



FCTUC DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Contribuição para o planeamento e gestão de um trecho da zona costeira portuguesa

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na Especialidade de Hidrologia e Recursos Hídricos

Autor

Tiago Filipe Marto Gomes

Orientador

Prof. Doutor José Simão Antunes do Carmo

Esta dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor, não tendo sofrido correções após a defesa em provas públicas. O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer responsabilidade pelo uso da informação apresentada.

Coimbra, Janeiro, 2013

AGRADECIMENTOS

Ao meu Orientador, Prof. Doutor José Simão Antunes do Carmo, um agradecimento pelos ensinamentos que me facultou, pela disponibilidade e colaboração no âmbito da realização deste trabalho.

Ao meu Pai, António Gomes, por todo o esforço, sacrifício e apoio ao longo destes anos de vida académica.

À minha Mãe, Maria de Fátima Rodrigues Marto, não só pelo apoio, mas principalmente por toda a força que me transmitiu para chegar até aqui.

A todos os meus familiares, com especial dedicatória para o meu irmão, cujo apoio incondicional fez a diferença.

Aos meus Amigos de Coimbra por toda a ajuda, direta ou indireta, pelo convívio, por aquilo que me ensinaram nestes cinco anos e por me terem tornado em mais uma pessoa que afirma que os amigos de Faculdade são para toda a vida.

Um agradecimento ao Centro de Estudos e Desenvolvimento Regional e Urbano pela colaboração na realização deste estudo.

Por último mas não menos importante, sem particularizar com medo de me esquecer de alguém, aos meus amigos de Santiago da Guarda. Não só pelo apoio ao longo do percurso académico mas por tudo aquilo que representam.

RESUMO

A erosão costeira é um problema que afeta muitas zonas litorais do Globo. Em Portugal, o trecho costeiro entre Mira e São Pedro de Moel, situado a noroeste da costa Atlântica, é uma extensão costeira crítica em alguns locais.

O presente trabalho é uma tentativa de desenvolver um índice de vulnerabilidade costeira (IVC) para aquele trecho, ameaçado pelo mar, definindo um mapa de vulnerabilidades da linha de costa. Este mapa baseia-se em aspetos relacionados com a geomorfologia, a cota topográfica, a geologia, a erosão litoral, a exposição litoral, a agitação marítima, a altura de maré e o aumento do nível médio do mar. A análise isolada dos diversos parâmetros, considerados como os mais condicionantes na avaliação da vulnerabilidade, permite uma classificação objetiva em diferentes classes.

A maioria dos parâmetros utilizados é de natureza dinâmica e requerem uma grande quantidade de dados a partir de diferentes fontes. Para cada parâmetro, as zonas de vulnerabilidade a riscos naturais costeiros podem ter a seguinte classificação: muito alta, alta, média, baixa e muito baixa.

Com base nas classificações dos oito parâmetros utilizados é apresentado um mapa global de vulnerabilidades da linha de costa. Espera-se que esta representação de vulnerabilidades constitua uma ferramenta útil para a gestão e planeamento das zonas costeiras, em particular no trecho entre Mira e São Pedro de Moel, apoiando as decisões políticas de hierarquização de prioridades de intervenção.

ABSTRACT

Coastal erosion is a problem that affects many coastal areas of the World. In Portugal, the area between Mira and São Pedro de Moel, northwest of the Atlantic coast, is critical in some of its extension as it is constantly threatened by the sea.

In this study, an attempt to develop a coastal vulnerability index (IVC) for the coastal stretch aforementioned is made by defining a coastal vulnerability map. This is achieved through the independent analysis of the most conditioning aspects related to the geomorphology, the topographical elevation, the geology, the coastal erosion, the coastal exposure, the sea waves, the tides and the mean sea level rise, which allows an objective classification into different classes.

The majority of the parameters used is dynamic and requires the input of large amount of data coming from different sources. The coastal areas vulnerable to natural hazards can be classified as: very high, high, medium, low and very low.

Based on the parameters classification, a global map of vulnerabilities is presented. This representation of vulnerabilities is intended to be an auxiliary tool in the management and planning of coastal areas, supporting intervention policies and priorities.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
ÍNDICE.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE QUADROS	viii
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Enquadramento e Objetivos	1
1.2 Organização da dissertação	5
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1 Enquadramento Histórico.....	6
2.2 Métodos e Estratégias de Análise de Vulnerabilidades.....	7
2.2.1 “Aerial Videotape-Assisted Vulnerability Analysis (AVVA)”	7
2.2.2 SMART.....	9
2.2.3 Metodologia utilizada por Coelho (2005).....	11
2.3 Cálculo de Índices de Vulnerabilidade Costeira.....	14
2.4 Caracterização da zona de estudo	17
2.4.1 Geomorfologia	17
2.4.2 Geologia.....	21
2.4.3 Alteração do Litoral (erosão ou acreção).....	23
2.4.4 Cota Topográfica	27
2.4.5 Exposição Litoral	28
2.4.6 Aumento do Nível do Mar	29
2.4.7 Altura Média das Ondas	30
2.4.8 Amplitude/altura das Marés	30
3 APLICAÇÃO AO TRECHO ENTRE MIRA E SÃO PEDRO DE MOEL.....	32
3.1 Algoritmo de Cálculo	32

3.2 Vulnerabilidade ao longo da linha de costa.....	35
3.3 Cálculo do Índice de Vulnerabilidade Costeira dos parâmetros físicos	39
4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	41
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
6 CONCLUSÕES	47
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
ANEXOS	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Praia de Mira: efeitos das tempestades no Inverno de 2003, onde se registou a erosão de uma enorme duna, sendo visível, em cima, duas construções que foram “engolidas” pelo mar num curto espaço de tempo (Mota, 2003).	2
Figura 1.2: S. Pedro de Moel (Penedo da Saudade): erosão das arribas (Mota, 2003).	3
Figura 2.1: Localização da área de estudo (Praia de Mira à Praia de São Pedro de Moel).	17
Figura 2.2: Praia de Mira na frente urbana (esquerda), e o sistema dunar da praia de Mira (direita) (Dezembro, 2012).	18
Figura 2.3: Praia da Tocha na frente urbana (direita), e a praia de Quiaios (esquerda) (Dezembro 2012).	19
Figura 2.4: Serra da Boa Viagem (Dezembro, 2012).	19
Figura 2.5: Praia de Buarcos na frente urbana (Dezembro, 2012).	20
Figura 2.6: Praia Cova da Gala (esquerda) e a praia da Leirosa (direita) (Dezembro, 2012). .	20
Figura 2.7: Frente urbana da praia de Pedrogão (esquerda) e frente urbana da praia da Vieira (direita) (Dezembro, 2012).	21
Figura 2.8: Arribas de São Pedro de Moel (esquerda), praia Velha (direita) (Dezembro, 2012).	21
Figura 2.9: Carta geológica de Portugal (ex-Instituto Geológico e Mineiro, atual INETI).	22
Figura 2.10: Esporão da praia Costa de Lavos (Dezembro, 2012).	25
Figura 2.11: Agitação marítima (direção de onda) na costa oeste portuguesa (Coelho, 2005). Dados do Instituto Hidrográfico para a bóia de Leixões, de 1993 a 2005.	28
Figura 2.12: Evolução do nível médio do mar em Aveiro entre 1976 e 2005 (CEDRU, 2011).	29
Figura 2.13: Alturas de onda significativa (Coelho, 2005). Dados do Instituto Hidrográfico para a bóia de Leixões, de 1981 a 2003.	30
Figura 3.1: Localização da área de estudo, incluindo as células de grade e a linha de costa. .	34
Figura 3.2: Vulnerabilidade da linha de costa relativamente à geomorfologia (à esquerda) e à geologia (à direita).	35
Figura 3.3: Vulnerabilidades da linha de costa relativamente à exposição litoral (à esquerda) e à cota topográfica (à direita).	36

Figura 3.4: Vulnerabilidades da linha de costa relativamente à erosão costeira (à esquerda) e ao aumento do nível do mar (à direita).....	37
Figura 3.5: Vulnerabilidades da linha de costa relativamente à altura de onda (à esquerda) e à altura de maré (à direita).....	38
Figura 4.1: Mapa de vulnerabilidade da linha de costa relativo ao Índice de Vulnerabilidade Costeira.....	42

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1: Classificação, segundo AVVA, dos atributos naturais (Andrade e Freitas, 2002).	8
Quadro 2.2: Classificação, pela técnica AVVA, dos atributos sócio-económicos (Andrade e Freitas, 2002).	8
Quadro 2.3: Índices de classificação da vulnerabilidade da costa à perda de território. O índice aumenta com o aumento das vulnerabilidades da costa (adaptado de Andrade e Freitas, 2002).	10
Quadro 2.4: Índices de classificação do valor da ocupação do solo (adaptado de Andrade e Freitas 2002).	10
Quadro 2.5: Índices de classificação de riscos (Andrade e Freitas, 2002).	11
Quadro 2.6: Classificação da vulnerabilidade quanto a cota topográfica (Coelho, 2005).	12
Quadro 2.7: Classificação da vulnerabilidade quanto a distância à linha de costa (Coelho, 2005).	12
Quadro 2.8: Classificação da vulnerabilidade quanto à característica geológica (Coelho, 2005).	12
Quadro 2.9: Classificação da vulnerabilidade quanto à característica geomorfológica (Coelho, 2005).	13
Quadro 2.10: Classificação da vulnerabilidade quanto ao revestimento do solo (Coelho, 2005).	13
Quadro 2.11: Classificação da vulnerabilidade quanto à altura de maré.	13
Quadro 2.12: Classificação da vulnerabilidade quanto à Altura de onda (Coelho, 2005).	13
Quadro 2.13: Classificação da vulnerabilidade quanto às taxas de erosão ou acreção (Coelho, 2005).	14
Quadro 2.14: Síntese relativa à erosão nos troços costeiros, nos últimos 5 anos (CEDRU, 2011).	25
Quadro 2.15: Taxas de recuo da linha de costa (metros/ano – período mais recente registado).	27
Quadro 3.1: Classificação do índice de vulnerabilidade costeira (IVC).	33
Quadro 3.2: Variáveis e fórmula utilizada na determinação dos índices de vulnerabilidade para cada célula de grade.	34

Quadro 3.3: Cálculo do índice de vulnerabilidade costeira (IVC).	39
Quadro 3.4: Classificação dos grupos de risco de IVC.	40

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento e Objetivos

As zonas costeiras são comumente áreas altamente energéticas, muito ativas e dinamicamente complexas. De um modo geral, como se verifica ao longo da costa portuguesa, encerram extensas zonas de grande instabilidade e equilíbrio precário.

A costa entre Aveiro (Praia da Barra) e S. Pedro de Moel constitui um dos maiores desafios do litoral nacional em termos de gestão integrada de recursos e atividades, e de minimização de riscos sobre as pessoas e bens. Este trecho da costa portuguesa é caracterizado por uma riqueza ecológica, elevada concentração populacional, grande importância das infraestruturas portuárias de Aveiro e Figueira da Foz e reconhecida qualidade das várias praias existentes. Contudo, manifesta-se uma grande fragilidade geológica que, aliada a uma agitação marítima de rumos muito abertos de elevada energia, tende a provocar uma erosão de grande intensidade ao longo de grande parte da costa. É neste trecho de zona costeira que vai incidir o estudo a realizar no âmbito desta dissertação.

Atualmente, são inúmeras as notícias e os relatos de incidentes ao longo de toda a zona costeira portuguesa, nomeadamente relativos a inundações, destruição de infra-estruturas, rutura e galgamento de dunas, erosão costeira, destruição de habitats e perda de biodiversidade tanto ao nível da fauna como da flora (Barbosa, 2003). Os processos de erosão costeira têm consequências sobre os ecossistemas que, por sua vez, apresentam diversos valores e desempenham várias funções (Constanza et al., 1997; Groot et al., 2002). No entanto, esta problemática não é exclusiva do século XXI, mas tem vindo a aumentar gradualmente com o passar dos anos (Barbosa, 2003).

Segundo o Eurovision (2006), a intervenção humana sobre as zonas costeiras, em particular a urbanização, transformou o fenómeno natural de erosão num problema de intensidade crescente. Em muitas áreas, as consequências da erosão foram agravadas pelas atividades humanas e pela edificação de frentes marítimas progressivamente mais próximas da linha de costa, sobre dunas e arribas. Os ecossistemas dinâmicos e as zonas costeiras não artificializadas tendem a desaparecer gradualmente, sendo a escassez de sedimentos um contributo muito grande para o aumento dos efeitos da erosão. Em muitos locais a pressão sobre a zona costeira existente é uma manifestação do fenómeno.

O processo de erosão costeira é dos mais mediáticos problemas que assolam as zonas costeiras. Segundo Dias e Pereira (1994), o processo erosivo generalizado e o consequente recuo da linha de costa devem-se a uma conjuntura de fatores, entre os quais a elevação do nível médio das águas do mar, a diminuição da quantidade de sedimentos fornecidos ao litoral, a degradação antropogénica das estruturas naturais, ou as obras pesadas da engenharia costeira. De uma maneira geral, toda a orla costeira encerra um potencial de vulnerabilidade às ações energéticas do mar. A variação deste potencial prende-se com as características físicas de cada local. A transformação potencial de vulnerabilidade para uma situação de risco depende da presença de pessoas.

A contínua destruição de dunas e da sua vegetação pelo pisoteio e pela construção desenfreada de habitações e parques de estacionamento improvisados impedem que haja acumulação de areias, contribuindo ainda mais para a instabilidade dessas defesas naturais. Como mostra a Figura 1.1, uma situação de grande fragilidade verifica-se na praia de Mira.



Figura 1.1: Praia de Mira: efeitos das tempestades no Inverno de 2003, onde se registou a erosão de uma enorme duna, sendo visível, em cima, duas construções que foram “engolidas” pelo mar num curto espaço de tempo (Mota, 2003).

De uma forma geral, a habitual resposta para contrariar a tendência erosiva e estabilizar o troço costeiro é a construção de grandes obras de engenharia (esporões, quebramares, paredões, etc.), de custos elevadíssimos mas que pouco resolvem, ou fazendo a alimentação artificial de areia entre esporões e o restabelecimento do cordão dunar frontal, adiando por vezes o problema. Na Figura 1.2, são visíveis as arribas de São Pedro de Moel que estão sujeitas a erosão.



Figura 1.2: S. Pedro de Moel (Penedo da Saudade): erosão das arribas (Mota, 2003).

Para abordar a ameaça permanente que representa a erosão costeira e a subida no nível médio do mar, foram adotadas várias abordagens diferentes para avaliar a vulnerabilidade das costas marítimas (Nicholls et al., 2007). A identificação das secções da costa susceptíveis ao aumento do nível do mar torna-se fulcral para uma gestão eficaz da zona costeira, a fim de aumentar a resistência e deste modo reduzir os impactos das mudanças climáticas sobre infra-estruturas e os efeitos adversos resultantes de atividades antropogénicas.

