

## EVOLUÇÃO TEMPORAL DA VULNERABILIDADE À EROÇÃO COSTEIRA NO DISTRITO DE AVEIRO

Pedro NARRA<sup>1</sup>; Carlos COELHO<sup>2</sup>; Francisco SANCHO<sup>3</sup>

### RESUMO

Aveiro é uma das zonas de Portugal mais afetadas pela perda de território devido à erosão costeira. O litoral deste distrito, maioritariamente composto por praias arenosas, é exposto a um clima de agitação marítima muito energético, sendo portanto propenso a alterações morfológicas. Ações antropogénicas sobre o litoral contribuem também para a alteração das suas características no tempo. A situação particular desta região justifica a necessidade de avaliação da vulnerabilidade do litoral à erosão costeira e de como se processa a sua evolução no tempo, auxiliando a tomada de ações preventivas no planeamento costeiro. O trabalho desenvolvido avaliou a evolução temporal da vulnerabilidade à erosão costeira no distrito de Aveiro entre 1990 e 2010, através da análise de diversos parâmetros que influenciam a erosão costeira em diferentes períodos temporais.

Após a recolha e análise de informação histórica dos vários parâmetros considerados, foi aplicada uma metodologia de classificação de vulnerabilidade através de uma interface SIG (Sistema de Informação Geográfica) de forma a avaliar a evolução geral de vulnerabilidade ao longo do tempo, para o distrito de Aveiro. Dos parâmetros considerados pela metodologia usada, apenas a distância à linha de costa, ações antropogénicas, revestimento de solo e taxas de erosão e/ou acreção foram considerados mutáveis ao longo do tempo, sendo que os outros parâmetros (amplitudes máximas de maré, topografia, etc.), intrínsecos à natureza da região, apresentam alterações a um ritmo bastante inferior ao período temporal em análise.

Os resultados obtidos apontam para uma vulnerabilidade alta ao longo de todo o trecho costeiro em estudo, sendo que se verificou um nível de vulnerabilidade global praticamente constante ao longo dos três períodos em análise.

**PALAVRAS-CHAVE:** uso de solo; SIG; linha de costa; ações antrópicas.

---

<sup>1</sup> Mestre e Aluno de Doutoramento; Universidade de Aveiro; Campus Universitário de Santiago 3810-193 Aveiro, Portugal; pedronarra@ua.pt; Telefone: +351 234 370 098.

<sup>2</sup> Doutor e Professor Auxiliar; Departamento de Engenharia Civil - Universidade de Aveiro; Campus Universitário de Santiago 3810-193 Aveiro, Portugal; ccoelho@ua.pt, Telefone: +351 234 370 098.

<sup>3</sup> Investigador Auxiliar; Laboratório Nacional de Engenharia Civil; Avenida do Brasil 101, 1700-066 Lisboa, Portugal; fsancho@lnec.pt, Telefone: +351 218 443 664.

## 1. INTRODUÇÃO

As zonas costeiras são encaradas como um ambiente muito apreciado, pois representam um recurso essencial no que toca a alimentação (pesca), transporte de bens (portos), e qualidade de vida em geral. Estes benefícios levam a uma elevada concentração da população nestes locais. De acordo com o EUROSTAT, em 2011, cerca de 40% da população da União Europeia vivia em zonas costeiras (Collet e Engelbert, 2013), e cerca de dois terços da população mundial vive nestas zonas. No entanto, o litoral encontra-se exposto a várias ameaças naturais, tais como galgamentos marítimos, inundações ou até mesmo a subida do nível do mar.

Outra das principais ameaças que assola estas regiões é a perda de território devido à erosão costeira. O aumento da concentração populacional nas zonas costeiras levou a um aumento das edificações junto à linha de costa. O défice sedimentar, a subida do nível do mar, a impermeabilização de solos e a destruição de linhas de defesa naturais conduziu ao crescimento das taxas de erosão, originando recuos da posição da linha de costa e colocando em perigo populações, edificações e outros bens localizados na orla costeira.

A importância socioeconómica das zonas costeiras combinada com as ameaças anteriormente descritas gerou especial interesse nestas regiões por parte da comunicação social, comunidade científica e população em geral, aumentando a necessidade de estudo e de melhor compreensão das zonas costeiras, nomeadamente no que se refere ao nível de vulnerabilidade e risco à erosão.

Assim, desde 1991, quando o IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) divulgou a *Common Methodology* como a primeira metodologia de análise à vulnerabilidade de zonas costeiras (Klein e Nicholls, 1999), várias metodologias para análise de vulnerabilidade e risco lhe sucederam, como a *Coastal Vulnerability Index* da USGS (*United States Geological Survey*) (Pendleton *et al.*, 2004) ou a *Smartline Approach* (Lins-de-Barros e Muehe, 2013).

Em Portugal, devido à costa extremamente exposta às ações energéticas do Oceano Atlântico, a aplicação de medidas adequadas para proteção das zonas costeiras ganha uma relevância ainda maior, havendo diversos estudos dedicados à vulnerabilidade e risco da costa portuguesa (e.g., Veloso-Gomes, 1996; Trigo-Teixeira *et al.*, 2002; Coelho, 2005). O distrito de Aveiro, zona em estudo neste trabalho, é uma das zonas de Portugal mais afetadas pela erosão costeira. O litoral deste distrito, maioritariamente composto por praias arenosas, apresenta um elevado défice sedimentar. Estas praias são expostas a um clima de agitação marítima muito energético, sendo portanto, muito propensas a alterações morfológicas.

Historicamente, a zona costeira do distrito de Aveiro sofreu inúmeras alterações morfológicas. Estas mudanças estão associadas à existência da laguna de Aveiro que, até ser fixada por ação humana no século XVIII, estava sujeita a uma intensa dinâmica e mobilidade. As intervenções antropogénicas sobre o litoral de Aveiro foram alterando as suas características no tempo. A situação particular desta região justifica a necessidade de avaliação da vulnerabilidade do litoral à erosão costeira e da evolução dessa vulnerabilidade ao longo do tempo.

