

# **VULNERABILIDADES DO CONCELHO DE OLHÃO FACE À OCORRÊNCIA DE TSUNAMIS**

---

**MARIA HELENA CUIÇA SIMÃO**

Provas para a obtenção do grau de Mestre em Riscos e Proteção Civil

julho de 2021

**Versão Definitiva**



ISEC LISBOA | INSTITUTO SUPERIOR DE EDUCAÇÃO E CIÊNCIAS  
Escola de Gestão, Engenharia e Aeronáutica

Provas para a obtenção do grau de Mestre em Riscos e Proteção Civil

**VULNERABILIDADES DO CONCELHO DE OLHÃO FACE À OCORRÊNCIA DE  
TSUNAMIS**

Autor: Maria Helena Cuiça Simão

Orientador: Professor Doutor Henrique Vicêncio

julho de 2021



## Agradecimentos

A concretização deste trabalho não teria sido possível sem o contributo e o apoio de um conjunto de pessoas, a quem sou profundamente grata.

Assim, gostaria de manifestar, publicamente, o meu mais sincero agradecimento a todos os que, de alguma maneira, me acompanharam neste percurso que, apesar de longo e por vezes difícil, me deixa muito feliz e realizada:

- ✧ Ao orientador desta dissertação, o Professor Doutor Henrique Vicêncio, pela sua inestimável dedicação, pelo seu incansável acompanhamento, pela sua disponibilidade e pela motivação que sempre me transmitiu durante a realização deste trabalho. É desta forma que lhe exprimo a minha mais sincera e profunda gratidão, pelo seu elevado profissionalismo, pela sua simplicidade e pela sua excecional colaboração;
- ✧ À Professora Doutora Ana Paula Oliveira, Coordenadora do Mestrado em Riscos e Proteção Civil, do ISEC, pela sua entrega e dedicação ao longo destes três anos (2018-2021) e pelo cuidado e carinho que demonstrou para com todos os seus alunos, deixando-me a recordação de uma pessoa com um conhecimento imensurável, doce e humilde, bem-disposta e muito alegre, que tive o privilégio de conhecer;
- ✧ Ao Instituto Superior de Educação e Ciências (ISEC) de Lisboa pela iniciativa de promover o Mestrado em Riscos e Proteção Civil, possibilitando, deste modo, o enriquecimento do conhecimento dos colaboradores envolvidos nesta área, como é o meu caso;
- ✧ Ao Senhor Comandante do Corpo de Bombeiros Municipais de Olhão e Coordenador Municipal de Proteção Civil de Olhão, Luís Gomes, por todo o seu apoio e colaboração ao longo deste percurso, tendo sido, muitas vezes, essencial na obtenção da informação necessária para a elaboração deste estudo;
- ✧ A todos os meus colegas de curso, sem exceção, agradeço a camaradagem e a excecional amizade. É com imenso carinho que vos levo no coração para a vida toda e recordarei sempre o espírito de inter ajuda e companheirismo.

✧ À minha família que me apoiou incondicionalmente nesta etapa. Um agradecimento muito especial à minha avó Lita por todo o carinho e por me receber de “braços abertos”, sempre preocupada em garantir que nada me faltava durante as minhas estadias em Lisboa. Agradeço aos meus queridos pais pelo seu persistente incentivo em “ir mais além” no meu percurso académico, pelo apoio que sempre me prestaram e pelo carinho com que o fizeram. Obrigada, de coração, por terem tratado sempre do Óscar durante a minha ausência. Agradeço, também, a duas pessoas muito especiais, Cristina Maurício (Cris) e Rui Soares (Chefe), pela vossa incansável paciência, carinho e amizade, pela força que sempre me deram, pelo colo nos momentos difíceis e pelas festas, loucura e alegria, nos momentos felizes. Vocês são família: “Amigos são a família que a vida nos permite escolher” (William Shakespeare). Finalmente, agradeço a uma pessoa muito especial, Paulo Fonseca (Paiózinho), pelo companheirismo ao longo desta caminhada, pela paciência nos momentos mais difíceis e pelo seu apoio e compreensão durante as minhas sucessivas ausências, em prol da concretização deste objetivo. Sem ti teria sido, ainda, mais difícil.

A todos, um sincero e profundo “Muito Obrigada”!



