o recuo da posição da linha de costa, galgamentos oceânicos, destruição dunar e danos em obras de defesa costeira, bem como o número de obras de defesa costeira existentes entre Espinho e Mira demonstram a vulnerabilidade e risco desta zona costeira. Assim, o presente estudo consistiu na aplicação de uma metodologia para compreender a vulnerabilidade, a exposição e o risco a que o trecho considerado está sujeito, devido à ação energética do mar. Conclui-se que todo o trecho é vulnerável e, por isso, sujeito a situações de risco elevado. Destacam-se em termos de vulnerabilidade alta os trechos Esmoriz—Torreira e Costa Nova—Mira.

A classificação dos parâmetros relativos ao grau de exposição, recorrendo a características definidas à escala da freguesia, faz com que os seus limites administrativos fiquem associados aos limites das classes de exposição global. Na área de estudo, o trecho com maior grau de exposição à ação do mar é o que se situa entre Espinho e Esmoriz, fundamentalmente devido à densidade populacional das freguesias envolvidas. De salientar que todas as frentes urbanas costeiras são consideradas com exposição alta e, por isso, agravam o grau de risco. As dunas de São Jacinto, devido à classificação de Reserva Natural, também se destacam como área de alta exposição.

Toda a frente costeira da área de estudo, junto à linha de costa, é considerada de risco elevado ou muito elevado. Devido à elevada exposição global, Espinho—Esmoriz destaca-se como trecho classificado com grau de risco muito elevado. A norte do quebramar do Porto de Aveiro, o trecho entre Esmoriz e a Torreira, classificado de risco elevado, pode ser dividido, de acordo com os parâmetros

indutores de risco. O trecho Esmoriz—Cortegaça deve a classificação à urbanização do litoral e correspondente grau de exposição, enquanto Cortegaça—Torreira deve a sua classificação à efetiva perda de território e correspondente grau de vulnerabilidade. A sul da barra de Aveiro, na região entre a Costa Nova e a Vagueira, a Laguna de Aveiro e a presença de aglomerados urbanos traduzem-se num trecho com risco elevado.

Os resultados da aplicação desta metodologia de classificação de vulnerabilidades e riscos costeiros foram confrontados com alguns trabalhos anteriores (HP, 1998, CEHIDRO/INAG, 1998, Gomes et al., 2006), permitindo verificar uma correspondência significativa de classificações e zonamentos. Assim, entende-se que a metodologia proposta, baseada em critérios bem definidos, pode ser uma forma objetiva de classificar o território costeiro em termos de vulnerabilidade e risco de exposição às ações energéticas do mar, auxiliando a tomada de decisão, na gestão e planeamento das zonas costeiras.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do projeto AdaptaRia – Modelação das Alterações Climáticas no Litoral da Ria de Aveiro – Estratégias de Cheias Costeiras e Fluviais PTDC/AAC-CLI/100953/2008) com o apoio financeiro da Fundação para a Ciência e a Tecnologia – FCT.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, C.; Freitas M.C. (2002) - Coastal Zones. In: F. D. Santos, K. Forbes & R. Moita (eds.), *Climate Change in Portugal: Scenarios, Impacts and Adaptation Measures, SIAM Project*, pp. 173-219, Gradiva, Lisboa, Portugal. ISBN: 9726628431.
- Ballinger, R.C.; Taussik, J.; Potts, J.S. (2003) – *Managing Coastal Risk: making the shared responsibility work. Coastal Planning and Shoreline Management: a Review of Legislation and Guidance*. Local Government Association's Special Interest Group on Coastal Issues, Report, 128p., London, UK. Não publicado.
- Barbosa, J.P.; Gomes, F.V.; Pinto, F.T. (2006) - Application of geographical information systems on portuguese coastal projects. *Journal of Coastal Research* (ISSN: 0749-0208), SI39:1494-1501. Itajaí, Santa Catarina, Brazil.
- Bush, D.M.; Neal, W.; Young, R; Pilkey, O. (1999) - Utilization of Geoindicators for Rapid Assessment of Coastal Hazard Risk and Mitigation. *Ocean and Coastal Management*, 42(8):647-670. DOI: 10.1016/S0964-5691(99)00027-7.
- CEHIDRO (2010) – *Exigência do Elemento Prévio nº1 do DIA do Projeto de Reconfiguração da Barra do Porto de Aveiro*. 38p., Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal. *Não publicado*.