## 2. OBJETIVOS

Face ao exposto na secção anterior, o trabalho desenvolvido procurou avaliar a evolução temporal da vulnerabilidade à erosão costeira no distrito de Aveiro. Como tal, diversos parâmetros que influenciam a erosão costeira foram avaliados em diferentes períodos temporais, procurando enquadrá-los numa avaliação global para os anos de 1990, 2000 e 2010.

Apesar de alguns parâmetros variarem pouco ao longo do tempo (máxima amplitude de maré, por exemplo), noutros poderão ocorrer consideráveis alterações no período considerado para avaliação (exemplo de ações antropogénicas ou de revestimento do solo). Portanto, enquadrado no objetivo principal de avaliação de vulnerabilidade, é também objetivo a avaliação específica da evolução de cada parâmetro ao longo do tempo, como a posição da linha de costa, uso de solo, ações antrópicas e taxas anuais de erosão ou acreção. Estes parâmetros baseiam-se na aplicação da metodologia de classificação de vulnerabilidade à erosão costeira proposta por Coelho (2005).

Por fim, é também objetivo do trabalho o contínuo desenvolvimento de uma aplicação SIG para análise de vulnerabilidade à erosão costeira, sendo que a aplicação de diversos cenários permite uma avaliação do desempenho da ferramenta, contribuindo para futuros desenvolvimentos da metodologia.

## 3. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo escolhida para análise temporal da vulnerabilidade à erosão costeira compreende todos os municípios do distrito de Aveiro que possuem linha de costa – Espinho, Ovar, Estarreja, Murtosa, Aveiro, Ílhavo e Vagos – aos quais se adicionou ainda o município de Santa Maria da Feira e a freguesia de Angeja, de forma a ter uma zona de estudo com uma largura de aproximadamente 20 km, paralela à linha de costa (Figura 1).

Este litoral apresenta uma costa orientada a N21°E, essencialmente composta por praias arenosas, sujeito a uma agitação marítima altamente energética, tipicamente proveniente de noroeste (Silva *et al.*, 2009). Durante tempestades, que podem durar até 5 dias, especialmente durante o período de inverno, a altura de onda significativa pode atingir 8 m (Costa *et al.*, 2001; Sancho *et al.*, 2013). A maré é caracterizada como semi-diurna, com amplitudes que variam entre dois metros durante a maré morta e quase quatro metros durante as marés vivas (Narra *et al.*, 2015).

Nos últimos anos, a zona costeira deste local tem sofrido graves perdas de território devido principalmente à redução de fontes sedimentares. Esta redução deve-se em grande parte à diminuição de sedimentos provenientes do rio Douro, que, de acordo com Bettencourt (1997) e Vicente e Clímaco (2014), fornecia entre 1 e 2 milhões de m<sup>3</sup>/ano em regime natural. Esse valor situa-se atualmente na ordem de 0.2 milhões de m<sup>3</sup>/ano (Vicente e Clímaco, 2014), sendo considerada por diversos autores como a principal causa para os problemas de erosão ao longo da zona costeira nesta região (Silva *et al.*, 2007; Coelho *et al.*, 2009b).

No litoral em análise, ao longo do tempo foram implementadas diversas estruturas de defesa costeira de forma a combater a erosão costeira verificada, existindo atualmente neste trecho um total de 23 esporões e 13 obras longitudinais aderentes (Pereira e Coelho, 2013).

O baixo relevo do terreno ao longo de toda a zona em análise e a presença da Ria de Aveiro, um ecossistema com propriedades muito particulares, são outras características de relevo na análise temporal de vulnerabilidade do distrito de Aveiro.



Figura 1. Localização da área de estudo.

## 4. METODOLOGIA

### 4.1 Enquadramento teórico

De forma a avaliar a evolução da vulnerabilidade à erosão costeira no distrito de Aveiro, foi aplicada a metodologia desenvolvida por Coelho (2005). Esta metodologia incorpora um total de 9 parâmetros que influenciam a vulnerabilidade da zona costeira costeira, entendida como a sensibilidade do território à ação energética do mar, que são: distância à linha de costa; cota topográfica; geologia; geomorfologia; revestimento de solo; ações antropogénicas; máxima altura significativa de onda; máxima amplitude de maré e taxas médias de erosão ou acreção. Tal como descreve a Tabela 1, para cada um dos parâmetros foi, simplificada, definido um conjunto de condições objetivas exclusivas, de forma a atribuir classificações de 1 a 5, sendo 1 a classificação relativa a muito baixa vulnerabilidade e 5 relativa a muito alta vulnerabilidade.

**Tabela 1.** Classificação dos parâmetros de vulnerabilidade (Coelho, 2005).

Vulnerabilidade	Muito Baixa 1	Baixa 2	Moderada 3	Alta 4	Muito Alta 5
<b>Distância à linha de costa (m)</b>	> 1000	201 a 1000	51 a 200	21 a 50	≤ 20
<b>Cota topográfica (m)</b>	> 30	21 a 30	11 a 20	6 a 10	≤ 5
<b>Geologia</b>	Rochas magmáticas (granito, gabro, basalto, etc.)	Rochas metamórficas (xisto, gneisse, mármore, etc.)	Rochas sedimentares (calcário, arenito, argilito, etc.)	Sedimentos não consolidados de grandes dimensões, litologia variada	Sedimentos não consolidados de pequenas dimensões (areias, argilas e siltes)
<b>Geomorfologia</b>	Montanhas	Arribas rochosas	Arribas erodíveis, praias abrigadas, zonas interiores de relevo pouco acentuado	Praias expostas, planícies	Dunas, restingas, estuários, aluviões, lagunas
<b>Revestimento de solo</b>	Floresta	Vegetação rasteira, solo cultivado e jardins	Solo não revestido	Urbanizado rural	Urbanizado ou industrial
<b>Ações antropogénicas</b>	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
<b>Máxima altura significativa de onda (m)</b>	< 3.0	3.0 a 4.9	5.0 a 5.9	6.0 a 6.8	≥ 6.9
<b>Máxima amplitude de maré (m)</b>	< 1.0	1.0 a 1.9	2.0 a 4.0	4.1 a 6.0	> 6.0
<b>Taxas médias de erosão/acreção (m/ano)</b>	> 0.0 Acreção	0.0 a -0.9 Erosão	-1.0 a -2.9 Erosão	-3.0 a -4.9 Erosão	≤ -5.0 Erosão