## **Resumo**

A região do Algarve foi atingida por dois grandes tsunamis nos anos de 1722 e 1755. Estes dois eventos foram responsáveis por elevados impactos nesta região, tendo o tsunami de 1755 provocado cerca de 1 000 mortos. Tendo em conta estes eventos, foi desenvolvido um estudo no concelho de Olhão para se identificarem os elementos em perigo e estudar as vulnerabilidades de estruturas e da população face à ocorrência de um tsunami. Consideraram-se cinco cenários de inundação por tsunamis (cotas de 2, 4, 6, 8 e 10 metros) que em conjunto com um modelo digital do terreno permitiu identificar e estudar as vulnerabilidades do concelho face a este tipo de perigo. Para o cenário menos grave, em que se considera que um tsunami inunda as áreas até à cota dos 2 m, e para o pior cenário (10 m) foram identificados 1 388 edifícios e 8 340 edifícios localizados em das áreas de inundação por tsunamis. Estima-se que para o cenário de 2 m e de 10 m possam existir 1 275 e 27 248 residentes localizados em áreas suscetíveis de inundação por tsunamis e que necessitem de ser evacuados para zonas mais seguras. Para um cenário de inundação até à cota de 4 m, a coordenação e gestão da emergência do Município de Olhão poderá ficar comprometida já que a Câmara Municipal poderá ficar inundada. Relativamente aos serviços afetos à saúde é de salientar que o Centro de Saúde de Olhão não deverá ser inundado por nenhum dos cenários considerados. Para o cenário de 2 m identificou-se uma escola primária com 342 alunos e com pré-escolar integrado que poderá ser inundada. A implementação de um sistema de aviso e alerta, a remoção de entulho, o estabelecimento de grupos de avaliação da estabilidade dos edifícios com danos e a logística associada à montagem de campos de desalojados são tarefas que devem ser devidamente planeadas e articuladas entre os vários níveis de proteção civil. As vulnerabilidades estruturais e humanas estimadas no presente estudo e os meios que serão necessários para uma resposta efetiva, indicam que a capacidade de resposta local poderá não ser suficiente, pelo que a participação dos escalões regional, nacional e mesmo internacional deverão ser necessários.

## **Palavras-chave**

Tsunami, Olhão, cenário, cota, áreas suscetíveis, vulnerabilidades.



## **Abstract**

*Algarve region was hit by two major tsunamis in 1722 and 1755. These two events were responsible for high impacts in this region, and around 1 000 deaths were caused by the 1755's tsunami. Taking into consideration the occurrence of these events, a study was carried out in the municipality of Olhão to identify the elements in danger and to study the vulnerabilities of structures and the population facing a tsunami. Five tsunami flood scenarios (2, 4, 6, 8 and 10 meters elevations) together with a digital terrain model were considered to identify and study the county's vulnerabilities to this type of danger. For the less serious scenario, in which a tsunami would flood areas up to 2 m, and for the worst scenario (up to 10 m), 1 388 buildings and 8 340 buildings would be affected. It was estimated that for the 2 m and 10 m scenarios, 1 275 and 27 248 residents would need to be evacuated to safer areas. For a flood scenario of at least 4 m, the coordination and emergency management of the Municipality of Olhão would be compromised since the City Hall would be flooded. Regarding health services, it should be noted that the Olhão Health Center would not be flooded by any of the scenarios. For the 2 m scenario, a primary school with 342 students and integrated preschool would be flooded. The implementation of a warning system, the removal of the rubble, the establishment of groups to assess the stability of damaged buildings and the logistics, associated with the setting up of evacuation camps, are tasks that must be properly planned and articulated between the various levels of civil protection. The structural and human vulnerabilities estimated in the present study and the means that will be necessary for an effective response, indicate that the capacity of local level will not be sufficient. Therefore, the participation of the regional, national and even international levels will be necessary.*