As várias abordagens constantes na literatura para a análise da vulnerabilidade utilizam as características físicas do sistema costeiro para classificar a costa, produzindo um ranking de secções da costa em termos de sensibilidade a um aumento relativo do nível do mar (Thieler e Hammar-Klose, 1999). Um índice, com base em variáveis físicas, tais como a geologia, a geomorfologia, a elevação do nível do mar, o relevo, a maré e as ondas, tem sido usado para avaliar a vulnerabilidade das zonas costeiras nos EUA, Europa, Canadá, Brasil, Índia e Argentina (Gornitz 1991; Shaw et al., 1998; Thieler e Hammar-Klose, 1999; Pendleton et al., 2004; Doukakis 2005; Diez et al., 2007; Nageswara Rao et al., 2008). Índices de vulnerabilidade deste tipo não são comuns em Portugal, mesmo em regiões onde estes tipos de índices têm sido usados raramente foram testados por comparação com dados observados.

O objetivo desta dissertação é avaliar o grau de suscetibilidade de vários trechos costeiros da zona centro de Portugal, de uma forma quantitativa, para o aumento do nível médio do mar, utilizando um tipo de abordagem baseado num índice de vulnerabilidade. Este estudo descreve uma modificação dos métodos já utilizados em Portugal, uma vez que se visa

determinar um índice de vulnerabilidade costeira relativo a parâmetros físicos naturais, apesar de alguns destes parâmetros incluírem implicitamente a influência humana.

A vulnerabilidade é geralmente considerada em termos de pessoas, sendo vulnerável a riscos específicos e, portanto, requer uma consideração de fatores sócio-económicos (Coelho, 2005). Pode ser definida como um fator de risco interno do objeto ou sistema que está exposto a um risco e corresponde à sua predisposição intrínseca de ser afetado, ou seja suscetível a dano (Kumar et al., 2010).

Por outro lado, a vulnerabilidade pode ser entendida, em termos gerais, como um fator de risco interno, que é matematicamente expresso como a viabilidade do sujeito exposto ou do sistema puderem ser afetados pelo fenómeno que caracteriza o perigo. Assim, o risco é a perda potencial para o sujeito exposto ou sistema, resultante de uma avaliação dos elementos com determinadas vulnerabilidades. Neste sentido, o risco pode ser expresso de uma forma matemática como a probabilidade de ultrapassar um determinado nível económico, social, ou a consequência do ambiente de um determinado local e durante um determinado período. Embora viável, a abordagem quantitativa não é preditiva; em geral, a vulnerabilidade relativa dos diferentes ambientes costeiros ao nível do mar é quantificada por uma escala de vulnerabilidades com informações básicas sobre a costa (Kumar et al., 2010).

Esta metodologia para a determinação do IVC é passível de aplicação em qualquer configuração costeira porque, independentemente do fato de o nível de água subir ou descer, os fatores que são importantes para a classificação e evolução da costa são geralmente os mesmos. Este método caracteriza a costa utilizando critérios simples e os dados numéricos não podem ser relacionados diretamente com determinados efeitos físicos. O IVC descreve uma série de valores numéricos de vulnerabilidade (baixa ou alta) para avaliar a suscetibilidade potencial de uma costa litoral aos fatores naturais e também aos fatores com “mão” humana, que por sua vez vão influenciar à posteriori os fatores naturais (físicos). Estes fatores de influência humana têm um peso significativo, no que diz respeito à erosão costeira, devido às obras de proteção, à regularização dos rios e ao planeamento urbano do litoral.

Este estudo propõe uma metodologia para o cálculo do índice de vulnerabilidade costeira (IVC) ao longo da linha de costa entre Mira e São Pedro de Moel. A linha de costa é a faixa de área terrestre junto à margem do oceano ou mar que pode ser caracterizada por vários parâmetros físicos, que irão ser devidamente abordados e analisados para que se possa cumprir o objetivo desta dissertação.

1.2 Organização da dissertação

Neste capítulo, após o pequeno enquadramento apresentado e caracterização dos objetivos pretendidos, refere-se agora a sequência dos trabalhos desenvolvidos e de que forma estes se apresentam nos capítulos seguintes.

Assim, o capítulo 2 apresenta uma sucinta abordagem à génese da atual orla costeira da região centro de Portugal, as metodologias de análise de vulnerabilidades e riscos e os diferentes critérios de classificação de parâmetros. Deixa-se para a restante exposição do trabalho a análise dos fenómenos envolvidos, de forma a tentar projeções sobre os comportamentos futuros, em face das diferentes intervenções que se poderão realizar. Ainda neste capítulo será abordada uma caracterização física da zona em estudo, feita por troços.

O capítulo 3 destina-se essencialmente ao estudo da vulnerabilidade da zona em análise, em termos de variáveis quantificáveis, compreendendo 5 estruturais e 3 variáveis de processo, que serão apresentadas mais à frente. Será feita também a descrição pormenorizada do tipo de estudo efetuado e todas as justificações a eventuais pressupostos. Neste capítulo serão ainda apresentados os resultados obtidos.

O capítulo 4 comporta análises e discussões detalhadas dos resultados obtidos.

O capítulo 5 versa sumariamente algumas considerações sobre o estudo elaborado. Analisa-se criticamente a metodologia seguida, discutem-se os pressupostos inerentes à dissertação e apontam-se recomendações e possíveis desenvolvimentos futuros decorrentes da investigação.

Por último, o capítulo 6 resume o essencial do trabalho efetuado.

.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Enquadramento Histórico

Nos últimos três mil anos, o litoral português ganhou espaço em direção ao oceano. Mas, nas últimas décadas esta tendência inverteu-se, derivado de diversos fatores, como a subida do nível médio das águas do mar e a intensificação ou massificação urbanística da zona costeira (Dias, 1993).

Apona-se como exemplo disso, a formação da restinga de Aveiro entre os séculos X e XVII, a qual começa a formar-se a Norte (sensivelmente junto à atual cidade de Espinho) e vai evoluindo para sul até que confina com a presente laguna, datada do século XVIII. A restante evolução da ria até meados do século XX, que envolveu a abertura e encerramento de diversas barras na restinga, é complementada com a mobilização eólica dos sedimentos de origem marinha e a sedimentação provocada pelas linhas de água afluentes à laguna. Toda a restante orla costeira da região centro, salvo os afloramentos rochosos da Serra da Boa Viagem e de S. Pedro de Moel, tiveram formação semelhante, sendo conhecidos os problemas de excesso de areias na costa desde os tempos do rei D. Dinis, que os solucionou mandando plantar o Pinhal de Leiria e cuja metodologia teve continuidade até meados do século XX (Lopes, 2003).

Segundo Lopes (2003), a orla costeira da região centro foi predominantemente modelada pelo balanço entre sedimentos que afluíram à costa e a capacidade de transporte do mar, o que correspondeu, num passado recente, a um aumento do território, muito certamente por ação da desflorestação e das práticas agrícolas nas bacias hidrográficas a montante, durante séculos.

A partir de meados do século passado, as obras de regularização dos rios, as quais fizeram diminuir a frequência dos picos de cheia, e as próprias barragens, que em alguns casos retêm de forma significativa o caudal sólido, bem como as obras portuárias e, sobretudo, a extração generalizada e descontrolada de sedimentos a partir de 1975 fez com que se alterasse o normal transporte de sedimentos (até então). Como a capacidade erosiva do mar se manteve e, a juntar, as alterações climáticas com implicações na subida do nível médio do mar e os ventos dominantes, o balanço sedimentar inverteu-se dando origem à transgressão marinha (Lopes, 2003).

Em 1990, o Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) expôs, pela primeira vez, as zonas costeiras como áreas bastante vulneráveis às alterações climáticas, nomeadamente no

que se refere à subida do nível médio das águas do mar, proclamando uma atenção internacional para este problema (Alves, 2006).

O fluxo natural de areias está cada vez mais privado da sua essência, devido à extração de areias de rios e praias, à regularização dos caudais fluviais e ao efeito de filtro das barragens que reduzem o transporte e a alimentação de sedimentos necessários à costa. A contínua destruição do sistema dunar e da sua vegetação impedem a acumulação de areias, contribuindo ainda mais para a instabilidade dessas defesas naturais (Coelho et al., 2010).

Como facilmente se entende, e segundo Coelho (2005), a evolução da linha de costa está relacionada com o transporte de sedimentos, que diretamente condiciona a morfologia do litoral. Tal como as ações que conduzem ao transporte sedimentar, os processos de transporte são de importância relevante na caracterização da zona costeira.

A erosão costeira está, também, associada a fenómenos físicos e à capacidade da intervenção humana. As causas associam-se à subida generalizada do nível médio das águas do mar, a movimentos de tectónica e a possíveis alterações climatológicas (Velo-Gomes, 2007). As causas mais recentes são associadas ao enfraquecimento das fontes aluvionares, à ocupação humana (sobre dunas, praias e arribas), à construção de quebramares portuários (Viana do Castelo, Aveiro, Figueira da Foz e Vila Moura, por exemplo), à implantação de esporões e de obras aderentes, e à fragilização de dunas (Velo-Gomes, 2007).

2.2 Métodos e Estratégias de Análise de Vulnerabilidades

2.2.1 “Aerial Videotape-Assisted Vulnerability Analysis (AVVA)”

Segundo Coelho (2005), o AVVA é um método que foi considerado como rápido e de baixo custo, para fazer face à frequente falta de dados nos estudos das zonas costeiras. É semi-quantitativo e qualitativo, pelo que a experiência e capacidade de análise das equipas que o utilizam é fundamental, sendo este o aspeto que mais limita a sua utilização e validade generalizada (Andrade e Freitas 2003). Como o próprio nome indica, o método consiste na análise das vulnerabilidades com base numa observação aérea das regiões costeiras. Eventualmente, os registos aéreos podem ser melhorados ou validados com a utilização de mapas topográficos e geológicos.

Andrade e Freitas (2002) organizaram dados recolhidos pela técnica AVVA, classificando-os em atributos naturais (Quadro 2.1) e atributos sócio-económicos (Quadro 2.2). Os atributos naturais de classificação referem-se à geomorfologia costeira, à geomorfologia da zona terrestre adjacente e às tendências de evolução.

Quadro 2.1: Classificação, segundo AVVA, dos atributos naturais (Andrade e Freitas, 2002).

Atributo	Características
Geomorfologia costeira	Praias
	Lagunas e ambientes húmidos
	Arribas
	Frentes defendidas artificialmente
Geomorfologia terrestre	Zonas planas
	Vertentes inclinadas
	Terrenos montanhosos
	Zonas lagunares
Tendência de evolução	Erosão confirmada
	Tendência de erosão
	Acreção, estável ou estabilizada

Quadro 2.2: Classificação, pela técnica AVVA, dos atributos sócio-económicos (Andrade e Freitas, 2002).

Atributo	Características
Estruturas de proteção (se existirem)	Obras longitudinais aderentes
	Muros
	Esporões
	Quebramares
	Portos protegidos
Uso do solo	Urbano/citadino
	Residencial
	Industrial
	Turístico
	Agrícola
	Florestal
	Vegetação rasteira
Árido	
Densidade populacional	Alta >10 hab/km ²
	Baixa <10 hab/km ²
Desenvolvimento costeiro	Alto
	Baixo

A classificação dos atributos sócio-económicos deve referir-se às estruturas de proteção e defesa, ao uso do solo na frente costeira, à densidade populacional e ao nível de desenvolvimento costeiro.

2.2.2 SMART

Segundo Coelho (2005), uma forma prática de aceder ao cálculo de riscos é a técnica SMART (Simple Multi-Attribute Rating Technique). Esta técnica, exposta de forma detalhada em Goodwin e Wright (1991), e segundo Andrade e Freitas (2002), provou ser aplicável a diversas situações de classificação de vulnerabilidades e riscos associados a problemas costeiros. Consiste na divisão do domínio de estudo em pequenas células preferencialmente da mesma dimensão, procedendo-se ao tratamento e análise de cada uma em separada. Devem estabelecer-se listas de atributos relevantes para o problema. Assim, cada célula é passível de ser caracterizada por um valor (qualitativo ou quantitativo, podendo este último ser discreto ou contínuo). Durante a fase do processo deve ser efetuada uma análise cuidada e que evite redundâncias (Andrade e Freitas, 2002).

Na técnica de classificação SMART, a eliminação de valores extremos que desequilibrem a classificação de cada atributo é o passo seguinte do processo e pode ser efetuado por uma análise de normalização estatística com uma aproximação de curvas de distribuição normal, se o número de diferentes células em análise for suficiente e assim o permitir (Andrade e Freitas, 2002).

A agregação de resultados de cada célula, por adição ou multiplicação, permite a combinação de uma multiplicidade de atributos e, assim, uma aproximação de primeira ordem à classificação de vulnerabilidades e riscos. A tradução e representação dos resultados, por via de gráficos ou mapas, são fáceis de executar (Andrade e Freitas, 2002).

A aplicação desta técnica, feita por Andrade e Freitas (2002), à costa portuguesa, para riscos de subida do nível do mar, corresponde à reorganização dos dados recolhidos pela técnica AVVA, agrupando-os em quatro atributos relevantes para as vulnerabilidades costeiras, utilizando uma aproximação SMART (Quadros 2.3 e 2.4).

Quadro 2.3: Índices de classificação da vulnerabilidade da costa à perda de território. O índice aumenta com o aumento das vulnerabilidades da costa (adaptado de Andrade e Freitas, 2002).

Atributo	Características	Índice
Obras de defesa	Sem proteção	4
	Quebramares	3
	Obras aderentes	2
	Pontos protegidos	1
Tendência de evolução	Erosão costeira	3
	Tendência de erosão	2
	Acreção, estável ou estabilizada	1

Quadro 2.4: Índices de classificação do valor da ocupação do solo (adaptado de Andrade e Freitas 2002).

Atributo		Índice
Densidade populacional	Alta > 10 hab/Km ²	2
	Baixa < 10 hab/km ²	1
Desenvolvimento costeiro	Alto	2
	Baixo	1

Depois de agregar a distribuição do risco de perda de território devido à subida do nível do mar com o valor da ocupação da costa, é feita uma abordagem tipo SMART. O risco foi classificado em 5 classes, definidas pelos intervalos indicados no Quadro 2.5, correspondentes a uma normalização estatística. A informação é relativa à área em análise (costa portuguesa) e tem como base uma média nacional.

Quadro 2.5: Índices de classificação de riscos (Andrade e Freitas, 2002).

Classe	Definição dos intervalos	Valores standard	Índice
Muito Baixo	$X_i \leq X_{\text{médio}} - 1.6\sigma$	$] -\infty ; -4.05[$	1
Baixo	$X_{\text{médio}} - 1.6\sigma < X_i$	$] -4.05 ; -1.28[$	2
	$X_{\text{médio}} - 0.5\sigma \geq X_i$		
Médio	$X_{\text{médio}} - 0.5\sigma < X_i$	$] -1.28 ; 1.26[$	3
	$X_{\text{médio}} + 0.5\sigma \geq X_i$		
Alto	$X_{\text{médio}} + 0.5\sigma < X_i$	$] 1.26 ; 4.04[$	4
	$X_{\text{médio}} - 1.6\sigma \geq X_i$		
Muito Alto	$X_i \geq X_{\text{médio}} - 1.6\sigma$	$] 4.04 ; \infty [$	5

2.2.3 Metodologia utilizada por Coelho (2005)

Coelho (2005) propôs uma metodologia de análise conjunta de todos os parâmetros de vulnerabilidade. Numa primeira aproximação optou por dividi-los em critérios e manipular cada um deles, após uma classificação de cinco classes, sendo o valor 1 associado a menores vulnerabilidades e o valor 5 atribuído a maiores vulnerabilidades.