**Tabela 2:** Peso de cada parâmetro na classificação global de vulnerabilidade (Coelho *et al.*, 2007).

Parâmetros de Vulnerabilidade	Distância à linha de costa (d)		
	< 100 m	100 a 5000 m	> 5000 m
<b>Distância à linha de costa</b>	0.214	$\frac{6}{28} + \frac{0.665(d - 100)}{4900}$	0.879
<b>Cota topográfica</b>	0.214	$\frac{6}{28} - \frac{0.665(d - 100)}{4900} - \frac{6}{22}$	0.033
<b>Geologia</b>			
<b>Geomorfologia</b>			
<b>Revestimento de solo</b>			
<b>Máxima altura de onda significativa</b>	0.071	$\frac{2}{28} - \frac{0.665(d - 100)}{4900} - \frac{2}{22}$	0.011
<b>Taxas médias de erosão/acreção</b>			
<b>Máxima amplitude de maré</b>	0.036	$\frac{1}{28} - \frac{0.665(d - 100)}{4900} - \frac{1}{22}$	0.005
<b>Ações antropogénicas</b>			

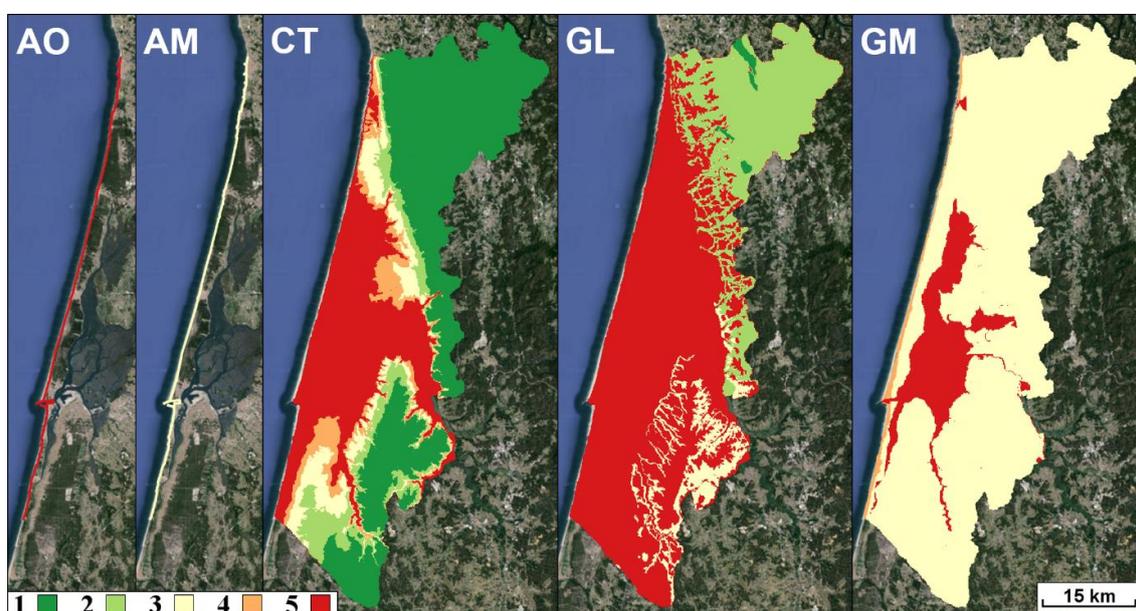
A classificação de vulnerabilidade global é estimada efetuando a média ponderada de cada parâmetro, de acordo com os fatores de ponderação apresentados na Tabela 2. A quantificação do peso de cada fator para o respetivo parâmetro foi definida por Coelho *et al.* (2007) com base em diversos testes e análises de sensibilidade, e foi seguidamente aplicada por Coelho e Arede (2009), Coelho *et al.*, (2009a) e Pereira e Coelho (2013).

De notar que estes fatores mudam dependendo da distância a que o ponto em avaliação se encontra da linha de costa (Tabela 2). Assim, os fatores que mais influenciam a vulnerabilidade global numa área com distância inferior a 100 m da linha de costa são a topografia, geologia e a própria distância à linha de costa (aproximadamente 21% para cada parâmetro). No entanto, à medida que se avaliam zonas mais interiores, o impacto na classificação global de vulnerabilidade do parâmetro da distância à linha de costa aumenta, atingindo um máximo de 88% de influência na classificação final, para distâncias superiores a 5 km, onde os autores da metodologia consideram que a vulnerabilidade global é seguramente reduzida.

## 4.2 Aquisição de dados

Para executar uma correta aplicação da metodologia referida no enquadramento teórico, é necessário recolher informação relativa a cada um dos parâmetros de vulnerabilidade considerados. Devido à extensão de litoral a ser analisada, esta informação deve ser preferencialmente recolhida através de cartas (geológicas, topográficas, etc.), que possibilitem a georreferenciação e manipulação da informação através de Sistemas de Informação Geográfica.

Dos 9 parâmetros considerados por Coelho (2005) para avaliação da vulnerabilidade global, 5 foram para o presente efeito considerados constantes ao longo do tempo, devido a serem condições intrínsecas ao próprio ambiente, que apenas apresentam alterações significativas em períodos temporais incomparavelmente superiores aos 20 anos de análise desenvolvida neste trabalho. Portanto, os mapas dos parâmetros de máxima altura de onda significativa, máxima amplitude de maré, topografia, geologia e geomorfologia foram os apresentados na Figura 2 para os 3 períodos a analisar.