- CEHIDRO / INAG (1998) - *Carta de Risco do Litoral-Trecho 2: Foz do Douro-Nazaré*. Notícia Explicativa, 37p., CEHIDRO e INAG, Lisboa, Portugal. *Não publicado*.
- Coelho, C. (2005) - *Riscos de Exposição de Frentes Urbanas para Diferentes Intervenções de Defesa Costeira*. 404p., Dissertação de Doutoramento, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal. *Não Publicado*. Disponível em <http://ria.ua.pt/bitstream/10773/2405/1/2005001720.pdf>

- Coelho, C.; Gomes, F.V. (2005) - Classificação de Vulnerabilidades e Riscos como Contributo no Planeamento das Zonas Costeiras. *III Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras de Países de Expressão Portuguesa*, Maputo, Moçambique [CD-ROM sem paginação].
- Coelho, C.; Silva, R.; Gomes, F.V.; Pinto, F.T (2006) - A Vulnerability Analysis Approach for the Portuguese West Coast. *Risk Analysis V: Simulation and Hazard Mitigation*, 91:251-262. DOI: 10.2495/RISK060241.
- Coelho, C.; Granjo, M.; Segurado-Silva, C. (2007a) - Vulnerabilidades do Distrito de Aveiro às Ações Energéticas do Mar. *Recursos Hídricos* (ISSN: 0870-1741), 28(3):45-53, Lisboa, Portugal.
- Coelho, C.; Alves, F.; Coelho, C.; Pinto, P. (2007b) - *Definição das Condições de Risco de Cheia, Incêndios Florestais, Erosão Costeira e Industriais na Área de Intervenção da AMRia*. 44p., UA -Universidade de Aveiro / AMRia – Associação dos Municípios da Ria, Relatório Final: Erosão Costeira, Aveiro, Portugal. Não publicado. Disponível em <http://www.regiaoaveiro.pt/website/RelatorioErosaoCosteira.pdf>
- Coelho, C.; Arede, C. (2009) - Methodology to Classify Exposure Risk to Wave Actions in the Northwest Coast of Portugal. In: E. Özhan (ed.), *Proceedings of 9th International Conference on the Mediterranean Coastal Environment*, pp.813-824, MEDCOAST, Middle East Technical University, Ankara, Turkey. ISBN: 978-605-88990-2-5.
- Coelho, C.; Conceição, T.; Ribeiro, B. (2009a) - Coastal Erosion Due to Anthropogenic Impacts on Sediment Transport in Douro River - Portugal. In: Masaru Mizuguchi & Shinji Sato (eds.), *Proceedings Of Coastal Dynamics 2009: Impacts of Human Activities on Dynamic Coastal Processes*, Paper 72, World Scientific Publishing Co Pte Ltd, Singapore. ISBN: 978-981-4282-46-8.
- Coelho, C.; Granjo, M.; Segurado-Silva, C. (2009b) - Map of Coastal Zone Vulnerabilities to Wave Actions - Application to Aveiro District (Portugal). In: E. Moksness, E. Dahl & J. Støttrup (eds.), *Integrated Coastal Zone Management*, pp.318-330, Wiley-Blackwell, Oxford, UK. ISBN: 978-1-4051-3950-2.
- Dias, J.A.; Ferreira, Ó.; Pereira, A.R. (1994) - *Estudo sintético de diagnóstico da geomorfologia e da dinâmica sedimentar dos troços costeiros entre Espinho e Nazaré*. ESAMIN (Estudos de Ambiente e Informática, Lda), Lisboa, Portugal. Disponível em http://w3.ualg.pt/~jdias/JAD/eb_EspinhoNazare.html.
- FBO (1997) - *Plano de Ordenamento da Orla Costeira de Caminha-Espinho*. FBO consultores / INAG – Instituto da Água, Estudo Prévio, Lisboa, Portugal. Não publicado.
- Freire, P.; Sancho, F.; Oliveira, F. (2011) - *Valorização Hidrodinâmica da Ria Formosa e Mitigação do Risco nas Ilhas Barreira. Relatório 1: Mitigação do Risco nas Ilhas Barreira. 1ª Fase - Identificação das Zonas de Risco*. LNEC, Rel. 40/2011 – NEC, 129p., Lisboa, Portugal. Não publicado.