Numa segunda aproximação, incorporou os parâmetros num programa de modelação hidromorfológica que possibilita projeções de evolução da costa para diferentes horizontes de projeto, contemplando diversos cenários de ações naturais e antropogénicas.

Os parâmetros de vulnerabilidade que Coelho (2005) considerou numa primeira aproximação, são: topografia, distância à linha de costa, geologia, geomorfologia, revestimento do solo, amplitude de maré e altura significativa de onda (Quadro 2.6 a 2.12).

Quadro 2.6: Classificação da vulnerabilidade quanto a cota topográfica (Coelho, 2005).

Vulnerabilidade	Muito baixa	Baixa	Moderada	Alta	Muito Alta
	1	2	3	4	5
Cota topográfica referida ao ZH (m)	>30	>20 ≤30	>10 ≤20	>5 ≤10	≤5

Quadro 2.7: Classificação da vulnerabilidade quanto a distância à linha de costa (Coelho, 2005).

Vulnerabilidade	Muito baixa	Baixa	Moderada	Alta	Muito Alta
	1	2	3	4	5
Distância à linha de costa (m)	>1000	>200 ≤1000	>50 ≤200	>20 ≤50	≤20

Quadro 2.8: Classificação da vulnerabilidade quanto à característica geológica (Coelho, 2005).

Descrição	Vulnerabilidade
Rochas magmáticas (granito, gabro, basalto, etc.)	1
Rochas metamórficas (xisto, gneisse, mármore, etc.)	2
Rochas sedimentares (calcário, arenito, argilite, etc.)	3
Sedimentos não consolidados de grandes dimensões, litologia variada	4
Sedimentos não consolidados de pequenas dimensões (areias, argilas e siltes)	5

Quadro 2.9: Classificação da vulnerabilidade quanto à característica geomorfológica (Coelho, 2005).

Descrição	Vulnerabilidade
Montanha	1
Arribas rochosas	2
Arribas erodíveis, praias abrigadas	3
Praias expostas, planícies	4
Dunas, restingas, estuários, aluviões, lagunas	5

Quadro 2.10: Classificação da vulnerabilidade quanto ao revestimento do solo (Coelho, 2005).

Descrição	Vulnerabilidade
Floresta	1
Vegetação rasteira, solo cultivado e jardins	2
Solo não revestido	3
Urbanizado rural	4
Urbanizado ou industrial	5

Quadro 2.11: Classificação da vulnerabilidade quanto à altura de maré.

Vulnerabilidade	Muito baixa	Baixa	Moderada	Alta	Muito Alta
	1	2	3	4	5
Altura de maré (m)	>1.0	>1.0 ≤2.0	>2.0 ≤3.0	>3.0 ≤4.0	≥4.0

Quadro 2.12: Classificação da vulnerabilidade quanto à Altura de onda (Coelho, 2005).

Vulnerabilidade	Muito baixa	Baixa	Moderada	Alta	Muito Alta
	1	2	3	4	5
Altura significativa de onda (m)	>3.0	>3.0 ≤5.0	>5.0 ≤6.0	>6.0 ≤6.9	≥6.9

Segundo Coelho (2005), na maior parte dos casos, a taxa de erosão/acreção pretende “resumir” o acumular do processo de dinâmica da costa ao longo do tempo. A precisão deste “resumo” depende da precisão nas medições da linha de costa, da variação temporal da linha de costa, do número de pontos com medições usadas no cálculo da taxa, da proximidade temporal entre medições, da variação temporal das tendências de evolução, da data de início de aquisição de dados e do método utilizado na cálculo da taxa. Se a variação da costa está a seguir uma tendência uniforme, as variações temporais na aquisição de dados não são importantes e a precisão final na determinação da taxa pode ser alta, mas na realidade, poucas são as linhas de costa com esse comportamento. O primeiro passo para a determinação das taxas de erosão ou acreção é o da demarcação e medição da posição da linha de costa, existindo numerosos processos, baseados em fotografias aéreas, mapas, cartas náuticas e perfis transversais.

Gornitz et al. (1997) propõem uma divisão de vulnerabilidades em função das taxas de erosão e acreção. A classificação mais baixa de vulnerabilidades é atribuída para taxas de acreção superiores a dois metros por ano e a classificação mais alta corresponde a taxas de erosão superiores a dois metros por ano. As classificações intermédias são definidas por intervalos de apenas um metro em cada classe de taxa de erosão ou acreção anual. O Quadro 2.13 refere-se à classificação apresentada em Coelho (2005).

Quadro 2.13: Classificação da vulnerabilidade quanto às taxas de erosão ou acreção (Coelho, 2005).

Vulnerabilidade	Muito baixa	Baixa	Moderada	Alta	Muito Alta
	1	2	3	4	5
Taxa de erosão/acreção (m/ano)	>0 acreção	>-1 ≤0	>-3 ≤-1	>-5 ≤-3	≤-5 erosão

2.3 Cálculo de Índices de Vulnerabilidade Costeira

O cálculo de índices de vulnerabilidade é uma metodologia já utilizada em alguns países (já referidos anteriormente) por diversos autores. No essencial, são adotadas as duas metodologias que se expõem em seguida.

A primeira metodologia baseia-se no trabalho realizado por Kumar et al. (2010), que consistiu no cálculo do índice de vulnerabilidade costeira na costa litoral de Orissa (Índia) tendo em

conta vários parâmetros físicos (8 parâmetros físicos). Estes parâmetros são classificados de 1 (vulnerabilidade muito baixa) a 5 (vulnerabilidade muito elevada) dependendo do potencial da sua magnitude para a contribuição de mudanças físicas na costa. Este tipo de índice de vulnerabilidade, que é semelhante ao utilizado por Thieler (2000), Thieler e Hammar-Klose (1999), é calculado usando a seguinte expressão:

$$IVC = \sqrt{\frac{a*b*c*d*e*f*g*h}{8}} \quad (2.1)$$

- a = Classificação de risco atribuída à alteração do litoral;
- b = Classificação de risco atribuída à variação do nível do mar;
- c = Classificação de risco atribuída à inclinação da costa;
- d = Classificação de risco atribuída à altura de onda;
- e = Classificação de risco atribuída à amplitude/altura de marés;
- f = Classificação de risco atribuída à elevação/cota do litoral;
- g = Classificação de risco atribuída à geomorfologia costeira;
- h = Classificação de risco atribuída à altura de chegada de um tsunami.

A segunda metodologia usada para o cálculo do índice de vulnerabilidade costeira baseia-se no trabalho realizado por Gülizar Özyurt e Aysen Ergin (2010) em Göksu Delta (Turquia), aplicada a uma península de 10000 km². Este IVC foi desenvolvido tendo em conta parâmetros físicos da zona de estudo e também parâmetros de influência humana.

À luz das discussões sobre as limitações (não considerado a influência humana) e a aplicabilidade (apenas aplicável as zonas do litoral) do estudo efetuado por Thieler e Hammar-Klose (2000), Gülizar Özyurt e Aysen Ergin (2010) decidiram que 12 parâmetros físicos e 7 parâmetros de influência humana seriam suficientes para aumentar a qualidade da avaliação e assim garantir um índice de vulnerabilidade costeira que permite mitigar os potenciais efeitos de um desastre iminente.

Os parâmetros físicos considerados são:

- Subida do nível do mar;
- Geomorfologia;
- Inclinação costeira;
- Altura de onda;
- Balanço sedimentar;
- Amplitude/altura de maré;

- Proximidade à costa;
- Tipo de aquífero;
- Condutividade hidráulica;
- Profundidade do nível do lençol freático acima do mar;
- Descarga do caudal no rio;
- Profundidade a jusante da água;

Os parâmetros de influência humana são:

- Redução do fornecimento de sedimento;
- Regulação do fluxo do rio;
- Fachada de engenharia;
- Consumo de águas subterrâneas;
- Tipo de uso do solo;
- Degradação de proteção natural;
- Estruturas de proteção costeira.

Para o cálculo deste índice de vulnerabilidade, tanto os parâmetros físicos como os parâmetros de influência humana são classificados de 1 (vulnerabilidade muito baixa) a 5 (vulnerabilidade muito elevada), dependendo do potencial da sua magnitude para a contribuição de mudanças físicas na área de estudo (classificação à semelhança do estudo descrito em anteriormente). O índice é calculado da seguinte forma:

$$IVC = \frac{(0.5 * \sum_1^n PF * R) + (0.5 * \sum_1^m PH * R)}{IVC(\text{menos vulnerável})} \quad (2.2)$$

PF = parâmetros físicos;

PH = parâmetros de influência humana;

R = classificação dos parâmetros;

N = número de parâmetros físicos;

M = número de parâmetros de influência humana;

IVC (menos vulnerável) = Cálculo do caso menos vulnerável para um impacto físico.

No âmbito desta dissertação será aplicada a primeira metodologia para o cálculo do IVC, traduzida pela equação (2.1), com redefinição dos parâmetros a utilizar em função das características do trecho a analisar, apresentados no capítulo 3.

2.4 Caracterização da zona de estudo

Na Figura 2.1 é apresentada a zona onde se irá realizar o estudo proposto.



Figura 2.1: Localização da área de estudo (Praia de Mira à Praia de São Pedro de Moel).

Para a devida caracterização da zona de estudo foram feitas visitas de campo e teve-se em conta o levantamento das características do terreno feito pela equipa técnica do CEDRU (Centro de Estudos e Desenvolvimento Regional e Urbano, LDA) para a realização do novo POOC (2011) da região centro (Ovar-Marinha grande), que ainda está em revisão. Outros estudos sobre a área em questão que pudessem ajudar na recolha de características e também as cartas topográficas referentes ao trecho costeiro em análise foram tidas em conta. Para algumas situações, foram analisadas imagens satélite a partir do *Google Earth*.

2.4.1 Geomorfologia

Da área de estudo faz parte uma extensa planície costeira, com orientação NW-SE, de baixa altitude e de grande uniformidade topográfica, apenas interrompida pela Serra da Boa Viagem (Figueira da Foz), cuja cota máxima não ultrapassa os 258 metros. Devido às características

geomorfológicas, toda a área está classificada como uma costa arenosa, exceto uma pequena extensão de território do cabo Mondego (extremo oeste da Serra da Boa Viagem), que tem troços de natureza rochosa, o promontório de Pedrógão e o troço costeiro entre o limite sul da Praia Velha e a zona de São Pedro de Moel (CEDRU, 2011).

A Praia de Mira é formada por areias médias a grosseiras, na zona emersa, e por areias médias a finas na zona imersa. O perfil de praia possui uma variação sazonal e características morfológicas intermédias. As estruturas longitudinais da Praia da Barra induzem alterações no comportamento morfodinâmico das praias. A largura é relativamente pequena na parte norte e centro do troço, aumentando ligeiramente para sul por efeito de acumulação a barlar dos esporões da praia de Mira (CEDRU, 2011). Na Figura 2.2 apresentam-se duas imagens referentes à praia de Mira.



Figura 2.2: Praia de Mira na frente urbana (esquerda), e o sistema dunar da praia de Mira (direita) (Dezembro, 2012).

No troço costeiro entre a Praia de Mira e o cabo Mondego, a transição da praia para a planície costeira é feita por arriba talhada na duna, na zona imediatamente a sul da Praia de Mira, e por uma sucessão de dunas originadas pela acumulação de areias nos tufos de vegetação e dunas com morfologia indiferenciada, sem arriba, na parte central e sul do troço. No limite sul, a praia contacta com a arriba rochosa que constitui a faixa costeira. O perfil de praia tem uma variação sazonal com características intermédias. Sendo estas praias formadas por areias médias e grosseiras na zona emersa e areias médias a areias finas na zona imersa. A sua largura é relativamente grande ao longo de todo o troço (CEDRU, 2011). Em baixo (Figura 2.3) são apresentadas imagens referentes ao areal da praia da Tocha e de Quiaios.



Figura 2.3: Praia da Tocha na frente urbana (direita), e a praia de Quiaios (esquerda)
(Dezembro 2012).

A zona costeira entre o cabo Mondego e a Figueira da Foz caracteriza-se por uma costa rochosa, com arribas de abrasão, a norte, transitando para costa arenosa semi-encastada na parte sul (Buarcos – Figueira). O cabo Mondego constitui o relevo mais importante neste troço, sendo um promontório natural que apresenta arribas ativas e escarpadas a sul e a oeste, induzindo uma inflexão local na orientação da linha de costa. A faixa arenosa é quase inexistente junto ao cabo Mondego, alargando progressivamente para sul, por efeito da retenção de sedimentos induzida pelo molhe norte do porto a Figueira da Foz. As praias são formadas por areias médias e grosseiras na parte emersa, existindo no entanto zonas de cascalho junto ao cabo Mondego. O perfil da praia possui variação sazonal e características intermédias (CEDRU, 2011). Em seguida apresentam-se imagens referentes à serra da Boa Viagem (Figura 2.4) e à praia de Buarcos (Figura 2.5).



Figura 2.4: Serra da Boa Viagem (Dezembro, 2012).

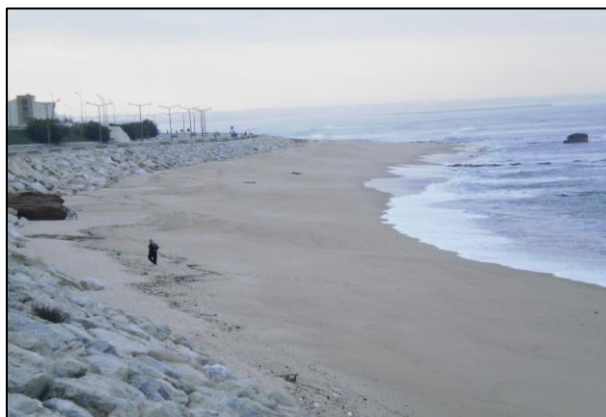


Figura 2.5: Praia de Buarcos na frente urbana (Dezembro, 2012).

No troço costeiro entre a Figueira da Foz e a Praia Velha (Figura 2.6 a Figura 2.8), a transição da praia para a faixa costeira faz-se através de uma arriba talhada no cordão dunar frontal na zona sul da Figueira da Foz, de Pedrogão e da Vieira de Leiria, e por sucessão natural de dunas embrionárias e dunas, sem arriba nos restantes troços. As praias são formadas por areias médias e grosseiras na parte emersa e médias na parte imersa. O perfil de praia possui uma variação sazonal e morfologia intermédia. A largura é elevada ao longo de todo o setor, com exceção da zona norte e imediatamente a sul da Figueira da Foz (CEDRU, 2011).

No troço costeiro de São Pedro de Moel, caracteriza-se por praias encastradas a semi-encastradas e expostas, associadas a arribas ativas. As praias arenosas encontram-se na dependência direta de ribeiras ou associadas à acumulação sedimentar junto aos promontórios rochosos. As praias são formadas por areias médias a grosseiras. Possuem variação sazonal no perfil e características morfodinâmicas intermédias (CEDRU, 2011).