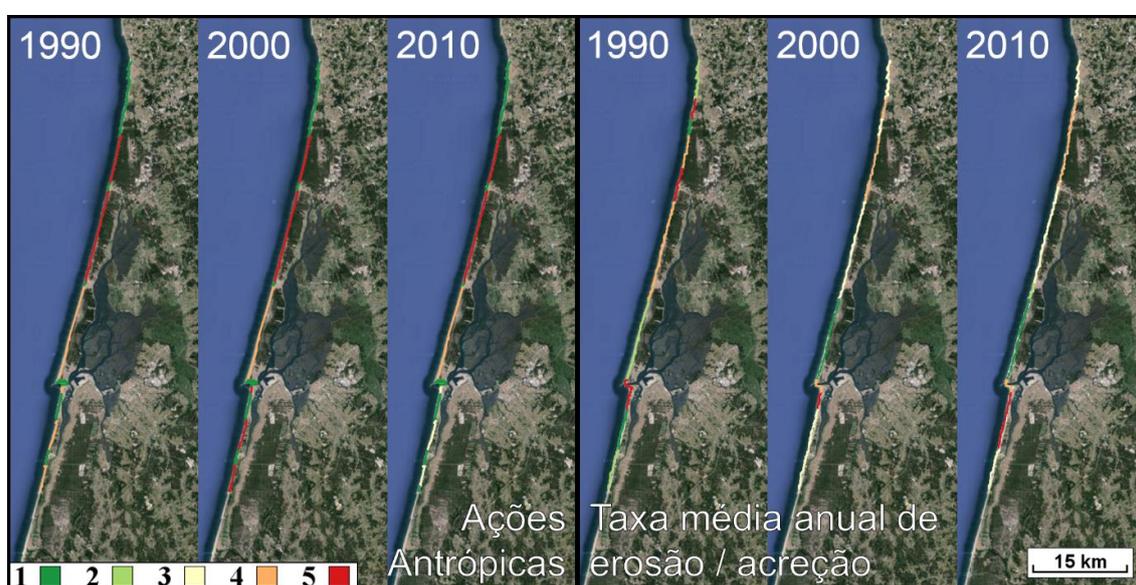


**Figura 2.** Mapas de classificação referentes a parâmetros considerados imutáveis ao longo do tempo:  
AO – Máxima altura de onda significativa; AM – Amplitude máxima de maré; CT – Cota topográfica;  
GL – Geologia; GM – Geomorfologia.

As classificações referentes à máxima amplitude de maré e à máxima altura de onda significativa têm como base informações do Instituto Hidrográfico (IH, 2015). Como já foi referido, a máxima altura de onda pode atingir os 8 metros, sendo portanto atribuída uma classificação de 5 (muito vulnerável) ao longo de todo o trecho em análise. A amplitude de maré varia entre os 2 e os 4 metros, sendo portanto classificada com o valor 3 (moderada) ao longo de toda a costa. Os dados referentes à geomorfologia e topografia, considerados constantes na área de análise e período de tempo em estudo, foram obtidos com base nas cartas militares do Instituto Geográfico do Exército (IGE, 2015), à escala 1:25000. A classificação do parâmetro de geologia foi desenvolvido com base em cartas geológicas, à escala 1:50000.

Os restantes parâmetros foram considerados como sendo mutáveis ao longo do tempo, sendo necessário obter informação e considerar diferentes classificações para os períodos de 1990, 2000 e 2010.

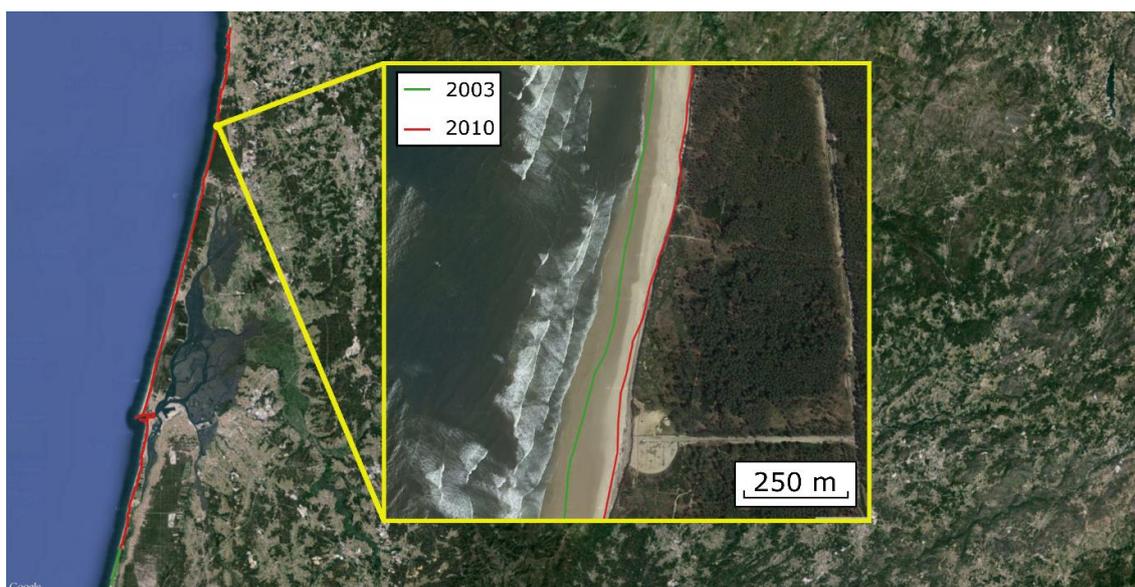
A classificação ao longo da linha de costa das ações antropogénicas foi desenvolvida tendo em atenção as obras de defesa costeira presentes a cada momento (Figura 3). Portanto, foi consultado o histórico de intervenções a nível costeiro, sendo que a maioria do trecho em consideração não sofreu alterações, pois grande parte das intervenções de defesa costeira se deu entre os anos 80 e 90 do século XX, sendo apenas registada uma intervenção costeira posterior, com a construção de um esporão na zona do Areão em 2002/2003. Foram também registadas diversas obras de reposição sedimentar, contribuindo para algumas mudanças na classificação (Figura 3). A classificação referente às taxas médias anuais de erosão ou acreção foi realizada com base em valores apresentados por vários autores e compilados por Pereira e Coelho (2013).



**Figura 3.** Mapas de classificação referente aos parâmetros de ações antropogénicas e a taxas médias anuais de erosão ou acreção para os períodos de 1990, 2000 e 2010.

A posição da linha de costa foi obtida para os anos de 2003 e 2010, tendo sido utilizadas imagens aéreas relativas a estes dois anos, disponíveis no *Google Earth*. A linha de costa foi definida considerando a posição da base da duna, por ser mais estável em comparação com a linha de espraiamento, por não estar dependente do nível da maré aquando da obtenção da foto aérea.