- Garcia-Mora, M.R.; Gallego-Fernández, J.B.; Williams, A.T.; Garcia-Novo, F. (2001) - A coastal dune vulnerability classification. A case study of the SW Iberian Peninsula. *Journal of Coastal Research* (ISSN: 0749-0208), 17(4):802-811, Lawrence, U.S.A.
- Gomes, F.V. (2007) - A Gestão da Zona Costeira Portuguesa. *Revista de Gestão Costeira Integrada* (ISSN: 1646-8872), 7(2):83-95, Lisboa, Portugal.
- Gomes, F.V.; Pinto, F.T. (1997) - A Opção “Proteção” para a Costa Oeste Portuguesa. In: *Coletânea de Ideias Sobre a Zona Costeira de Portugal*, pp.163-190, Associação EUROCOAST-Portugal, Porto, Portugal.
- Gomes, F.V.; Pinto, F.T.; das Neves, L.; Barbosa, J.P (2006) - *A European Initiative for Sustainable Coastal Erosion. Pilot Site of River Douro - Cape Mondego and Case Studies of Estela, Aveiro, Caparica, Vale do Lobo and Azores*. 317p., Instituto de Hidráulica e Recursos Hídricos, Porto, Portugal. ISBN: 972-752-074-x.
- Goodwin, P.; Wright, G. (1991) - *Decisions Analysis for Management Judgement*. 308p., Chichester: John Wiley & Sons, Wiley, New York. ISBN: 0-471-92833-X.
- Government of South Australia (2010) - *Risk Management Guideline*. 8p., State Procurement Board, New Zealand, Australia. <http://www.spb.sa.gov.au/public/download.aspx?id=451&str=risk>
- HP (1998) - *Plano de Ordenamento da Orla Costeira: Ovar-Marinha Grande*. Estudo Prévio de Ordenamento. Vol.1 - Modelo de Ordenamento e Desenvolvimento. HP - Hidrotécnica Portuguesa / INAG – Instituto da Água, Lisboa, Portugal. Não publicado.
- IOS (2008) - *Draft international standard ISO/DIS 31000: Risk management-Principles and guidelines on implementation*. 18p., International Organization for Standardization, Geneva, Italy. http://ddata.over-blog.com/xxxxyy/0/32/13/25/Risques/ISO_DIS_31000_E-1-.pdf
- IPCC (2007) – Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change - Chapter 12. In: M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden & C.E. Hanson (eds.), *Climate Change 2007: impacts, adaptation and vulnerability*, pp.812-822, Cambridge University Press, Cambridge, U.K. / New York, NY, U.S.A. ISBN: 978-0-521-88010-7.
- Leatherman, S.P.; Nicholls, R.J.; Karen C.; Dennis, K.C. (1995) - Aerial Videotape-Assisted Vulnerability Analysis: A Cost-Effective Approach to Assess Sea-Level Rise Impacts. *Journal of Coastal Research* (ISSN:0749-0208), 14:15-25, Fort Lauderdale, Florida, USA.
- Leatherman, S.P.; Yohe, G.W. (1996) – Coastal Impact and Adaptation Assessment; Vulnerability and Adaptation Assessments. In: R. Benioff, S. Guill & J. Lee (eds.), *An International Handbook: Version 1.1*, pp.5.63-5.76, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands.
- Lins-de-Barros, F.; Muehe, D. (2011) - The smartline approach to coastal vulnerability and social risk assessment applied to a segment of the east coast of Rio de Janeiro State, Brazil. *Journal of Coastal Conservation*, 2011:1-13. DOI: 10.1007/s11852-011-0175-y
- MAOTDR (2007) - *Bases para a Estratégia de Gestão Integrada da Zona Costeira Nacional*. 62p., Ministérios do Ambiente, Ordenamento do Território e Desenvolvimento Regional, Projecto de Relatório do Grupo de Trabalho, Portugal. ISBN: 978-989-8097-06-4. Disponível em <http://www.maotdr.gov.pt/Admin/Files/Documents/GIZC.pdf>

- MAOTDR / INAG (2006) - *Execução da Recomendação sobre Gestão Integrada da Zona Costeira em Portugal - Relatório Preliminar*. 98p., Ministérios do Ambiente, Ordenamento do Território e Desenvolvimento Regional e Instituto da Água, Relatório Nacional Preliminar da Execução da Recomendação 2002/413/CE, Lisboa, Portugal. *Não Publicado*. Disponível em http://www.inag.pt/inag2004/port/divulga/a_tematicas/zonas_costeiras/pdf/Rel_Nacional_Final_INAG.pdf
- Matias, A.; Dias, J.A.; Ferreira, O.; Williams, A.T. (1998) - Aplicabilidade de uma lista de controlo de vulnerabilidade dunar Ria Formosa. In: *Seminário sobre as dunas da Zona Costeira de Portugal*, pp.213-224. Associação EUROCOAST-Portugal, Leiria, Portugal.