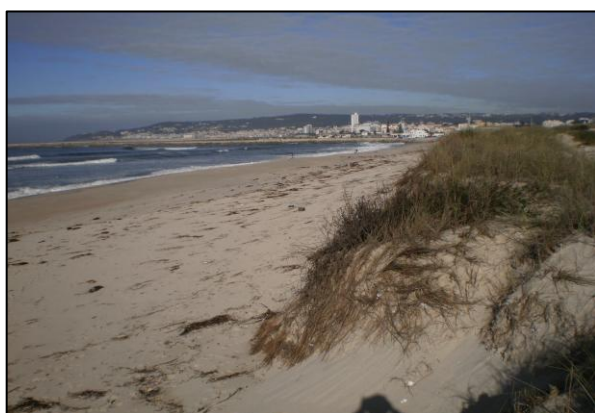


Figura 2.6: Praia Cova da Gala (esquerda) e a praia da Leirosa (direita) (Dezembro, 2012).



Figura 2.7: Frente urbana da praia de Pedrogão (esquerda) e frente urbana da praia da Vieira (direita) (Dezembro, 2012).



Figura 2.8: Arribas de São Pedro de Moel (esquerda), praia Velha (direita) (Dezembro, 2012).

2.4.2 Geologia

A área de estudo insere-se em termos geológicos na Orla Mesoceno-zóica Ocidental sendo caracterizada pela presença de depósitos detríticos de idade cenozóica que assentam discordantemente sobre formações do mesozóico (CEDRU, 2011). Na Figura 2.9 é apresentada a carta geológica de Portugal.

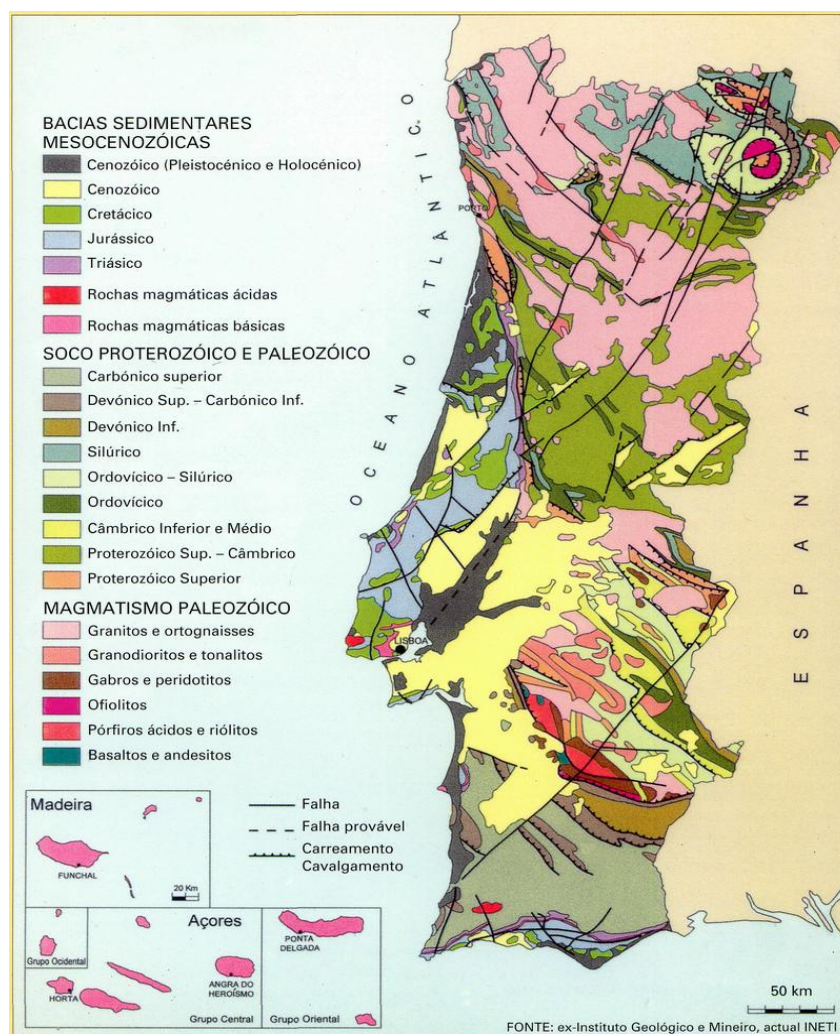


Figura 2.9: Carta geológica de Portugal (ex-Instituto Geológico e Mineiro, actual INETI).

A área é caracterizada pela presença de depósitos detríticos em quase toda a faixa costeira em estudo com exceção da Serra da Boa Viagem. As areias de praia e do cordão litoral frontal constituem os depósitos mais recentes que, em continuidade, se associam a um sistema de dunas internas mais antigas. Nas zonas de Pedrógão e São Pedro de Moel estão à superfície formações carbonatadas e rochas eruptivas em resultado de uma erosão diferencial (CEDRU, 2011).

Na área entre a Praia de Mira e o Cabo Mondego, as areias das dunas são de granulometria fina e bem seleccionadas, correspondendo a um campo de dunas estabilizadas. O sistema de dunas exhibe formas que se ordenam esquematicamente, de este para oeste, em dunas transversas, dunas parabólicas e cordão dunar frontal, sendo que este último apresenta uma morfologia pouco definida e degradada. Nenhuma das morfologias é ativa (CEDRU, 2011).

A sul da Figueira da Foz, as areias de duna cobrem uma extensa faixa, embora edifícios dunares sejam pouco expressivos e mal definidos. Na praia da Vieira é visível à superfície, entre as areias de duna, depósitos de calcários e margas, cascalheiras e areias de antigas praias e arenitos argilosos (CEDRU, 2011).

A Serra da Boa Viagem é constituída por depósitos carbonatados (calcários, calcários margosos e margas) e por arenitos, argilitos e conglomerados subordinados (CEDRU,2011).

As arribas de São Pedro de Moel são talhadas em formações carbonatadas (calcários margosos e margas). Para o interior estão presentes afloramentos descontínuos e geograficamente limitados de margas e calcários e de rochas eruptivas. Os depósitos da plataforma interna são essencialmente de natureza terrígena com o predomínio de quartzo e micas, de grão grosseiro a médio, e de origem fluvial. Uma fonte adicional de sedimentos, embora muito reduzida, provém de organismos marinhos, como os moluscos foraminíferos (CEDRU, 2011).

2.4.3 Alteração do Litoral (erosão ou acreção)

A erosão costeira é sem dúvida dos riscos mais significativos da área costeira em estudo, com uma tendência a acentuar-se. Os troços arenosos têm experimentado, nos últimos anos, uma erosão significativa do cordão dunar, o que contribui para um aumento da vulnerabilidade das áreas adjacentes, enquanto os movimentos de massas estão presentes nos troços rochosos.

Este parâmetro é muito difícil de determinar, uma vez que a erosão é episódica e as fotografias aéreas apenas fornecem um resumo sinóptico no tempo. Vai ser feita de seguida uma síntese relativa à erosão da área em estudo, dividida em troços costeiros, nos últimos 5 anos.

O litoral noroeste português, entre Mira e São Pedro de Moel, caracteriza-se por ser um sistema essencialmente arenoso (como já foi referido anteriormente), sujeito a um clima de agitação marítima muito energético. Apresenta um elevado défice de fornecimento de sedimentos, pelo que a capacidade de transporte sedimentar que resulta da ação das ondas, das correntes e dos ventos, alimenta-se das areias das praias, o que origina um acentuado recuo da linha de costa. A erosão das praias faz com que a posição da linha de costa tenda para uma configuração de equilíbrio, que corresponde a um menor volume de sedimentos em transporte para sotamar, propagando sucessivamente os efeitos erosivos para sul (CEDRU, 2011).

Para a falta de sedimentos na costa portuguesa para além da contribuição natural das ondas, correntes marítimas e ventos, existem também outros fatores muito importantes que são os

principais responsáveis pelo défice sedimentar. As ações sobre os rios, através de construções de barragens, que criam albufeiras a montante, originando grandes reservatórios de águas calmas, onde a velocidade de escoamento não é suficiente para transportar as areias (CEDRU, 2011).

A extração de areias, para comercialização, nos rios e estuários, principalmente para a construção civil, retirou, principalmente no passado recente, um volume importante de sedimentos ao sistema fluvial e costeiro. As dragagens para garantir as necessidades de navegação fluvial também reduziram significativamente os volumes de sedimentos disponíveis (CEDRU, 2011).

Para além das ações feitas por “mão” humana nos rios e estuários, têm sido feitas também intervenções sobre o litoral, como os quebramares e os canais de navegação de acesso aos portos, que são construções necessárias ao funcionamento das estruturas portuárias, mas condicionam o transporte sedimentar, uma vez que funcionam como obstáculos ao seu percurso natural. As obras de defesa costeira, como os esporões e obras longitudinais aderentes construídas com o fim de proteger determinado local, condicionam o transporte sedimentar, ou o volume de areias disponível, tendo impacto nas zonas vizinhas (CEDRU, 2011).

Outro tipo de ação humana que tem contribuído para a erosão são as elevadas pressões urbana e turística que se têm feito sentir no litoral, levando à sua ocupação, em alguns casos sobre as dunas, destruindo uma defesa natural que representava um importante volume de areia disponível para a interação dinâmica com o mar. Este tipo de ocupação mais próxima do mar resulta também na exposição de bens em zonas de risco (CEDRU, 2011).

De referir também que os efeitos das alterações climáticas (efeitos secundários de ações antropogénicas), cujo potencial impacto na subida do mar permite o avanço da linha de costa.

O défice de sedimentos que existe na área de estudo traduz-se em 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. Nesta situação pode referir-se Mira, Cova da Gala, Costa de Lavos, Leirosa e São Pedro de Moel. Na Figura 2.10 é apresentado o exemplo de um esporão situado na praia da Costa de Lavos.



Figura 2.10: Esporão da praia Costa de Lavos (Dezembro, 2012).

No quadro seguinte é feita uma síntese relativa à erosão costeira nos vários trechos da zona de estudo (Quadro 2.14).

Quadro 2.14: Síntese relativa à erosão nos troços costeiros, nos últimos 5 anos (CEDRU, 2011).

Troço costeiro	Estado
Mira	É visível um acentuado recuo da linha de costa, e um grande risco costeiro na Praia de Mira. Forte erosão do cordão dunar frontal onde se localizam arribas talhadas na duna frontal, corredores eólicos e galgamentos oceânicos.
Mira - Palheiro	Verifica-se o desaparecimento do sistema de dunas embrionárias. Existem também neste local arribas talhadas que definem o cordão dunar frontal.
Palheiro - Tocha	Áreas em erosão acentuada com risco pontual na Tocha. A estabilização dos processos erosivos devido à acumulação induzida pelo cabo Mondego. Neste trecho é visível também o desaparecimento do sistema de dunas embrionárias.
Tocha - Quiaios	Sistema de dunas embrionárias fortemente ameaçado, e corredores eólicos.
Quiaios - Cabo Mondego	Áreas em erosão associadas a recuo da linha de costa. Estabilização dos processos erosivos devido à acumulação de sedimentos induzida pelo cabo Mondego. É visível também um sistema de dunas embrionárias ameaçado e corredores eólicos.

Quadro 2.14 (continuação).	
Cabo Mondego - Buarcos	Erosão acentuada a sul do Cabo Mondego. Verifica-se uma perda de praia arenosa e uma exposição do substrato rochoso.
Buarcos – Figueira da Foz	Acreção (aumento do volume e da largura da praia).
Cova da Gala - Costa de Lavos	Muitas áreas em erosão, com recuo muito significativo. Existem também áreas de acreção na dependência da influência de estruturas de engenharia costeira, existindo risco em grande parte das zonas ocupadas, com especial atenção para Gala e Lavos. Erosão do cordão dunar frontal e arribas talhadas na duna em grande parte do setor e corredores eólicos.
Costa de Lavos - Leirosa	Costa em erosão, com recuo importante. Risco elevado na Leirosa. Erosão do cordão dunar frontal. São visíveis arribas talhadas na duna, corredores eólicos e galgamentos oceânicos.
Leirosa - Osso da Baleia	Visível uma erosão muito forte do cordão dunar frontal. Temos uma escarpa de erosão talhada na duna, em grande parte do setor. Corredores eólicos e diminuição efetiva da largura da praia.
Osso da Baleia - Pedrogão	Erosão do cordão dunar frontal em grande parte do setor. São visíveis corredores eólicos e uma diminuição efetiva da largura da praia.
Pedrogão - Vieira	Erosão reduzida, existindo no entanto dois locais onde ocorre erosão por retenção da deriva por estruturas naturais (Pedrogão) ou artificiais (Vieira de Leiria). Perda efetiva do volume de sedimentos na praia, expondo o substrato rochoso, sul do promontório de Pedrogão. Risco nas zonas ocupadas em Pedrogão e Vieira.
Vieira – São Pedro de Moel	Degradação do cordão dunar frontal. Existem corredores eólicos e alguns deles associados a galgamentos oceânicos.
São Pedro de Moel	Costa rochosa com arribas em erosão. Existem riscos acentuados em alguns casos pontuais, associados a ocupações junto dos topos das arribas. Forte erosão junto à base das arribas que limitam a praia semi-encastrada de São Pedro de Moel. Verifica-se uma perda efetiva de praia emersa que, por vezes exhibe o substrato rochoso, embora para este fato contribuam as condições de agitação marítima.

O Quadro 2.15 apresenta as taxas de recuo da linha de costa (m/ano), das várias praias ao longo do trecho em estudo.

Quadro 2.15: Taxas de recuo da linha de costa (metros/ano – período mais recente registado)

Praias	Taxas de recuo da linha de costa (m/ano)
Mira	2.4
Buarcos	5.5
Cova-Gala	3.1
Costa de Lavos	5.0
Leirosa	1.0
Vieira	4.5
São Pedro de Moel	2.0

Os dados relativos ao recuo da linha de costa decorrem da síntese bibliográfica realizada pela equipa técnica do CEDRU para a elaboração do POOC OMG (2011), no domínio da erosão e defesa costeira.

2.4.4 Cota Topográfica

A cota topográfica é dos fatores mais importantes a ser considerado na avaliação do impacto do nível do mar no trecho de costa em estudo (Praia de Mira - São Pedro de Moel). Zonas onde existem encostas íngremes junto ao mar têm uma probabilidade quase nula de sofrerem inundações, enquanto que zonas onde a inclinação é muito reduzida, podem ocorrer inundações logo que haja um aumento significativo do nível do mar.

A elevação topográfica na zona costeira mede-se a partir do nível médio do mar até uma distância de referência adotada. Neste caso, a distância de referência adotada depende da existência de zonas urbanas junto à linha de costa ou não. Para zonas urbanas, a distância será contabilizada entre o nível médio do mar e o início da zona urbana; para zonas não urbanas foi definida uma distância de referência de 50 metros.

Ao longo de todo o trecho em estudo, a cota topográfica não é superior a 10 metros, com exceção da zona junto à Serra da Boa Viagem e em São Pedro de Moel.