## **Keywords**

*Tsunami, Olhão, scenery, elevation, susceptible areas, vulnerabilities.*



## ÍNDICE

|                                                                                                           |        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Agradecimentos.....                                                                                       | V      |
| Resumo.....                                                                                               | viii   |
| Abstract.....                                                                                             | x      |
| ÍNDICE DE FIGURAS.....                                                                                    | xvi    |
| ÍNDICE DE TABELAS.....                                                                                    | xxi    |
| ÍNDICE DE GRÁFICOS.....                                                                                   | xxiv   |
| ÍNDICE DE EQUAÇÕES.....                                                                                   | xxvi   |
| Siglas e Abreviaturas.....                                                                                | xxviii |
| 1. INTRODUÇÃO.....                                                                                        | 1      |
| 1.1. Tsunamis: definição, características, medidas de prevenção e de mitigação.....                       | 4      |
| 1.1.1. Os maiores eventos mundiais.....                                                                   | 9      |
| 1.1.2. Os maiores tsunamis que atingiram o Algarve.....                                                   | 12     |
| 1.1.3. Sistemas de Monitorização, Alerta e Aviso para Tsunamis.....                                       | 16     |
| 1.2. A legislação de Proteção Civil e o risco de tsunamis em Portugal.....                                | 18     |
| 1.3. Objetivos da tese.....                                                                               | 21     |
| 1.4. Estrutura da tese.....                                                                               | 21     |
| 1.5. Motivação para a realização da presente tese.....                                                    | 22     |
| 2. CARACTERIZAÇÃO DO CONCELHO DE OLHÃO.....                                                               | 23     |
| 2.1. Hipsometria.....                                                                                     | 24     |
| 2.2. População.....                                                                                       | 26     |
| 2.3. Ocupação de solo.....                                                                                | 27     |
| 2.4. O Parque Natural da Ria Formosa.....                                                                 | 28     |
| 3. METODOLOGIA.....                                                                                       | 33     |
| 3.1. Criação de cenários.....                                                                             | 34     |
| 3.2. Modelo digital do terreno e identificação das áreas suscetíveis de serem inundadas por tsunamis..... | 35     |

|                                                                                                                                                |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.3. Identificação do número de edifícios localizados dentro das áreas suscetíveis de serem inundadas e análise das suas vulnerabilidades..... | 39  |
| 3.4. Identificação do número de residentes localizados em áreas de inundação e análise das suas vulnerabilidades.....                          | 41  |
| 3.5. Identificação de pontos sensíveis.....                                                                                                    | 41  |
| 3.6. Identificação de possíveis Zonas de Refúgio (ZR) e de Zonas de Concentração e Apoio à População (ZCAP).....                               | 43  |
| 4. RESULTADOS.....                                                                                                                             | 45  |
| 4.1. Identificação de elementos em perigo para cada um dos cenários considerados.....                                                          | 45  |
| 4.2. Vulnerabilidade do edificado e estimativa do número de desalojados para cada um dos cenários considerados.....                            | 52  |
| 4.3. Vulnerabilidade humana.....                                                                                                               | 67  |
| 4.4. Análises efetuadas para as comunidades de Olhão, Ilha de Armona e da Fuseta.....                                                          | 71  |
| 4.5. Pontos sensíveis.....                                                                                                                     | 75  |
| 4.6. Identificação de locais que podem ser utilizados como Zonas de Refúgio (ZR) e de Zonas de Concentração e Apoio à População (ZCAP).....    | 90  |
| 5. DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....                                                                                                                | 92  |
| 6. CONCLUSÕES E PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS.....                                                                                             | 97  |
| 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....                                                                                                             | 106 |
| ANEXOS.....                                                                                                                                    | 113 |
| ANEXO 1 - Estados Membro da Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO.....                                                          | 114 |
| ANEXO 2 - Sinalética para áreas expostas ao risco de tsunami.....                                                                              | 115 |
| ANEXO 3 - Enquadramento geográfico do concelho de Olhão.....                                                                                   | 115 |
| ANEXO 4 - Nomenclatura de Unidades Territoriais (NUTS).....                                                                                    | 116 |
| ANEXO 5 - Mapa de concentração demográfica por freguesia.....                                                                                  | 116 |
| ANEXO 6 - Parque Natural da Ria Formosa: localização das penínsulas, ilhas barreira e barras de maré.....                                      | 117 |

|                                                                                                                         |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ANEXO 7 - Camada vetorial com os pontos cotados utilizados no cálculo do modelo digital do concelho de Olhão.....       | 117 |
| ANEXO 8 - Camada vetorial resultante da interseção da área inundada no Cenário de 10 m com a da BGRI.....               | 118 |
| ANEXO 9 - Distância máxima alcançada pela inundação (1 762 m), no cenário de 10 m, na comunidade costeira de Olhão..... | 118 |
| ANEXO 10 - Distância máxima alcançada pela inundação (664 m), no cenário de 10 m, na comunidade costeira da Fuseta..... | 119 |
| ANEXO 11 - Quebra-mares (breakwaters).....                                                                              | 119 |
| ANEXO 12 - Paredões (seawalls).....                                                                                     | 120 |
| ANEXO 13 - Florestas controladas.....                                                                                   | 120 |



## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1:</b> Mapa tectónico simplificado do limite entre as placas Eurásia e Núbia. ....                                                                                             | 1  |
| <b>Figura 2:</b> Imagem de Fukushima (Japão) antes e depois de ser atingido pelo Tsunami de 2011. ....                                                                                   | 4  |
| <b>Figura 3:</b> Esquema da ocorrência de um tsunami. ....                                                                                                                               | 5  |
| <b>Figura 4:</b> Representação gráfica em percentagens dos tipos de fenómenos que estiveram na origem de tsunamis. ....                                                                  | 6  |
| <b>Figura 5:</b> Algumas propriedades dos tsunamis. ....                                                                                                                                 | 8  |
| <b>Figura 6:</b> Variação da velocidade de propagação e comprimento de onda de um tsunami em função da profundidade do fundo do mar. ....                                                | 8  |
| <b>Figura 7:</b> Tempo de propagação do Tsunami de 2004 (em horas). ....                                                                                                                 | 10 |
| <b>Figura 8:</b> Histórico de tsunamis que ocorreram na costa de Sanriku e danos resultantes. ....                                                                                       | 11 |
| <b>Figura 9:</b> Isossistas (MM) do sismo de 27 de dezembro de 1722. ....                                                                                                                | 13 |
| <b>Figura 10:</b> Isossistas (MM) do sismo de 1 de novembro de 1755. ....                                                                                                                | 14 |
| <b>Figura 11:</b> Possíveis localizações do epicentro do sismo de 1 de novembro de 1755. ..                                                                                              | 15 |
| <b>Figura 12:</b> Hipsometria do concelho de Olhão até à cota de 50 m. ....                                                                                                              | 25 |
| <b>Figura 13:</b> Zona de Proteção Especial da Ria Formosa. ....                                                                                                                         | 29 |
| <b>Figura 14:</b> Exemplos do edificado existente no lado Norte da Ilha de Armona. ....                                                                                                  | 31 |
| <b>Figura 15:</b> Esquema da metodologia aplicada no presente estudo. ....                                                                                                               | 34 |
| <b>Figura 16:</b> Esquema da metodologia utilizada no cálculo do modelo digital do terreno do concelho de Olhão e das áreas suscetíveis de serem inundadas pela ação de um tsunami. .... | 35 |
| <b>Figura 17:</b> Áreas suscetíveis de serem inundadas pelo deslocamento de tsunamis até às cotas de 2 m; 4 m; 6 m; 8 m; 10 m. ....                                                      | 37 |
| <b>Figura 18:</b> Delimitação das áreas suscetíveis de inundação utilizando-se isolinhas para os cenários de 2 m, 4 m, 6 m, 8 m e de 10 m. ....                                          | 38 |
| <b>Figura 19:</b> Representação da área de inundação para um Tsunami que se desloca até à cota de 2 m. ....                                                                              | 46 |
| <b>Figura 20:</b> Representação da área de inundação para um Tsunami que se desloca até à cota de 4 m. ....                                                                              | 47 |