- Nicholls, R. (1998) - *Coastal Vulnerability Assessment for Sea-Level Rise: Evaluation and Selection of Methodologies for Implementation*. 39p., Caribbean Planning for Adaptation to Global Climate Change, Technical Report TR 98002, St. Michael, Barbados. *Não Publicado*.
- NOAA CSC (s/d) - *Community vulnerability assessment tool: New Hanover County, North Carolina case study*. NOAA Coastal Services Center, Charleston, South Carolina, USA. Disponível em <http://www.csc.noaa.gov/products/nchaz/startup.htm>
- Oliveira, I.B.M. (1997) - Proteger ou não proteger ou sobre a viabilidade das diferentes opções face à erosão da costa portuguesa. In: *Coletânea de Ideias sobre a zona Costeira de Portugal*, pp.205-227, Associação EUROCOAST-Portugal, Porto, Portugal.
- Oliveira, I.B.M.; Valle, A.J.S.F.; Miranda, F.C.C. (1982) - Littoral Problems in the Portuguese West Coast. *Coastal Engineering* (ISSN: 2156-1028), 3:1950-1969, Cape Town, South Africa. Disponível em: <http://journals.tdl.org/icce/article/viewfile/3732/3415>
- Pereira, C. (2010) - *Risco de erosão para diferentes cenários de evolução do litoral de Aveiro*. 79p., Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal. *Não publicado*. Disponível em http://climetua.fis.ua.pt/legacy/adaptaria/publicacoes/Dissertacao_Carla_Pereira_vf.pdf
- Pereira, C.; Coelho, C. (2011) - *Base de dados da Ação Marítima sobre o Litoral: Trecho Espinho-Mira*. 41p., Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal. *Não publicado*.
- Sharples, C.; Mount, R.; Pedersen, T. (2009) - *The Australian Coastal Smartline Geomorphic and Stability Map Version 1: Manual and Data Dictionary v1.1*. 179p., School of Geography & Environmental Studies, University of Tasmania, Australia. http://www.ozcoasts.org.au/pdf/SmartlineV1_DataDictionaryManual_2009_v1_1.pdf
- USGS (2004) - *Coastal Vulnerability Assessment of Assateague Island National Seashore (ASIS) to Sea-Level Rise*. 20p., United States Geological Survey, USA. Disponível em <http://pubs.usgs.gov/of/2004/1020/images/pdf/asis.pdf>
- Gomes, F.V. (2007) - A Gestão da Zona Costeira Portuguesa. *Revista de Gestão Costeira Integrada* (ISSN: 1646-8872), 7(2):83-95, Lisboa, Portugal.
- Gomes, F.V.; Pinto, F.T. (1997) - A Opção “Proteção” para a Costa Oeste Portuguesa. In: *Coletânea de Ideias Sobre a Zona Costeira de Portugal*, pp.163-190, Associação EUROCOAST-Portugal, Porto, Portugal.
- Gomes, F.V.; Pinto, F.T.; das Neves, L.; Barbosa, J.P (2006) - *A European Initiative for Sustainable Coastal Erosion. Pilot Site of River Douro - Cape Mondego and Case Studies of Estela, Aveiro, Caparica, Vale do Lobo and Azores*. 317p., Instituto de Hidráulica e Recursos Hídricos, Porto, Portugal. ISBN: 972-752-074-x.
- Williams, A.T.; Davies, P.; Curr, R.F.H.; Bodéré, J.Cl.; Hallégouet, B.; Koh, A.; Meur, C.; C., Yoni (1993) - A checklist approach of dune vulnerability and protection in Devon and Cornwall, UK. In: O.T. Magoon, W.S. Wilson, Converse, H. & H.T. Tobin (eds.), *Coastal Zone '93*, pp.2394-3408, American Society of Civil Engineers, New York, USA. ISBN: 9780872629189.