2.4.5 Exposição Litoral

A exposição litoral é uma variável referente à orientação da costa em relação à direção de propagação das ondas. Esta característica da costa é importante porque a ação da onda sobre a costa influencia a sua suscetibilidade. A orientação da costa em relação à direção da onda, e a presença ou ausência de promontórios e ilhas, determina-se certos segmentos da linha de costa que são mais expostos a ondas que outros e por consequência, mais ou menos vulneráveis.

Segundo Dinis e Cunha (1998), a costa portuguesa tem uma dinâmica marinha condicionada pela circulação atmosférica a oeste, no Atlântico. Durante quase todo o ano, com o anticiclone próximo dos Açores, existe ondulação de NW. A menos frequente ondulação de W e SSW está associada a focos depressionários e à passagem das respetivas superfícies frontais.

O gráfico apresentado na Figura 2.11 mostra em percentagem a direção da agitação marítima para a bóia de leixões.

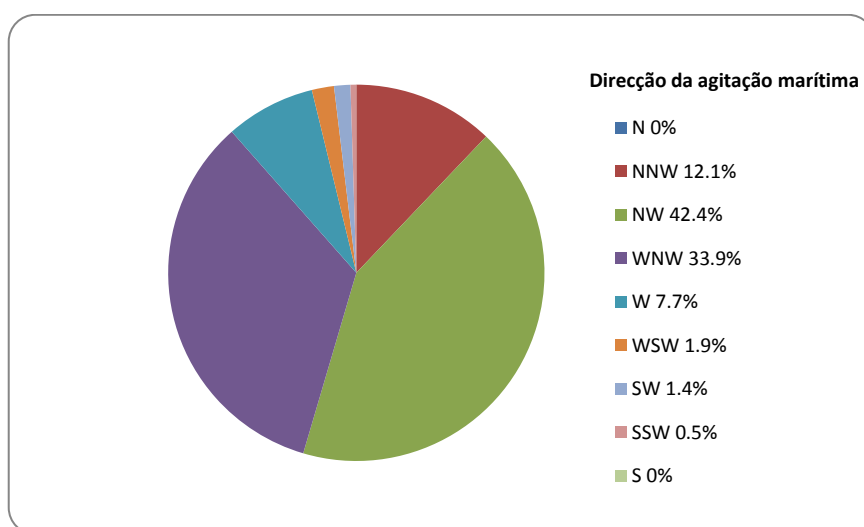


Figura 2.11: Agitação marítima (direção de onda) na costa oeste portuguesa (Coelho, 2005).
Dados do Instituto Hidrográfico para a bóia de Leixões, de 1993 a 2005.

Analisando a distribuição de rumos ao longo dos vários anos em análise, verifica-se uma tendência para a agitação marítima mais frequente ser predominante segundo o setor NW e WNW.

No presente estudo considera-se que todo o trecho tem exposição litoral de NW e WNW, com exceção da zona da Figueira da Foz ao cabo Mondego que está protegida de norte ficando assim mais vulnerável às correntes vindas de SW e W. Todas as outras zonas estão expostas de igual forma a todas as direções que a corrente marítima possa apresentar, sendo as mais significativas as direções já apresentadas (NW e WNW).

2.4.6 Aumento do Nível do Mar

Para além das oscilações do nível do mar de origem astronómica, os registos maregráficos incluem oscilações residuais de origem meteorológica. Essas oscilações resultam da interação da superfície do mar com a atmosfera. Segundo Andrade et al., (2006) a intensidade destas oscilações é tanto mais significativa quanto mais cavada for a depressão de empolamento da superfície do mar, tornando-se particularmente importante em condições de temporal.

Segundo a equipa técnica do CEDRU (2011), no âmbito da realização do POOC OMG (2011), para verificar qual a tendência relativamente ao aumento do nível do mar foram analisados os dados do marégrafo de Aveiro entre 1976 e 2005. O registo maregráfico foi utilizado para as variações temporais do nível do mar (máximo e mínimo). O nível médio do mar em cada ano foi calculado a partir da análise harmónica de séries temporais anuais. Posteriormente, os níveis médios anuais foram ajustados linearmente (Gráfico 1) e calculou-se a tendência média e o correspondente erro padrão para um intervalo de confiança de 95%. Obteve-se um aumento do nível médio de 1.3 ± 1.4 mm/ano. Araújo (2005) analisou também os dados do marégrafo de Aveiro, mas apenas para o período de 1976 a 2003, tendo obtido uma tendência de subida do nível médio de 1.15 ± 0.68 mm/ano.

Na Figura 2.12 é apresentada a evolução do nível médio do mar em Aveiro entre 1976 e 2005.

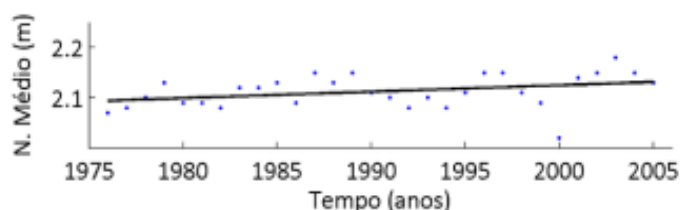


Figura 2.12: Evolução do nível médio do mar em Aveiro entre 1976 e 2005 (CEDRU, 2011).

Para o estudo em questão considera-se um aumento do nível médio do mar de 1.3 mm/ano a 1.4 mm/ano em toda área de análise da vulnerabilidade.

2.4.7 Altura Média das Ondas

A ação das ondas sobre a costa pode resultar em erosão, sendo a altura média das ondas claramente um fator muito significativo na configuração da costa portuguesa. Em toda a linha de costa em estudo não há grande discrepância nas alturas das ondas, tomando como referência o registo apresentado na Figura 2.13.

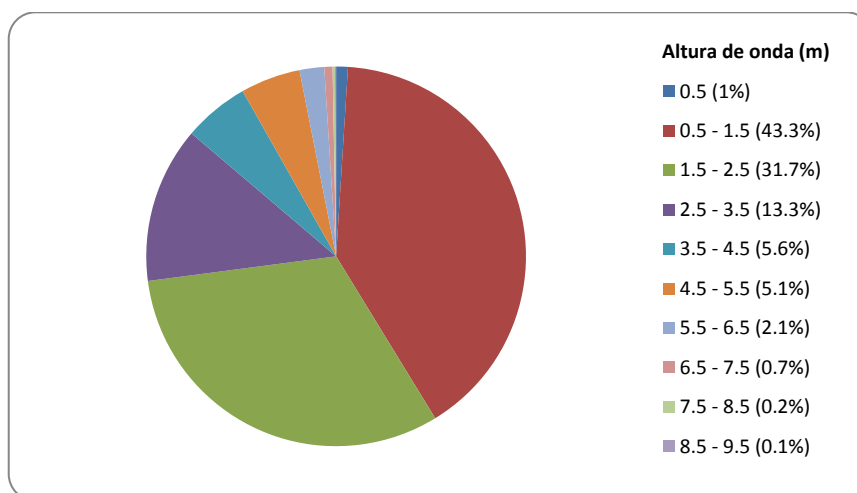


Figura 2.13: Alturas de onda significativa (Coelho, 2005). Dados do Instituto Hidrográfico para a bóia de Leixões, de 1981 a 2003.

Pela análise do gráfico circular verifica-se que existe uma grande percentagem de ondas no trecho costeiro em estudo com alturas compreendidas entre 0.5 metros e 2.5 metros (75%).

No presente estudo considera-se uma altura de média de onda de 1.5 metros para todo o trecho em análise, uma vez que é a altura de onda significativa mais frequente.

2.4.8 Amplitude/altura das Marés

Quanto maior é a amplitude das marés, menor será a vulnerabilidade da zona costeira, esta é a perspetiva defendida por vários autores de anteriores estudos em zonas costeiras (Thieler e Hammar-Klose, 1999; Pendleton et al., 2004). Este raciocínio é baseado na influência potencial de uma tempestade, ou de outros fenómenos que possam levar os níveis de água a valores extremos, e na medida em que estes valores extremos são suscetíveis de ocorrer no mais alto nível de maré. Numa costa com grande amplitude de maré existe uma pequena

probabilidade de uma tempestade ocorrer em maré alta. Assim, numa região com uma amplitude de maré de 5 metros, uma tempestade com ondas de dois metros poderá ocorrer sem exceder os níveis mais altos da maré. Numa costa que tenha uma pequena amplitude de maré, se ocorrer uma tempestade a probabilidade de exceder os níveis máximos da maré é elevada (Abuodha e Woodroffe, 2010).

A maré do litoral em estudo é do tipo semidiurna, com duas preia-mares e duas baixa-mares por dia. É dominada pelos constituintes semidiurnos lunar principal (M_2) e solar principal (S_2), que originam uma importante variação quinzenal (ciclo de águas vivas/águas mortas), e modulada por outros constituintes menos significativos, entre os quais o luni-solar diurno (K_1) e o lunar principal diurno (Marta-Almeida e Dubert, 2006). M_2 é o principal constituinte harmónico na área de estudo (e na costa portuguesa), com amplitude aproximada de 1 metro, seguido pelo constituinte S_2 , com uma amplitude cerca de 30% inferior. Apesar das amplitudes dos constituintes diurnos serem relativamente pequenas, com valores de aproximadamente 0.08 metros para K_1 e de 0.06 metros para O_1 (Marta-almeida e Dubert, 2006), são responsáveis pela desigualdade diurna observada na maré (CEDRU, 2011).

As amplitudes de maré aumentam de sul para norte, sendo por isso ligeiramente mais baixas na zona de São Pedro de Moel, comparativamente com a zona de Aveiro (Praia da Barra). A máxima amplitude de maré para a área de estudo, resultante de todos os constituintes harmónicos, não excede os 2 metros. Para o nosso estudo, uma vez que a diferença da amplitude de maré entre Mira e São Pedro de Moel não é significativa, considera-se uma amplitude de 2 metros.

3 APLICAÇÃO AO TRECHO ENTRE MIRA E SÃO PEDRO DE MOEL

3.1 Algoritmo de Cálculo

No presente estudo foi definida vulnerabilidade relativa a parâmetros físicos, em termos de um número de parâmetros quantificáveis, compreendendo cinco estruturais e três variáveis de processo. Os cinco parâmetros estruturais são: geomorfologia, geologia, erosão do litoral, cota topográfica e exposição litoral. Os três parâmetros do processo são as seguintes: aumento do nível do mar, altura média das ondas e amplitude/altura de maré. Este estudo, tendo em conta as variáveis apresentadas, é uma tentativa de analisar qual a tendência histórica de evolução litoral, determinando as zonas mais vulneráveis, ou seja as zonas costeiras mais suscetíveis a potenciais inundações.

Segundo Coelho (2005), para a realização de um estudo de vulnerabilidades é necessária grande quantidade de informação e uma abordagem multidisciplinar. A obtenção de um mapa de vulnerabilidade global obriga à análise isolada dos diversos parâmetros considerados como mais condicionantes para a classificação da vulnerabilidade. Na Quadro 3.1 são expostos os diferentes parâmetros de vulnerabilidade e os critérios utilizados para a sua classificação; esses mesmos parâmetros irão ser posteriormente utilizados para a classificação da zona de estudo.

O mapeamento da costa foi empreendido por fotografia aérea ortorretificada sobre a zona do litoral entre a Praia de Mira e São Pedro de Moel. Recorrendo a um software de informação geográfica (ARCGIS) delineou-se a zona costeira em estudo, para posteriormente ser aplicada a metodologia IVC. Os resultados dos índices de vulnerabilidades serão apresentados num modelo de células de grade ao longo da linha de costa em estudo. As células de grade são quadrados com 2 quilómetros de lado, adequadas para a aplicação da metodologia de IVC no trecho da zona costeira em análise, com uma extensão de aproximadamente 100 km. Para cobrir toda a linha de costa neste trecho foram precisas 52 células de grade, conforme está representado na Figura 3.1.

Quadro 3.1: Classificação do índice de vulnerabilidade costeira (IVC).

Classificação do Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC)						
Variável	1 Muito baixo	2 Baixo	3 Moderado	4 Alto	5 Muito alto	
Parâmetros estruturais	Geomorfologia	Montanhas	Arribas rochosas	Arribas erodíveis	Praias expostas	Dunas, restingas
	Geologia	Rochas magmáticas	Rochas metamórficas	Rochas sedimentares	Rochas não consolidadas de grandes dimensões	Rochas não consolidadas de pequenas dimensões
	Exposição litoral	-	-	NW	W	SW
	Cota topográfica	>30	>20 ≤30	>10 ≤20	>5 ≤10	≤5
	Erosão do litoral (m/ano)	>0 acrecção	>-1 ≤0	>-3 ≤-1	>-5 ≤-3	≤-5 erosão
Parâmetros não estruturais	Aumento do nível do mar (mm/y)	<0.0	0.0 – 0.9	1.0 – 2.0	2.1 – 3.0	>3.1
	Altura média das ondas (m)	0.0 – 0.5	0.6 – 1.0	1.1 – 1.5	1.6 – 2.0	> 2.1
	Altura das marés (m)	>1.0	>1.0 ≤2.0	>2.0 ≤3.0	>3.0 ≤4.0	≥4.0

As 52 células de grade irão ser coloridas com cinco cores diferentes, conforme a vulnerabilidade das zonas que cada uma representa relativamente às variáveis apresentadas, e que irão servir para o cálculo do índice de vulnerabilidade proposto.

Neste estudo, o índice de vulnerabilidade costeira (IVC) é obtida utilizando a abordagem que tem sido muito utilizado noutros países, por meio da determinação da raiz quadrada do produto das variáveis ordenadas, dividido pelo total de variáveis (Thieler e Hammar-Klose, 2000), como mostra a Quadro 3.2. O índice de vulnerabilidade (IVC) será calculado tendo em conta todas as variáveis já apresentadas.

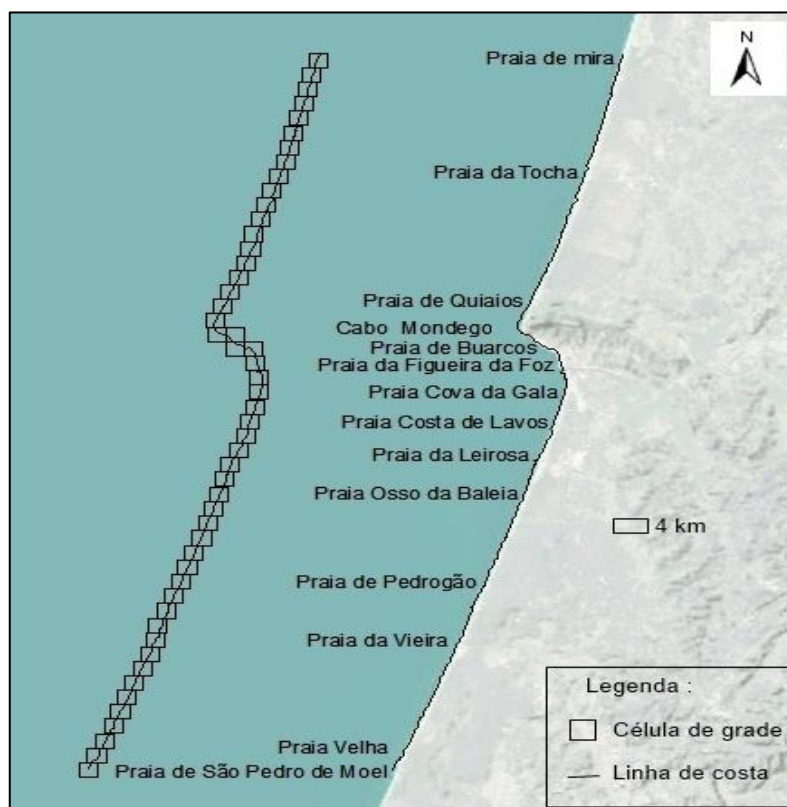


Figura 3.1: Localização da área de estudo, incluindo as células de grade e a linha de costa.