|                                                                                                                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 21:</b> Representação da área de inundação para um Tsunami que se desloca até à cota de 6 m. ....                                                                          | 49 |
| <b>Figura 22:</b> Representação da área de inundação para um Tsunami que se desloca até à cota de 8 m. ....                                                                          | 50 |
| <b>Figura 23:</b> Representação da área de inundação para um Tsunami que se desloca até à cota de 10 m. ....                                                                         | 51 |
| <b>Figura 24:</b> Número de edifícios existentes no concelho de Olhão em 2011. ....                                                                                                  | 54 |
| <b>Figura 25:</b> Tipologia de edifícios com base na capacidade de resistência das construções e do número de pisos. ....                                                            | 59 |
| <b>Figura 26:</b> Funções de danos para diferentes tipologias de edifícios.....                                                                                                      | 61 |
| <b>Figura 27:</b> Matriz de danos para edifícios. ....                                                                                                                               | 62 |
| <b>Figura 28:</b> Escala do nível de danos em edifícios. ....                                                                                                                        | 63 |
| <b>Figura 29:</b> Representação dos quarteirões da BGRI relativos à área edificada da cidade de Olhão e da área de inundação para um Tsunami que se desloca até à cota de 10 m. .... | 71 |
| <b>Figura 30:</b> Representação dos quarteirões da BGRI relativos à área edificada da Fuseta e da área de inundação para um Tsunami que se desloca até à cota de 10 m. ....          | 74 |
| <b>Figura 31:</b> Área inundada para o cenário de 2 m e localização dos locais destinados ao estacionamento de viaturas na freguesia de Olhão. ....                                  | 77 |
| <b>Figura 32:</b> Área inundada para o cenário de 4 m e localização dos locais destinados ao estacionamento de viaturas na freguesia de Olhão. ....                                  | 77 |
| <b>Figura 33:</b> Área inundada para o cenário de 2 m e localização dos locais destinados ao estacionamento de viaturas na Fuseta. ....                                              | 78 |
| <b>Figura 34:</b> Porto de pesca, marina, grupo naval e estaleiro identificados na freguesia de Olhão e áreas inundadas para o cenário de 2 m. ....                                  | 79 |
| <b>Figura 35:</b> Portos de pesca, marinas e estaleiros identificados na Fuseta e áreas inundadas para o cenário de 2 m. ....                                                        | 79 |
| <b>Figura 36:</b> Descrição das substâncias perigosas existentes na UAG de Olhão. ....                                                                                               | 83 |
| <b>Figura 37:</b> Unidade Autónoma de Gás Natural Liquefeito de Olhão (UAG). ....                                                                                                    | 83 |
| <b>Figura 38:</b> Localização da UAG de Olhão, dentro das áreas suscetíveis de inundação para o cenário de 4 m. ....                                                                 | 84 |

|                                                                                                                                                                                               |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Figura 39:</b> Áreas industriais identificadas em Olhão e áreas inundadas para o cenário de 4 m. ....                                                                                      | 85  |
| <b>Figura 40:</b> Áreas industriais identificadas em Olhão e áreas inundadas para o cenário de 10 m. ....                                                                                     | 85  |
| <b>Figura 41:</b> Percentagem do edificado atingido pela altura da água na sequência de tsunami (UARS) e percentagem da distância percorrida pela inundação (WISC) na região do Algarve. .... | 95  |
| <b>Figura 42:</b> Quebra mares existentes em Kamaishi (Japão) e o seu efeito na propagação de tsunamis. ....                                                                                  | 101 |
| <b>Figura 43:</b> Comportas hidráulicas que protegeram a cidade de Fudai (Japão) do impacto do tsunami de 2011. ....                                                                          | 101 |
| <b>Figura 44:</b> Edifício destinado à evacuação da população para cotas superiores em caso de tsunami na cidade de Minami-Sanriku. ....                                                      | 102 |
| <b>Figura 45:</b> Estados Membro da Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO. ....                                                                                                | 114 |
| <b>Figura 46:</b> Pictogramas a utilizar em áreas expostas ao risco de tsunami. ....                                                                                                          | 115 |
| <b>Figura 47:</b> Enquadramento geográfico do concelho de Olhão. ....                                                                                                                         | 115 |
| <b>Figura 48:</b> Divisão Territorial NUTS 2013. ....                                                                                                                                         | 116 |
| <b>Figura 49:</b> Mapa de concentração demográfica do concelho por freguesia. ....                                                                                                            | 116 |
| <b>Figura 50:</b> Parque Natural da Ria Formosa. Representação das ilhas barreira e das barras de maré. ....                                                                                  | 117 |
| <b>Figura 51:</b> Pontos cotados do concelho de Olhão, utilizados no cálculo do MDT. ....                                                                                                     | 117 |
| <b>Figura 52:</b> Identificação dos quarteirões localizados dentro da área suscetível de ser inundada, no caso do cenário de 10 m. ....                                                       | 118 |
| <b>Figura 53:</b> Representação da distância máxima alcançada pela inundação expectável no cenário de 10 m na comunidade costeira de Olhão. ....                                              | 118 |
| <b>Figura 54:</b> Representação da distância máxima alcançada pela inundação expectável no cenário de 10 m, na comunidade costeira de Fuseta. ....                                            | 119 |
| <b>Figura 55:</b> Quebra mar de Kamaishi (japão), antes do tsunami de 2011.....                                                                                                               | 119 |
| <b>Figura 56:</b> Paredões erguidos ao longo da costa Norte do Japão, após o tsunami de 2011. ....                                                                                            | 120 |

|                                                                                                                               |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Figura 57:</b> Exemplo de florestas para mitigar os efeitos de tsunamis na baía de Sendai antes do Tsunami de 2011. ....   | 120 |
| <b>Figura 58:</b> Exemplo de florestas para mitigar os efeitos de tsunamis na baía de Sendai, depois do Tsunami de 2011. .... | 121 |