Em termos médios ao longo de todo o trecho, a linha de costa recuou cerca de 13 metros entre os períodos considerados. No entanto, em algumas zonas registou-se um recuo muito superior, como o exemplo apresentado na Figura 4, na praia de Maceda, onde se verificou um recuo de cerca de 100 metros entre 2003 e 2010. Por falta de aquisição de imagens aéreas para datas anteriores a 2003 neste trabalho, a posição da linha de costa neste ano foi considerada representativa dos anos 1990 e 2000. A adoção da posição da linha de costa referida para estes dois instantes não influenciará o resultado final devido à escala adotada para análise. No entanto, noutros trabalhos que requeiram maior detalhe, a posição da linha de costa poderá ter uma influência significativa no grau de vulnerabilidade.



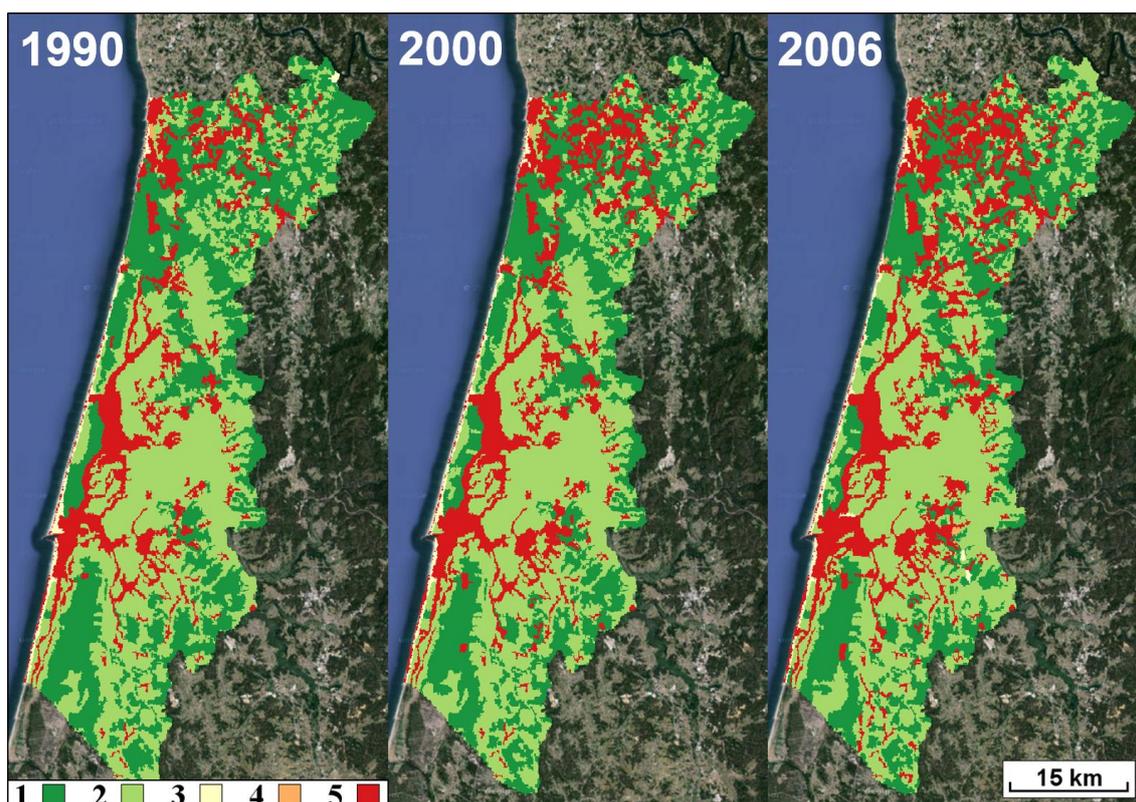
**Figura 4.** Variação da posição da linha de costa entre 2003 e 2010, na praia de Maceda.

Na Figura 5 são apresentados os mapas relativos ao parâmetro de revestimento de solo. A informação foi obtida com base nos mapas do Corine Land Cover (CLMS, 2015), um projeto a nível europeu para identificação e análise do uso de solo, tendo sido iniciado em 1985. Desde então foram produzidos mapas para 1990, 2000 e 2006, sendo que o referente a 2012 está em produção. De referir que a classificação de revestimento de solo referente a 2006 foi usada para a classificação global de vulnerabilidade de 2010 devido à inexistência de dados com uma data mais próxima da pretendida.

Os mapas consistem numa caracterização geográfica tendo por base 44 classes distintas com uma unidade de mapeamento mínima de 25 hectares. O desenvolvimento do *Corine Land Cover* em Portugal está a cargo da Agência Portuguesa do Ambiente. Após organização das 44 categorias em cada nível de vulnerabilidade referente ao revestimento de solo, foi possível constatar um aumento da classificação do nível 5 ao longo do período em análise, por contraste com a diminuição da área com classificação 1 e 2, tal como é apresentado na Tabela 3.

**Tabela 3.** Percentagem de área para cada nível de revestimento de solo.

Vulnerabilidade	Área (%)		
	1990	2000	2006
1	37.07	34.23	31.52
2	45.33	45.25	43.96
3	1.21	1.00	1.09
4	0.08	0.08	0.13
5	16.32	19.45	23.29



**Figura 5.** Mapas de classificação referentes ao parâmetro de revestimento de solo para os anos de 1990, 2000 e 2006.

#### 4.3 Computação da vulnerabilidade global

Para se realizar a computação da vulnerabilidade global de acordo com a metodologia de Coelho (2005), desenvolveu-se uma aplicação em Sistemas de Informação Geográfica (SIG), que automatiza o processo após obtidos os dados originais. Esta aplicação foi desenvolvida recorrendo ao *software open-source* QGIS™ (QGIS, 2015) e à linguagem de programação *python* (Python, 2015).