Quadro 3.2: Variáveis e fórmula utilizada na determinação dos índices de vulnerabilidade para cada célula de grade.

	IVC _{físico}
a) Geomorfologia	X
b) Geologia	X
c) Exposição litoral	X
d) Cota topográfica	X
e) Erosão do litoral	X
f) Aumento do nível do mar	X
g) Altura média de ondas	X
h) Altura de maré	X
Fórmula (IVC)	$\sqrt{\frac{a*b*c*d*e*f*g*h}{8}}$

3.2 Vulnerabilidade ao longo da linha de costa

Procedendo ao estudo proposto, neste subcapítulo é apresentada a linha de costa em estudo sobreposta com células de grade, que irão ser coloridas de acordo com a vulnerabilidade das diferentes zonas aos parâmetros abordados. A partir desta representação são perfeitamente visíveis as zonas mais suscetíveis a cada parâmetro físico, anteriormente identificado e caracterizado ao longo da linha de costa.

Assim, a Figura 3.2 apresenta as vulnerabilidades do trecho costeiro, relativamente aos parâmetros físicos: geomorfologia e geologia.

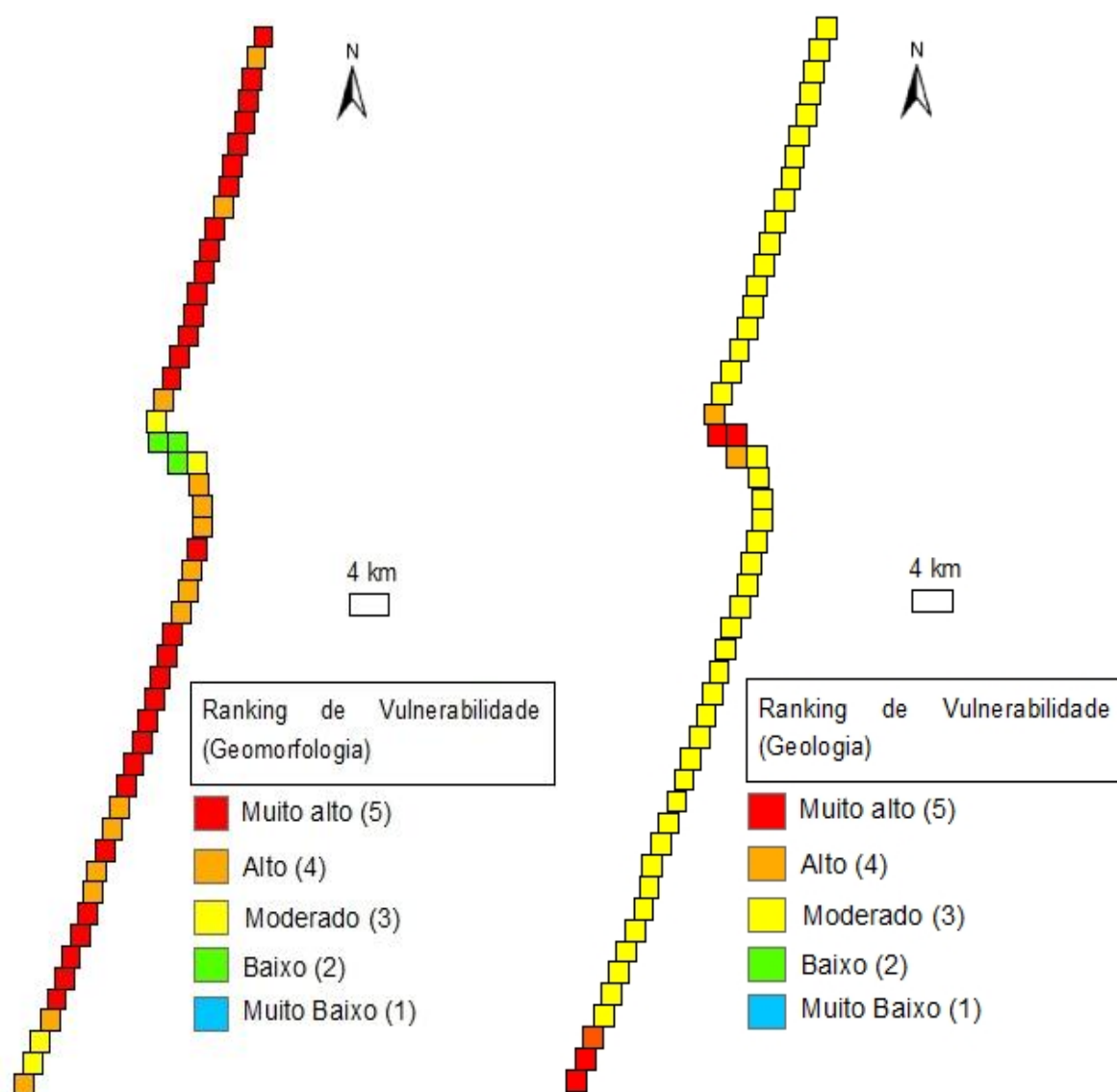


Figura 3.2: Vulnerabilidade da linha de costa relativamente à geomorfologia (à esquerda) e à geologia (à direita).

A Figura 3.3 apresenta as vulnerabilidades do trecho costeiro, relativamente aos parâmetros físicos: exposição litoral e cota topográfica.

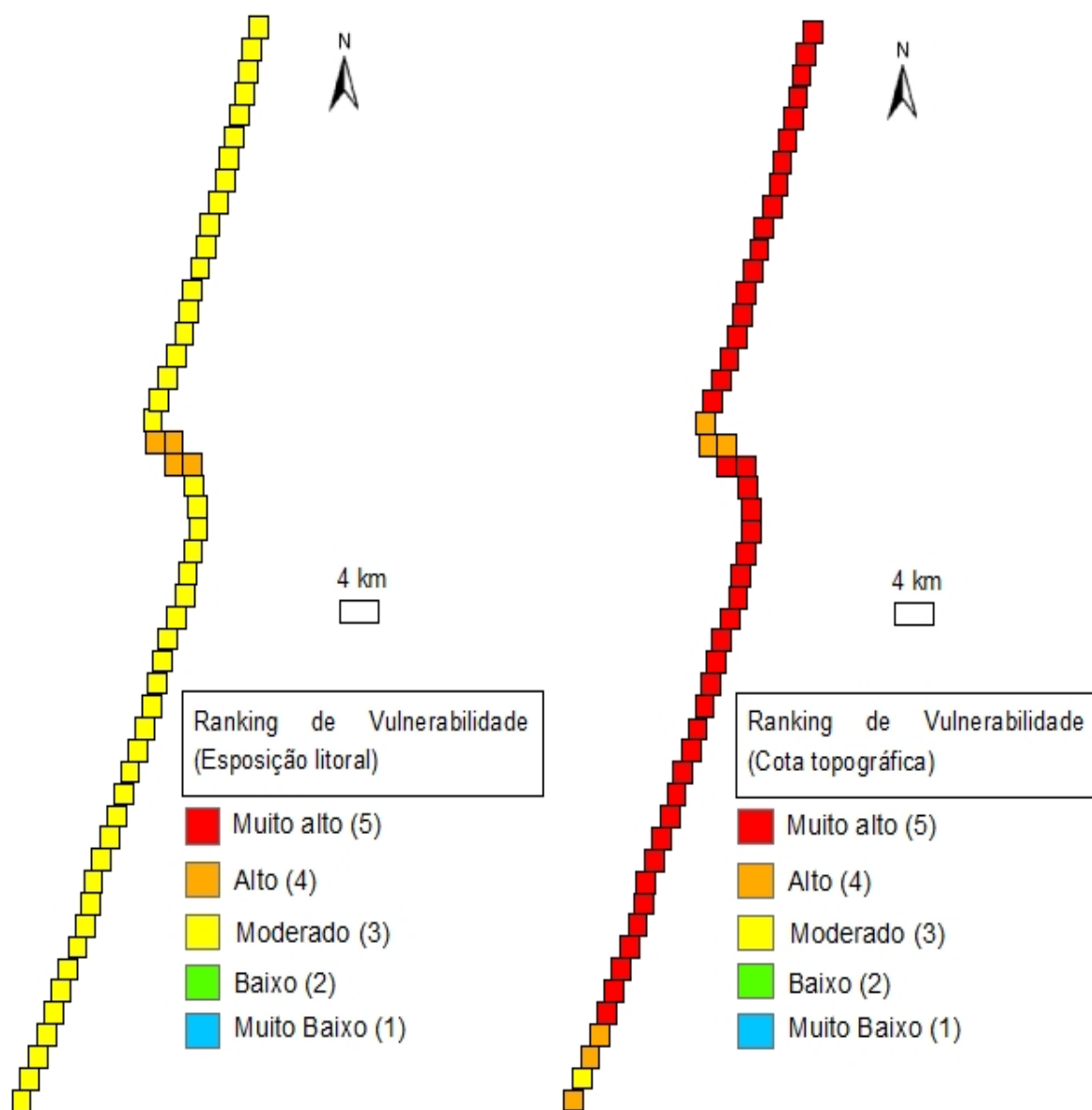


Figura 3.3: Vulnerabilidades da linha de costa relativamente à exposição litoral (à esquerda) e à cota topográfica (à direita).

A Figura 3.4 apresenta as vulnerabilidades do trecho costeiro, relativamente aos parâmetros físicos: erosão litoral e aumento do nível do mar.

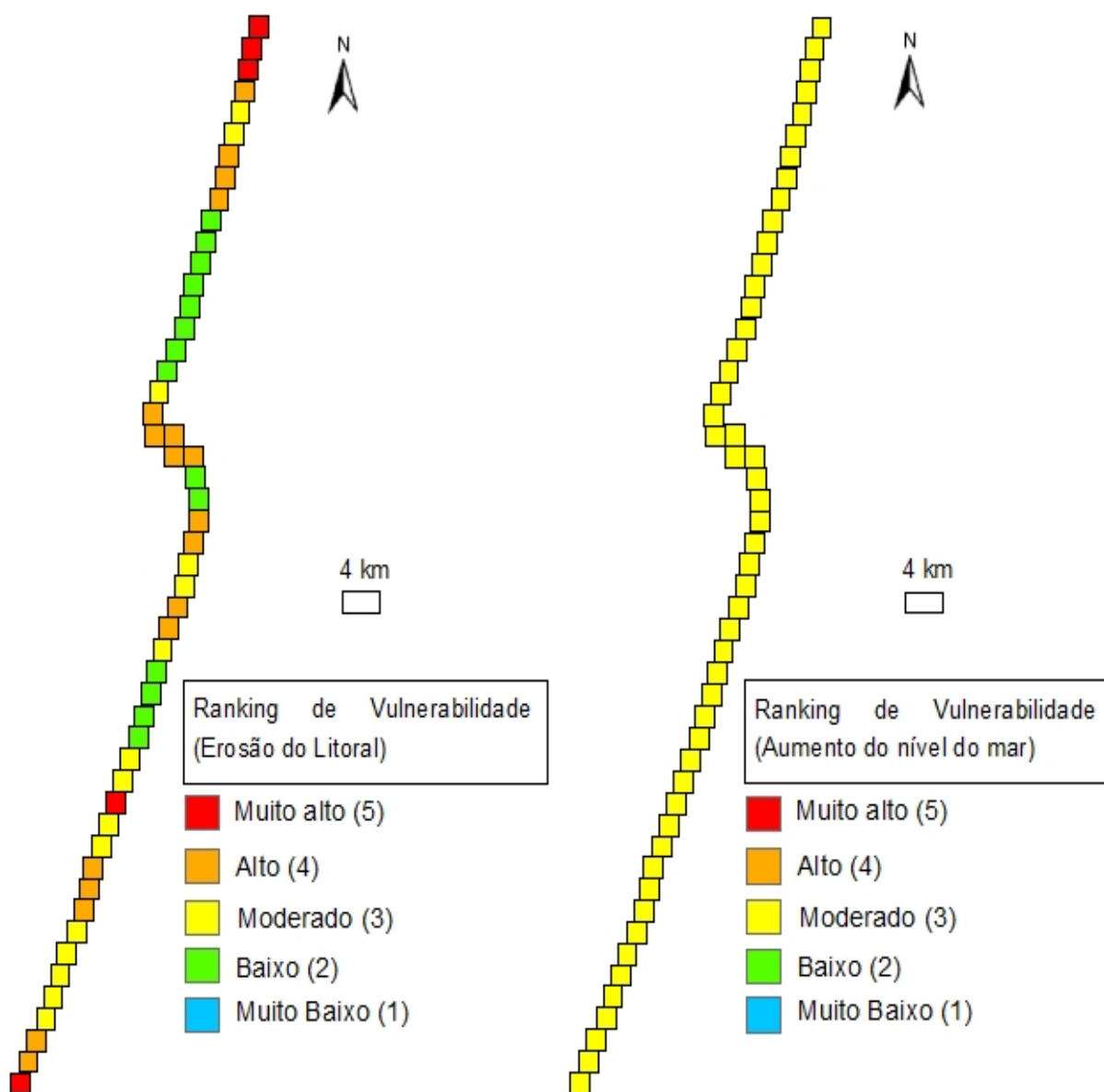


Figura 3.4: Vulnerabilidades da linha de costa relativamente à erosão costeira (à esquerda) e ao aumento do nível do mar (à direita).

A Figura 3.5 apresenta as vulnerabilidades do trecho costeiro, relativamente aos parâmetros físicos: altura de onda e altura de maré.