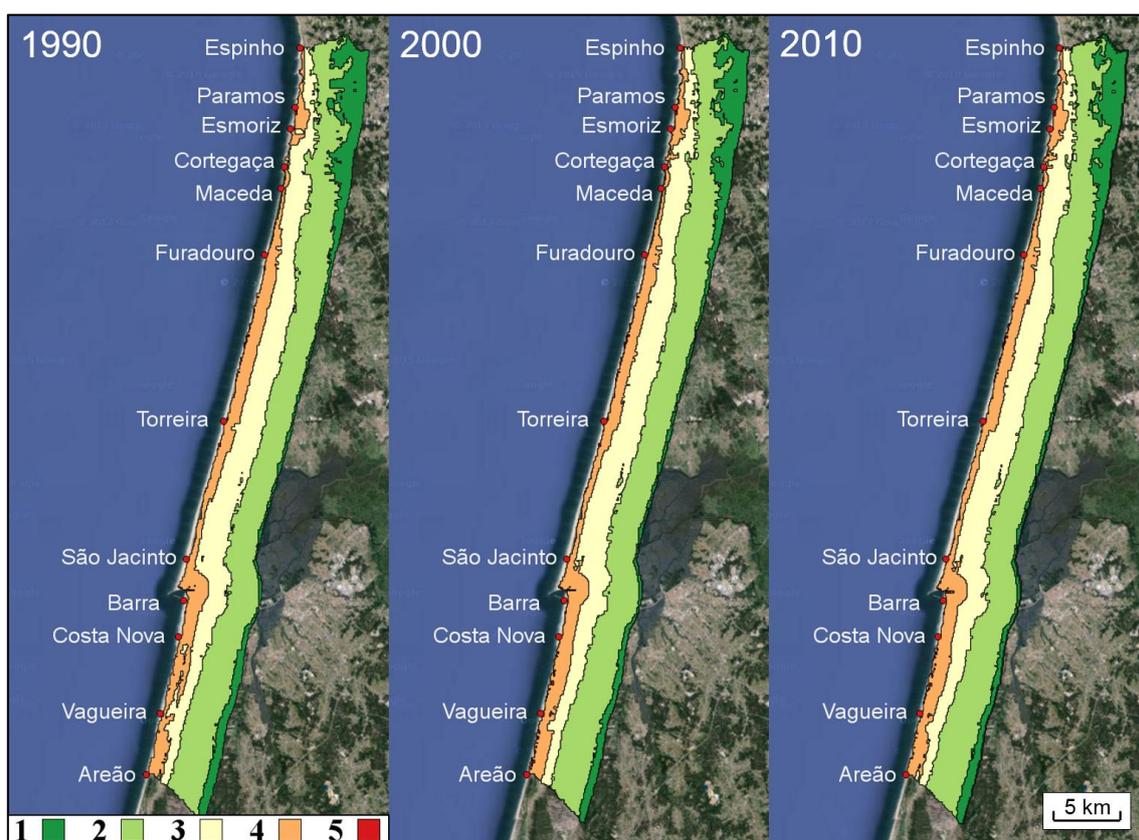
Para o correto funcionamento da aplicação foi necessário georreferenciar alguma da informação. Para tal, usou-se uma transformação polinomial de segundo grau, que permite alguma distorção nos mapas a serem georreferenciados. Toda a georreferenciação foi feita para o sistema de coordenadas *Hayford-Gauss Datum 73*, devido a grande parte da informação estar disponível neste sistema e por ser adequado ao território português. De notar que este não é o sistema de coordenadas oficial que deve ser utilizado em Portugal, embora em qualquer instante se possa transformar a informação para esse sistema (PT-TM06-ETRS89). A escala de trabalho e o nível de representação dos mapas de cada parâmetro corresponde a pontos (*pixels*) com cerca de 100 metros de dimensão.

Para os parâmetros cuja classificação é realizada ao longo da linha de costa, o processamento da classificação global na zona interior considera a mesma classificação definida no alinhamento da perpendicular à linha de costa.

## 5. RESULTADOS

A Figura 6 apresenta os resultados finais de vulnerabilidade para os anos de 1990, 2000 e 2010, segundo a metodologia de Coelho (2005). São também indicadas as principais praias da zona costeira do distrito de Aveiro, para uma melhor noção da localização.

De forma a melhor avaliar a evolução da vulnerabilidade ao longo do tempo, optou-se por se limitar a área analisada até uma distância de 5 km da linha de costa, onde a vulnerabilidade tem valores maiores que 1. Toda a área mais interior corresponde à classificação 1, pelo que apresenta uma classificação de vulnerabilidade à erosão costeira muito baixa, não sendo relevante para a análise realizada.

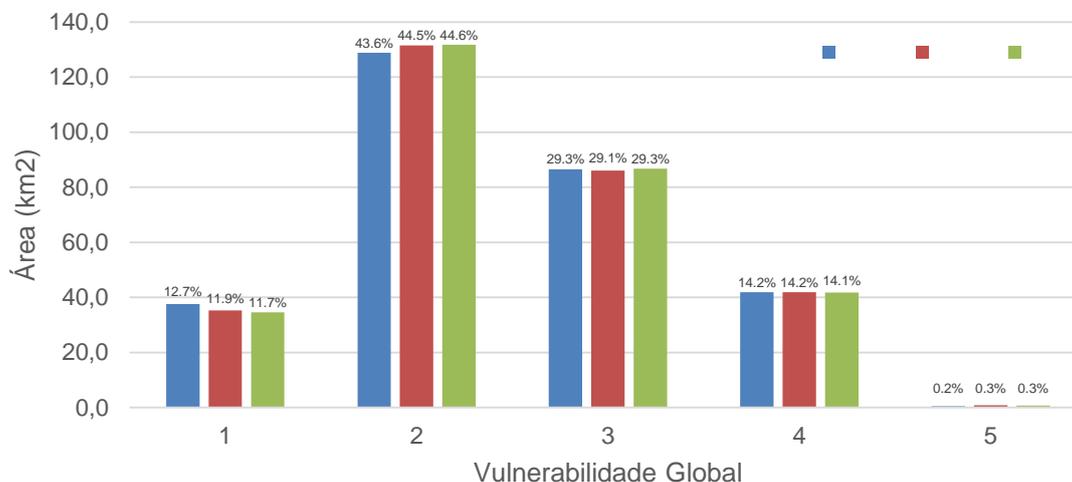


**Figura 6.** Vulnerabilidade global à erosão costeira para os anos de 1990, 2000 e 2010, aplicando a metodologia de Coelho (2005).