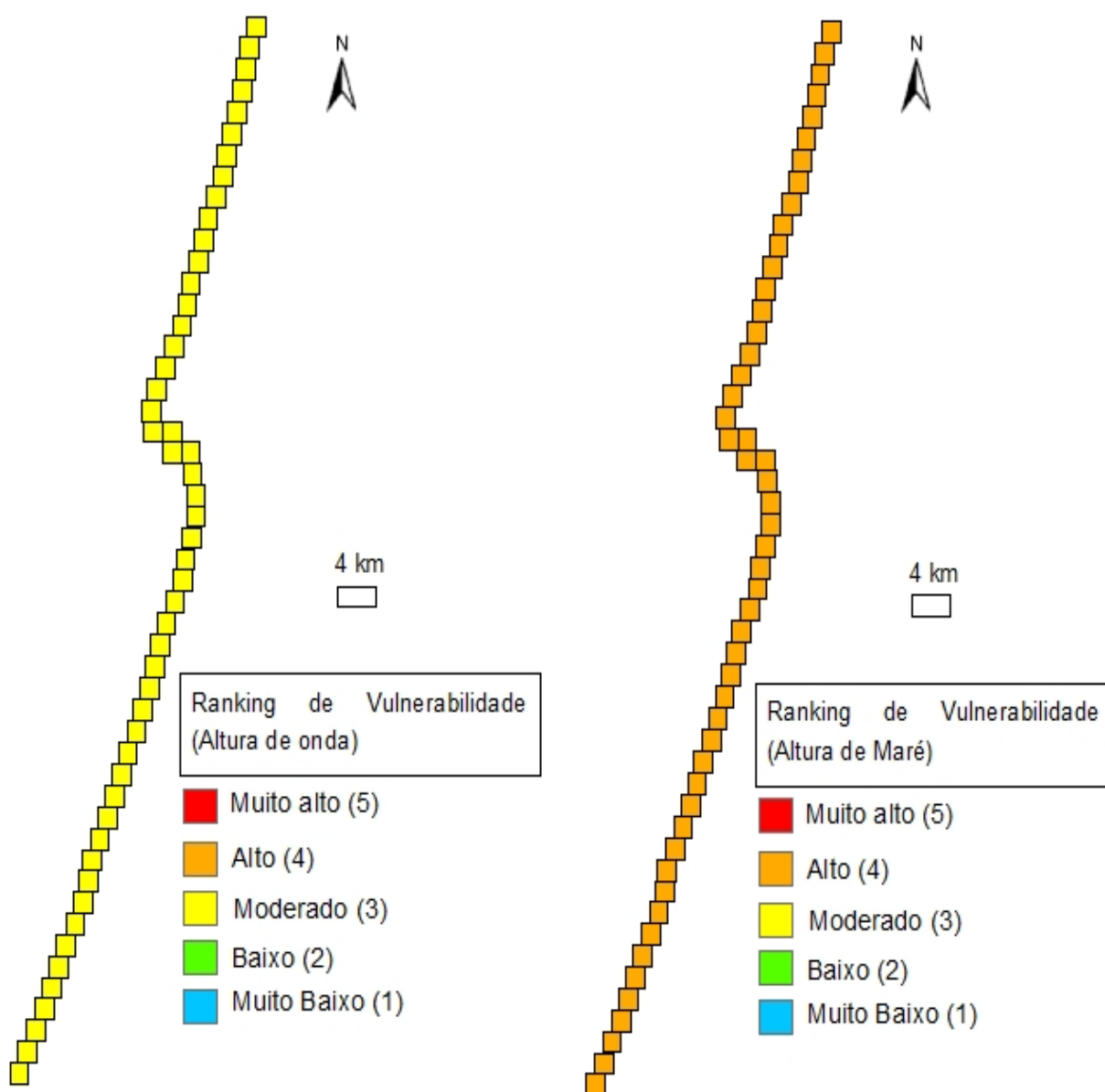


Figura 3.5: Vulnerabilidades da linha de costa relativamente à altura de onda (à esquerda) e à altura de maré (à direita).

3.3 Cálculo do Índice de Vulnerabilidade Costeira dos parâmetros físicos




Uma vez identificadas as vulnerabilidades da linha de costa para todos os parâmetros, procede-se em seguida ao cálculo do índice de vulnerabilidade costeira (IVC) para cada célula de grade, pela fórmula 2.1 apresentada. Numerando as células de grade de 1 (Mira) a 52 (São Pedro de Moel), conseqüentemente numeradas de norte para sul por ordem crescente, resultam os seguintes valores de IVC para cada uma (Quadro 3.3).

Quadro 3.3: Cálculo do índice de vulnerabilidade costeira (IVC).

Nº de Célula de grade	Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC)	Nº de Célula de grade	Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC)
1	71.2	27	56.9
2	63.6	28	49.3
3	71.2	29	55.1
4	63.6	30	56.9
5	55.1	31	63.6
6	55.1	32	55.1
7	63.6	33	45.0
8	56.9	34	45.0
9	56.9	35	45.0
10	45.0	36	45.0
11	45.0	37	55.1
12	45.0	38	55.1
13	45.0	39	63.6
14	45.0	40	49.3
15	45.0	41	55.1
16	45.0	42	56.9
17	45.0	43	56.9
18	49.3	44	63.6
19	50.9	45	55.1
20	53.7	46	55.1
21	53.7	47	55.1
22	53.7	48	55.1
23	56.9	49	44.1
24	40.2	50	44.1
25	40.2	51	55.1
26	63.6	52	73.5

Os valores resultantes do cálculo de IVC variaram entre 40.2 e 73.5 (Quadro 3.2). Para se ter melhor perceção das zonas mais vulneráveis, os valores dos índices de vulnerabilidade costeira são agregados em três grupos de risco, sendo eles de risco moderado (40.2 a 51.3), risco elevado (51.4 a 62.4) e risco muito elevado (62.5 a 73.5), como apresentado no Quadro 3.4.

Quadro 3.4: Classificação dos grupos de risco de IVC.

Grupos de risco IVC		
Cor	Tipo de risco	Valores de IVC
	Muito elevado	62.5 a 73.5
	Elevado	51.4 a 62.4
	Moderado	40.2 a 51.3

Deste modo, será possível de uma maneira relativamente simples e eficaz identificar as regiões/locais que estão em maior risco. Para melhor visualização dos índices de vulnerabilidade costeira apresentar-se-á a linha de costa com as células de grade coloridas conforme o tipo de risco a que a zona/local está exposta, segundo o estudo apresentado no capítulo 4.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

As vulnerabilidades da linha de costa identificadas neste trabalho, usando o método de Thieler e Hammar-Klose (2000), podem ser vistos com intervalos de vulnerabilidade pré-determinados, os quais mostram áreas vulneráveis aos oito parâmetros considerados. Essas vulnerabilidades da linha de costa são, portanto, vulnerabilidades relativas a um só aspeto físico. Eles descrevem as regiões problemáticas, e, portanto, maior atenção deve ser dirigida a estas regiões para analisar com maior detalhe a sua vulnerabilidade no contexto da classificação adotada.

Identificam-se as zonas/locais ao longo da linha de costa em estudo que apresentam um risco acentuado face aos parâmetros físicos considerados na caracterização da mesma. Pelas vulnerabilidades da linha de costa verifica-se que esta apresenta uma suscetibilidade moderada para os parâmetros físicos de altura de onda e aumento do nível do mar, e apresenta uma suscetibilidade elevada face ao parâmetro de altura de maré.

No parâmetro de geomorfologia verifica-se que 65% da linha de costa tem uma vulnerabilidade muito elevado devido à existência de dunas ao longo da costa. Os restantes 35 % de linha de costa variam entre uma vulnerabilidade baixa para a zona do Cabo Mondego (5.8%), moderada para uma parte da zona de São Pedro de Moel (3.8%) e elevada para as zonas onde existem praias expostas (cordão arenoso seguido de zona urbana) (25.4 %).

Já nas zonas de vulnerabilidade à geologia verifica-se que 92.4% é de vulnerabilidade moderada, com os restantes 7.6% divididos numa vulnerabilidade elevada para o Cabo Mondego (3.8%) e muito elevada para a zona São Pedro de Moel (3.8%).

Toda a linha de costa está exposta a correntes marítimas de igual forma, com exceção da zona de Buarcos a Figueira de Foz que está protegida relativamente às correntes marítimas oriundas de Norte. Logo, segundo a classificação de vulnerabilidades, temos que 7.7% da linha de costa tem uma vulnerabilidade elevada, devido à exposição a correntes oriundas de Oeste e Sudoeste, enquanto o trecho de costa restante apresenta uma vulnerabilidade moderada.

A cota topográfica da área de estudo torna-se muito relevante, uma vez que 87% desta zona tem uma grande vulnerabilidade devido à baixa elevação em relação ao nível do mar. Distinguem-se aqui duas zonas de risco menos acentuado que é o Cabo Mondego e uma parte de São Pedro de Moel, com grandes elevações.

Devido à erosão litoral, verifica-se que 9.5% da linha de costa tem vulnerabilidade muito elevada (praia de Mira, praia de Pedrogão e São Pedro de Moel); 63% divide-se entre uma vulnerabilidade moderada a elevada (praia da Tocha, Cabo Mondego, praia de Buarcos, praia da Cova da Gala, praia da Costa de Lavos, praia da Leirosa, praia da Vieira e praia de São Pedro de Moel); na extensão entre o sul da Praia da Tocha e a praia de Quiaios, na praia da Figueira da Foz e também entre a praia do Osso da Baleia e a praia de Pedrogão verifica-se uma vulnerabilidade baixa (27.5%).

O mapa de vulnerabilidade da linha de costa resultante do cálculo do índice de vulnerabilidade costeira (IVC) é apresentado na Figura 4.1.

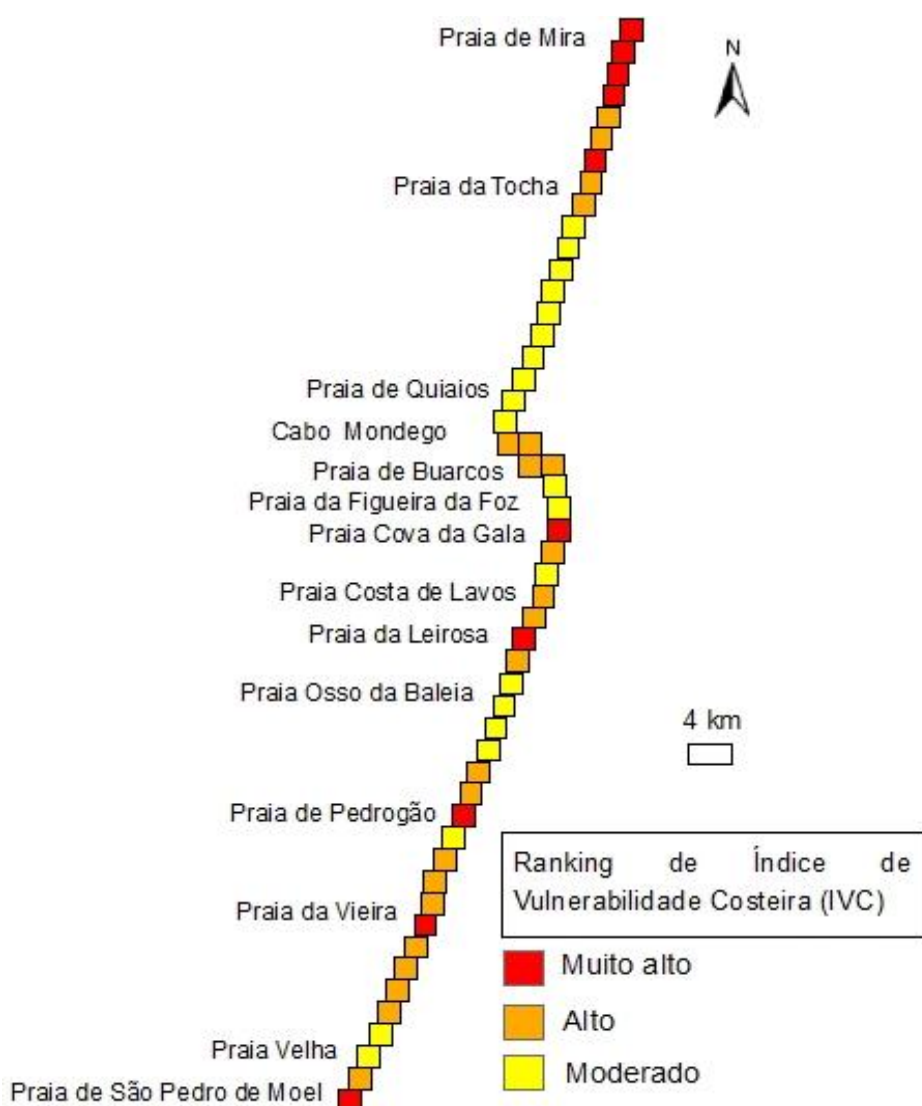


Figura 4.1: Mapa de vulnerabilidade da linha de costa relativo ao Índice de Vulnerabilidade Costeira.

Do exposto, facilmente se conclui que existem zonas/locais da linha de costa no trecho abordado que estão numa situação iminente de risco face aos valores de IVC que resultaram dos 8 parâmetros abordados neste estudo. Embora a causa da suscetibilidade costeira advinha de algumas causas naturais, como é o caso da altura de maré provocada pelo degelo dos glaciares (efeito secundário da atividade humana) e, em parte, a erosão costeira, as mais importantes advêm de atividades antrópicas. Este método é muito eficaz na medida em que destaca as áreas costeiras onde se identificam os diversos efeitos que contribuem para a vulnerabilidade das mesmas.

Da análise do mapa de IVC, verifica-se que 21% das zonas/locais estão numa situação iminente de risco (Mira, Buarcos, Leirosa, Pedrogão, Vieira e São Pedro de Moel) e que 36% apresentam alguma vulnerabilidade mas não tão acentuada como os locais que estão a vermelho no mapa da Figura 4.1. As restantes zonas apresentam uma vulnerabilidade moderada (43%).

Na área de estudo, em que foi aplicada a metodologia descrita, dá para perceber que existem zonas que têm uma vulnerabilidade muito grande devido ao parâmetro de erosão costeira, que aumenta em muito a suscetibilidade de zonas como Mira, Leirosa, Pedrogão e São Pedro Moel.

A intensa ocupação do litoral tem vindo a ser afetada de forma que não viabiliza um desenvolvimento sustentável desta faixa costeira. Assim, embora seja necessário intervir a diferentes níveis, torna-se imprescindível e imperioso proceder, em grande parte dos casos, ao reordenamento da faixa litoral, por forma a propiciar um desenvolvimento racional e sustentável de tão importante zona do território português.

Em estudos anteriores foi usada a inclinação costeira como um dos parâmetros para calcular o IVC, considerando que com um declive baixo o litoral costeiro apresentaria alto risco e vice-versa. Tal suposição não se verifica sempre. Por exemplo, podemos ter um declive acentuado com uma elevação da zona baixa, que é muito mais vulnerável do que um declive menos acentuado mas com uma elevação da zona maior. Esta inconsistência foi tratada de forma eficaz ao considerar a elevação do litoral (cota topográfica) como um parâmetro que representa o nível vertical do terreno. O fato de considerarmos este parâmetro torna o presente trabalho mais consistente.

A facilidade de aplicação desta metodologia é uma das principais vantagens, especialmente para os decisores locais, que geralmente têm fontes limitadas. Além disso, o modelo desenvolvido permite que os tomadores de decisão possam avaliar cuidadosamente as previsões futuras. A implementação do modelo usado num ambiente com apoio de SIG

aumenta a capacidade de monitorização das futuras alterações no que diz respeito aos parâmetros envolvidos na metodologia.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

À luz da necessidade de proceder a avaliações de vulnerabilidade, face à previsível elevação do nível do mar, o que irá contribuir para o agravamento das atuais pressões sobre as áreas costeiras, diferentes tipos de metodologias de avaliação bem como diferentes níveis de exigência de dados, recursos e tecnologia são propostas na bibliografia. A maior parte destas avaliações têm como principal cenário o aumento do nível médio do mar e focam-se fundamentalmente nos impactos naturais sobre a evolução costeira, tais como inundações e erosão costeira, e não incluem os efeitos diretos e indiretos, porventura fundamentais, das atividades humanas, tanto no presente como no futuro. Por outro lado, a implementação de medidas de adaptação é mais controlada pelos decisores locais, que geralmente têm limitações sobre os recursos disponíveis para esses tipos de avaliações.