A escala de trabalho e o nível de representação dos mapas de cada parâmetro referido em 4.3 levou à perda de detalhe em algumas zonas de vulnerabilidade muito alta. Assim, ao longo de toda a linha de costa e em qualquer dos períodos analisados, a vulnerabilidade global apresenta-se com o nível 4, correspondente a uma vulnerabilidade alta, mas variando a largura das faixas desta classificação ao longo do litoral. Naturalmente, o grau de vulnerabilidade vai-se reduzindo para o interior, com vulnerabilidades de faixa de menor largura na zona Norte, refletindo um decréscimo mais rápido da vulnerabilidade para o interior.

A Figura 7 apresenta a área, em km<sup>2</sup>, e a respetiva percentagem que cada classe de vulnerabilidade ocupa no trecho litoral em estudo (faixa litoral com 5 km de largura,

representada na Figura 6). Verifica-se uma homogeneidade dos resultados ao longo do tempo, com a vulnerabilidade de nível 4 a ocupar cerca de 42 km<sup>2</sup> (14%) da área analisada, e as vulnerabilidades de nível 2 e 3 a ocuparem aproximadamente 130 e 90 km<sup>2</sup>, respetivamente.



**Figura 7.** Área de classe de vulnerabilidade, e respetiva percentagem de ocupação, ao longo do período de análise.

## 6. DISCUSSÃO

A avaliação da vulnerabilidade global para a zona costeira do distrito de Aveiro revelou uma classificação elevada. Apesar de serem visíveis diferenças entre cada um dos mapas apresentados, no geral, os três resultados temporais apresentam-se muito similares. Esta constatação é reforçada pela similaridade das áreas com classificação análoga, apresentadas na Figura 7.

A semelhança entre os 3 períodos analisados deve-se a vários fatores. O principal aspeto corresponde ao peso atribuído aos fatores que foram considerados mutáveis ao longo dos anos. O revestimento de solo e as taxas médias de erosão e/ou acreção têm uma influência de apenas aproximadamente 7% na classificação global de vulnerabilidade para distâncias à linha de costa inferiores a 100 metros, enquanto as ações antropogénicas apenas pesam cerca de 4% na classificação final. Por outro lado, os parâmetros com maior impacto na classificação final, tais como a geologia e a topografia, com cumulativamente cerca de 42% de impacto na classificação final, mantiveram-se inalterados para os 3 períodos em análise, contribuindo para a similaridade entre os 3 períodos. Sugere-se que o peso relativo destes parâmetros, com pouca variabilidade temporal, seja revisto em trabalhos futuros.

A distância à linha de costa, apesar de ser o parâmetro que mais peso tem na avaliação global da vulnerabilidade, não é suficiente para conduzir a uma grande influência no resultado final. Este facto prende-se com a baixa resolução de alguns dos mapas originais e com a distância temporal entre os períodos analisados, tornando-se impercetível uma translação como a registada pelo recuo da linha de costa entre 2003 e 2010. Este resultado revela que é necessário utilizar mapas com maior nível de detalhe para que se possa obter

maior precisão nos resultados relativamente à vulnerabilidade de cada local. No entanto, o aumento do detalhe da representação tem custos computacionais elevados, pelo que será necessário encontrar um equilíbrio entre estes dois fatores.

A observação dos resultados da Figura 6 mostra também que a largura da faixa de vulnerabilidade alta se apresenta consideravelmente mais estreita na zona mais a norte. Esta redução da vulnerabilidade é explicada pelos parâmetros de topografia e geologia, já que a parte Norte do distrito revela um relevo mais acentuado e com uma menor extensão de terrenos em areia, reduzindo a largura das faixas de vulnerabilidade 2, 3 e 4, comparativamente ao restante trecho em análise. Destaque ainda para a menor largura da faixa com vulnerabilidade alta registada na praia de São Jacinto, devido às taxas de variação da posição da linha de costa registadas ao longo de todo o período, com acreção neste troço.

A região sul do trecho em análise foi onde se registaram as maiores diferenças ao longo do tempo. Esta situação coincide com o local onde ocorreram também as maiores variações de taxas de erosão e/ou acreção, nomeadamente na praia da Vagueira, local onde mais recentemente se registaram graves níveis de erosão, contribuindo para o aumento da vulnerabilidade global. A construção de um esporão na praia do Areão em 2003 ainda refletiu a classificação atribuída para as ações antropogénicas, mas tal mudança não teve um impacto significativo na vulnerabilidade global.

Os resultados obtidos são concordantes com os obtidos anteriormente por outros autores que aplicaram a mesma metodologia a este troço costeiro (Coelho *et al.*, 2009a; Coelho e Arede, 2009; Pereira e Coelho, 2013). Foi também comprovada a eficácia da ferramenta SIG para aplicação expedita desta metodologia e comparação de resultados, incentivando à continuação do desenvolvimento da mesma e melhoria dos métodos de classificação de vulnerabilidade à erosão costeira.

## 7. CONCLUSÕES

Este trabalho pretendeu fazer uma análise da vulnerabilidade à erosão costeira no distrito de Aveiro, registando também a respetiva evolução ao longo de 20 anos, analisando a vulnerabilidade para os anos de 1990, 2000 e 2010. Para tal, foi aplicada a metodologia de Coelho (2005) a todos os municípios com zona costeira naquele distrito, assim como ao município de Santa Maria da Feira e à freguesia de Angeja, perfazendo uma faixa com cerca de 20 km de largura paralela à linha de costa com extensão de cerca de 55 km.

A metodologia de Coelho (2005) é composta pela avaliação independente de 9 parâmetros que influenciam a vulnerabilidade à erosão costeira: distância à linha de costa; cota topográfica; geologia; geomorfologia; revestimento de solo; ações antropogénicas; máxima altura de onda significativa; máxima amplitude de maré e taxas médias de erosão e/ou acreção. Apenas os parâmetros de distância à linha de costa, ações antropogénicas, revestimento de solo e taxas de erosão e/ou acreção foram consideradas mutáveis ao longo do tempo, sendo que os outros parâmetros, intrínsecos à natureza da região, apresentam alterações a um ritmo bastante inferior ao período temporal em análise. Para execução da metodologia, desenvolveu-se uma aplicação SIG, usando a aplicação *open source* QGIS™ e a linguagem de programação *python*. Para uma melhor perceção das alterações ao longo do tempo, optou-se por analisar apenas uma faixa de 5 km de largura paralela à linha de costa.

Os resultados obtidos apontam para uma vulnerabilidade alta ao longo de todo o trecho costeiro em análise. Verificou-se um nível de vulnerabilidade praticamente constante ao longo dos três períodos em análise, correspondendo a cerca de 14% da área faixa litoral considerada. A constância do nível de vulnerabilidade ao longo dos períodos analisados é explicada pelo facto de parâmetros com muita influência na vulnerabilidade global, como a geologia e a topografia, terem sido considerados constantes nos 3 períodos de análise.

Apesar de se ter verificado uma translação da posição da linha de costa entre 2003 e 2010, esta translação torna-se impercetível na análise da vulnerabilidade global devido à grande área geográfica coberta no estudo e à baixa resolução de alguns dos mapas relativos a outros parâmetros. Este aspeto realça a importância da escala de análise na aplicação da metodologia, que deverá ser maior em trabalhos futuros.

Os resultados revelam uma maior influência da topografia e geologia na zona norte do trecho em análise, diminuindo a largura das faixas correspondentes à vulnerabilidade 2, 3 e 4. Na praia de São Jacinto é registada uma diminuição da vulnerabilidade devido às taxas de erosão e/ou acreção registadas na região. A região sul do trecho em análise, nomeadamente a praia da Vagueira, apresenta um aumento da vulnerabilidade ao longo do tempo, devido a um aumento das taxas de erosão e/ou acreção anual naquela zona.

Em conclusão, a vulnerabilidade à erosão costeira na região de Aveiro tem-se mantido alta ao longo dos anos, dado que os fatores com maior variabilidade temporal têm pouca relevância na metodologia aplicada devido ao seu fator de ponderação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bettencourt P. (1997). Notas para uma estratégia de gestão da orla costeira. *Colectânea de ideias sobre a Zona Costeira de Portugal*, 265-283.

Coelho C. (2005). *Riscos de exposição de frentes urbanas para diferentes intervenções de defesa costeira*. Dissertação de Doutoramento em Engenharia Civil. Universidade de Aveiro. Aveiro.

Coelho C., Granjo M., Segurado-Silva C. (2007). Vulnerabilidades do Distrito de Aveiro às Ações Energéticas do Mar. *Recursos Hídricos* 28(3), 45-53.

Coelho C., Arede, C. (2009). Methodology to Classify Exposure Risk to Wave Actions in the Northwest Coast of Portugal. Em *Proceedings of 9<sup>th</sup> International Conference on the Mediterranean Coastal Environment*. Ankara, Turquia. 813-824.

Coelho C., Granjo M., Segurado-Silva C. (2009a). Map of Coastal Zone Vulnerabilities to Wave Actions - Application to Aveiro District (Portugal). *Integrated Coastal Zone Management* 24, 318-330.

Coelho C., Conceição T., Ribeiro B. (2009b). Coastal Erosion Due to Anthropogenic Impacts on Sediment Transport in Douro River - Portugal. Em *Proceedings of Coastal Dynamics 2009: Impacts of Human Activities on Dynamic Coastal Processes*. Singapore. Paper 72.

Collet I., Engelbert A. (2013). Coastal regions: people living along the coastline, integration of NUTS 2010 and latest population grid. *EUROSTAT*, 20.

CLMS - Copernicus Land Monitoring Services (2015). <http://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover> (acedido a 21 de Junho de 2015).

Costa M., Silva R., Vitorino J. (2001). Contribuição para o estudo do clima de agitação marítima na costa portuguesa. Em *2<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira*. Sines, 20.

IGE - Instituto Geográfico do Exército (2015). [www.igeoe.pt](http://www.igeoe.pt) (acedido a 21 de Junho de 2015).

IH - Instituto Hidrográfico (2015). [www.hidrografico.pt](http://www.hidrografico.pt) (acedido a 21 de Junho de 2015).

Klein R., Nicholls R. (1999). Assessment of coastal vulnerability to climate change. *Ambio* 8(2), 182-187.

Lins-de-Barros F., Muehe D. (2013). 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*, 17(2), 211-223.

Narra P., Coelho C., Fonseca J. (2015). Sediment grain size variation along a cross-shore profile—representative  $d_{50}$ . *Journal of Coastal Conservation*, 1-14.

Pendleton E., Williams S., Thieler E. (2004). Coastal Vulnerability Assessment of Assateague Island National Seashore (ASIS) to Sea-Level Rise. *U.S. Geological Survey*, 2004-1020.

Pereira C., Coelho C. (2013). Mapas de Risco das Zonas Costeiras por Efeito da Ação Energética do Mar. *Revista de Gestão Costeira Integrada* 13(1), 27-43.

Python (2015). [www.python.org](http://www.python.org) (acedido a 21 de Junho de 2015).

QGIS (2015). [www.qgis.org](http://www.qgis.org) (acedido a 21 de Junho de 2015).

Sancho F., Heitor D., Neves M. (2013). Intensidade energética sob temporais marítimos: proposta de metodologia e aplicação ao litoral de Espinho. Em *8<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária*. Lisboa. Paper 15, 11.

Silva R., Coelho C., Veloso-Gomes F., Taveira-Pinto F. (2007). Dynamic numerical simulation of medium-term coastal evolution of the west coast of Portugal. *Journal of Coastal Research* 50, 263-267.

Silva R., Baptista P., Veloso-Gomes F., Coelho C., Taveira-Pinto F. (2009) Sediment Grain Size Variation on a Coastal Stretch Facing the North Atlantic (NW Portugal). *Journal of Coastal Research* 56, 762-766.

Trigo-Teixeira A., Matos J., Pimentel C., Pinheiro J. (2002). A Map of Land at Risk on the Portuguese Coast. Em *International Workshop of Good Practices on Coastal Zone Management and Coastal Defence*. Porto.

Veloso-Gomes F. (1996). *Reflexões sobre a Vulnerabilidade e Risco de Exposição das Orlas Costeiras às Acções Energéticas do Mar*. Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 59 p.

Vicente, C.M, Clímaco, M. (2014). Trecho de costa a sul de Espinho: simulação numérica do processo erosivo e de alternativas de intervenção. Relatório 101/2014 – DHA/LNEC, Lisboa.