Este estudo é uma primeira tentativa de aplicar um índice de vulnerabilidade costeira a um trecho da costa portuguesa, com base numa metodologia desenvolvida para zonas litorais dos EUA e aplicada noutros locais do globo terrestre. As variáveis que representam as diferentes características estruturais e os processos costeiros podem influenciar o índice de vulnerabilidade obtido para um dado trecho da zona costeira face a diferentes pressupostos. É desejável procurar reduzir o grau de subjetividade inerente à metodologia, nomeadamente a identificação das variáveis e a importância relativa, definida através de classes (ou pesos), atribuída a cada parâmetro.

Os resultados apresentados na bibliografia estão de acordo com as características das regiões onde o modelo é aplicado. No entanto, a necessidade de um maior desenvolvimento do modelo proposto é evidente à luz desses mesmos estudos de caso. Em particular, os pesos dos diferentes parâmetros incluídos na avaliação devem ser definidos com melhor precisão. Também os limites das regiões em que as células de grade adjacentes apresentam vulnerabilidades muito diferentes devem ser estabelecidos continuamente, com uma fase de transição, visto que a natureza não possui fronteiras nítidas. Tal implica que as células tenham dimensões apropriadas a cada caso de estudo.

É também necessária uma monitorização periódica das vulnerabilidades costeiras relativamente a alguns parâmetros, em função da evolução do posicionamento da linha de costa, das alterações de revestimento do solo e das ações humanas sobre a zona costeira; estas últimas podem ter consequências, se não mesmo determinantes, na classificação da vulnerabilidade global.

Para novos estudos que venham a ter lugar, ou para aprofundar estudos desenvolvidos utilizando esta metodologia, recomenda-se uma avaliação criteriosa dos parâmetros adotados e a eventual necessidade de incluir outros.

Uma outra preocupação no desenvolvimento de um estudo similar deverá ser a utilização de células de grade com as dimensões mais adequadas, eventualmente com áreas variáveis e porventura menores, de modo a construir uma malha mais fina, sobretudo em zonas onde detetam discontinuidades, identificando com maior clareza e rigor as transições da natureza.

Por outro lado, a metodologia utilizada deverá ser ajustada em função de novos dados que venham a ser adquiridos e de ponderações resultantes de um conhecimento mais aprofundado dos processos e da sua evolução.

Julga-se que esta metodologia poderá ser aplicada a outras regiões da costa portuguesa, nomeadamente com características mais heterogéneas, carecendo, contudo, de ajustamentos e validação quanto aos resultados a médio/longo prazo.

Por fim, é conveniente referir que é possível identificar trechos costeiros muito vulneráveis às ações do mar, mas com baixo grau de exposição, considerando que a exposição depende da ocupação humana, das atividades económicas potencialmente afetadas pelos problemas de erosão e inundação, e dos prejuízos no patrimónios histórico e ecológico.

O cruzamento das vulnerabilidades da linha de costa com os níveis de exposição resulta numa classificação de risco. Nesta conformidade, sugere-se a elaboração de um estudo que conduza a uma classificação final de riscos de exposição das zonas costeiras face às ações energéticas do mar.

6 CONCLUSÕES

Em geral, toda a zona costeira portuguesa apresenta zonas de difícil gestão, onde ocorrem fenómenos complexos e uma dinâmica litoral intensa modela a costa. A constante instabilidade destas zonas, associada à pressão que é feita sobre elas devido a interesses humanos, sociais e económicos, conduz à necessidade de elaborar ferramentas para auxiliar os decisores no processo de planeamento e gestão das mesmas.

Este estudo constitui uma primeira tentativa de aplicação de um índice de vulnerabilidade costeira a um trecho da costa portuguesa, recorrendo a uma metodologia desenvolvida para as zonas costeiras dos EUA e mais tarde aplicada em várias zonas do globo. As variáveis utilizadas na metodologia, que representam diferentes características estruturais e processos costeiros, permitiram avaliar as vulnerabilidades existentes no trecho entre Mira e São Pedro de Moel.

Para efeitos de gestão, o índice de vulnerabilidade costeira adotado permitiu obter informações claras sobre os principais problemas que este trecho da costa portuguesa enfrenta, identificando os troços que exigem intervenções prioritárias.

O mapa de vulnerabilidades da linha de costa elaborado, resultante do cálculo do índice de vulnerabilidade costeira, permitiu estabelecer um zonamento que identifica os vários graus de vulnerabilidade (situações iminentes de risco) face aos valores que resultaram da aplicação dos oito parâmetros abordados neste trabalho.

A representação obtida apresenta resultados coerentes e ajustáveis à situação que se verifica atualmente, no que respeita à identificação de zonas com problemas direta e indiretamente originados pela ação do mar.

Como nota final, a utilização deste mapa facilita a gestão dos espaços, no sentido de hierarquizar prioridades e estabelecer critérios de intervenção sobre a costa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alves M.F.L., 2006. “Gestão Sustentável da Zona Costeira: contributos para um modelo de avaliação.” Dissertação de doutoramento, Universidade de Aveiro.

Andrade C.F., Freitas M.C., 2002. “Climate in Portugal – Scenarios, Impacts and Adaptation Measures – SIAM Project”, chapter 6: Coastal, Editors Santos F.D., Forbes K. e Moita D., Gradiva, Lisbon, 456p.

Araújo I.G.B., 2005. “Sea level variability: examples from the Atlantic Coast of Europe.” PhD Thesis. University of Southampton. Southampton, UK, 411 pp.

Barbosa J.L.P., 2003. “Aplicação dos sistemas de informação geográfica na zona costeira.” Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, Portugal. pp. 3.

Coelho C., 2005. “Riscos de Exposição de Frentes Urbanas Para Diferentes Intervenções de Defesa Costeira.” Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro.

Coelho C., Granjo M. J. e Segurado-Silva C., 2010. “Vulnerabilidades do Distrito de Aveiro às Ações Energéticas do Mar.” Revista da Associação Portuguesa de Recursos Hídricos. Vol.3 pp. 46-56.

Constanza R., Groot R., Arge R., Farber S., Grasso M., Hannon B., Limburg K., Naeem S., O’Neill R.V., Paruelo J., Raskin R.G., Sutton P. e Belt M., 1997. “The value of the world’s ecosystem services and natural capital.” Nature, No 387, pp. 253-259.

Cunha P.P. e Dinis J., 1998. "A erosão nas praias do Cabo Mondego à Figueira da Foz (Portugal centro-oeste), de 1995 a 1998." Territorium - Revista de Geografia Física aplicada no ordenamento do território e gestão de riscos naturais, 5: 31 - 50.

Dias J.A., 1993. “Estudo de Avaliação da Situação Ambiental e Propostas de Medidas de Salvaguarda para a Faixa Costeira Portuguesa” (Parte de Geologia Costeira). Liga para a Proteção da Natureza/ Ministério do Ambiente, relatório não publicado. Lisboa, 137p.

Dias J.M.A. e Ferreira Ó., 1994. “Estudo Sintético de Diagnóstico da Geomorfologia e da Dinâmica Sedimentar dos Troços Costeiros entre Espinho e Nazaré.” Universidade do Algarve.

Diez P.G., Perillo G.M.E. e Piccolo C.M., 2007. “Vulnerability to sea-level rise on the coast of the Buenos Aires Province.” *J Coastal Res* 23:119 – 126.

Doukakis E., 2005. “Coastal vulnerability and sensitivity parameters.” *Eur Water* 11(12):3 - 7.

EuroSION, 2006. “Viver com e erosão costeira na Europa – Sedimentos e espaço para a sustentabilidade”. Resultados do estudo. União Europeia. ISBN 92-79-02209-1.

Goodwin P. e Wright G., 1991. “Decisions Analysis for Management Judgement”; New York, Wiley.

Gomes F.V., 2007. “A Gestão da Zona Costeira Portuguesa”. *Revista de Gestão Costeira Integrada* (ISSN: 1646-8872), 7(2):83-95, Lisboa, Portugal.

Google Earth-Mapas. [Http://mapas.google.com](http://mapas.google.com). Consulta realizada em 03/12/2012.

Gornitz V., 1991. “Global coastal hazards from future sea level rise”. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol* 89:379 – 398.

Groot R.S., Wilson M. e Boumans R., 2002. “A typology for the description, classification and valuation of Ecosystem Functions”. *Goods Services Econ.* Vol. 41 (3), 393–408.

Kumar T.S., Mahendra R.S., Nayak S., Radhakrishnan K. e Sahu K.C., 2010. Coastal vulnerability assessment for Orissa State, east coast of India. *Journal of Coastal Research*, 26(3), 523–534. West Palm Beach (Florida), ISSN 0749-0208.

Lopes A.M., 2003. “O Litoral da Região Centro de Portugal: Um caso preocupante de risco e de perda de território”. *Direcção Regional do Ambiente e do Ordenamento do Território-Centro*.

Marta-Almeida M. e Dubert J., 2006. “The structure of tides in Western Iberian region, *Continental Shelf Research*”, 26:385–400.

Nageswara Rao, K., Subraelu P., Venkateswara Rao T., Hema Malini B., Ratheesh R., Bhattacharya S. e Rajawat A.S., 2008. “Sea-level rise and coastal vulnerability: an assessment

of Andhra Pradesh coast India through remote sensing and GIS.” *J. Coast Conserv* 12:195 – 207.

Nicholls R.J., Wong P.P., Burkett V.R., Codignotto J.O., Hay J.E., McLean R.F., Ragoonaden S. e Woodroffe C.D., 2007. “Coastal systems and low-lying areas”. In: Parry, M.L., Canziani O.F., Palutikof J.P., van der Linden P.J. e Hanson C.E., (eds) “Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change”. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 315 – 356.

Pendleton E.A., Thieler E.R., e Williams S.J., 2010. “Importance of coastal change variables in determining vulnerability to sea- and lake-level change”. *Journal of Coastal Research*, 26(1), 176–183. West Palm Beach (Florida), ISSN 0749-0208.

Pendleton E.A., Thieler E.R., Williams S.J. e Beavers, R.S., 2004. “Coastal vulnerability assessment of Padre Island National Seashore (PAIS) to sea-level rise”. USGS report No 2004 – 1090. <http://pubs.usgs.gov/of/2004/1090/>

Pinto P.M.F., 2008. “Sistemas de Apoio à Gestão das Zonas Costeiras: Aplicação de um modelo para simulação do crescimento urbano no trecho Ovar-Mira.” Dissertação de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa.

POOC (2011). “Plano de Ordenamento da Orla Costeira – Ovar - Marinha Grande”. Estudo Prévio de Ordenamento, Vol. 1. Modelo de Ordenamento e Desenvolvimento (em revisão).

Shaw J., Taylor R.B., Forbes D.L., Ruz M.-H. e Solomon, S., 1998. Sensitivity of the coasts of Canada to sea-level rise. *Bull Geol Surv Canada* 505: 1 –79.

Thieler E.R., e Hammar-Klose E.S., 1999. “National Assessment of Coastal Vulnerability to Sea Level Rise: preliminary results for the US”. Atlanta coast USGS, pp. 99 – 593. <http://pubs.usgs.gov/of/1999/of99-593/index.html>

Thieler E. R., e Hammar-Klose E. S., 2000. “National Assessment of Coastal Vulnerability to Sea-Level Rise: Preliminary Results for the U.S. Pacific Coast”. US Geological Survey, Open-File Report 00-178, 1 sheet.

Veloso-Gomes F., Papadatos M., 1995. “Metodologia para a Quantificação da Vulnerabilidade e Risco de Exploração das Orlas Costeiras às Ações Energéticas do Mar”. Ed. A.B.R.H. Recife, Brasil.

ANEXOS

Anexo A – Cálculo do Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC).

Nº de célula de grade	Geomorfologia	Geologia	Exposição litoral	Cota topográfica	Erosão litoral	Aumento do nível do mar	Altura média de ondas	Altura de Maré	IVC
1	5	3	3	5	5	3	3	4	71.2
2	4	3	3	5	5	3	3	4	63.6
3	5	3	3	5	5	3	3	4	71.2
4	5	3	3	5	4	3	3	4	63.6
5	5	3	3	5	3	3	3	4	55.1
6	5	3	3	5	3	3	3	4	55.1
7	5	3	3	5	4	3	3	4	63.6
8	4	3	3	5	4	3	3	4	56.9
9	4	3	3	5	4	3	3	4	56.9
10	5	3	3	5	2	3	3	4	45.0
11	5	3	3	5	2	3	3	4	45.0
12	5	3	3	5	2	3	3	4	45.0
13	5	3	3	5	2	3	3	4	45.0
14	5	3	3	5	2	3	3	4	45.0
15	5	3	3	5	2	3	3	4	45.0
16	5	3	3	5	2	3	3	4	45.0
17	5	3	3	5	2	3	3	4	45.0
18	4	3	3	5	3	3	3	4	49.3
19	3	4	3	4	4	3	3	4	50.9
20	2	5	4	4	4	3	3	4	53.7
21	2	5	4	4	4	3	3	4	53.7
22	2	4	4	5	4	3	3	4	53.7
23	3	3	4	5	4	3	3	4	56.9
24	4	3	3	5	2	3	3	4	40.2

Nº de célula de grade	Geomorfologia	Geologia	Exposição litoral	Cota topográfica	Erosão litoral	Aumento do nível do mar	Altura média de ondas	Altura de Maré	IVC
25	4	3	3	5	2	3	3	4	40.2
26	5	3	3	5	4	3	3	4	63.6
27	4	3	3	5	4	3	3	4	56.9
28	4	3	3	5	3	3	3	4	49.3
29	5	3	3	5	3	3	3	4	55.1
30	4	3	3	5	4	3	3	4	56.9
31	5	3	3	5	4	3	3	4	63.6
32	5	3	3	5	3	3	3	4	55.1
33	5	3	3	5	2	3	3	4	45.0
34	5	3	3	5	2	3	3	4	45.0
35	5	3	3	5	2	3	3	4	45.0
36	5	3	3	5	2	3	3	4	45.0
37	5	3	3	5	3	3	3	4	55.1
38	5	3	3	5	3	3	3	4	55.1
39	4	3	3	5	5	3	3	4	63.6
40	4	3	3	5	3	3	3	4	49.3
41	5	3	3	5	3	3	3	4	55.1
42	4	3	3	5	4	3	3	4	56.9
43	4	3	3	5	4	3	3	4	56.9
44	5	3	3	5	4	3	3	4	63.6
45	5	3	3	5	3	3	3	4	55.1
46	5	3	3	5	3	3	3	4	55.1
47	5	3	3	5	3	3	3	4	55.1
48	5	3	3	5	3	3	3	4	55.1

Nº de célula de grade	Geomorfologia	Geologia	Exposição litoral	Cota topográfica	Erosão litoral	Aumento do nível do mar	Altura média de ondas	Altura de Maré	IVC
49	4	3	3	4	3	3	3	4	44.1
50	3	3	3	4	4	3	3	4	44.1
51	3	5	3	3	5	3	3	4	55.1
52	4	5	3	4	5	3	3	4	73.5