## ÍNDICE DE TABELAS

|                                                                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 1:</b> Características dos diferentes tipos de onda. ....                                                                                         | 7  |
| <b>Tabela 2:</b> Freguesias do concelho de Olhão e respetivas áreas. ....                                                                                   | 24 |
| <b>Tabela 3:</b> Caracterização do relevo do concelho de Olhão segundo classes altimétricas. ....                                                           | 25 |
| <b>Tabela 4:</b> População residente em 1991, 2001 e 2011 no concelho de Olhão e nas suas freguesias. ....                                                  | 26 |
| <b>Tabela 5:</b> Tipos de ocupação de solo no concelho de Olhão. ....                                                                                       | 27 |
| <b>Tabela 6:</b> Número de pessoas residentes e de edifícios suscetíveis de serem inundados para o cenário de 2 m. ....                                     | 46 |
| <b>Tabela 7:</b> Número de pessoas residentes e de edifícios suscetíveis de serem inundados para o cenário de 4 m. ....                                     | 48 |
| <b>Tabela 8:</b> Número de pessoas residentes e de edifícios suscetíveis de serem inundados para o cenário de 6 m. ....                                     | 49 |
| <b>Tabela 9:</b> Número de pessoas residentes e de edifícios suscetíveis de serem inundados para o cenário de 8 m. ....                                     | 50 |
| <b>Tabela 10:</b> Número de pessoas residentes e de edifícios suscetíveis de serem inundados para o cenário de 10 m. ....                                   | 51 |
| <b>Tabela 11:</b> Número de edifícios suscetíveis a inundações, distribuídos por cenários e número de pisos. ....                                           | 53 |
| <b>Tabela 12:</b> Número de edifícios existentes no concelho de Olhão, segundo o número de pisos. ....                                                      | 55 |
| <b>Tabela 13:</b> Número e percentagens de edifícios segundo tipologias construtivas no concelho de Olhão. ....                                             | 56 |
| <b>Tabela 14:</b> Distribuição dos edifícios por tipologias construtivas e por freguesia. ....                                                              | 57 |
| <b>Tabela 15:</b> Número e percentagens de edifícios localizados nas áreas de inundações, para cada um dos cenários e segundo tipologias construtivas. .... | 57 |
| <b>Tabela 16:</b> Número de edifícios localizados nas áreas de inundações, para cada um dos cenários e segundo tipologias construtivas. ....                | 61 |

|                                                                                                                                                                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 17:</b> Número de edifícios distribuídos por classes de danos e por tipologias construtivas. Estimativa do número de desalojados no concelho de Olhão para cada um dos cenários. ....                             | 64 |
| <b>Tabela 18:</b> Nº de edifícios de Olhão distribuídos por ano de construção. ....                                                                                                                                         | 67 |
| <b>Tabela 19:</b> Número e percentagens de residentes identificados dentro das áreas suscetíveis de serem inundadas para cada cenário. ....                                                                                 | 68 |
| <b>Tabela 20:</b> Número de edifícios e residentes localizados dentro das áreas suscetíveis de serem inundadas na comunidade costeira de Olhão para o cenário de 10 m. ....                                                 | 72 |
| <b>Tabela 21:</b> Número de edifícios e residentes localizados dentro das áreas suscetíveis de serem inundadas na Ilha de Armona. ....                                                                                      | 73 |
| <b>Tabela 22:</b> Número de edifícios e residentes apurados dentro das áreas suscetíveis de serem inundadas, na comunidade costeira da Fuseta. ....                                                                         | 74 |
| <b>Tabela 23:</b> Edifícios afetos a serviços essenciais que podem ficar inundados para cada cenário considerado. ....                                                                                                      | 80 |
| <b>Tabela 24:</b> Postos de abastecimento, armazenamento e distribuição de combustíveis identificados em áreas suscetíveis de inundação. ....                                                                               | 82 |
| <b>Tabela 25:</b> Lares para idosos e centros de dia identificados em áreas suscetíveis de inundação para cada um dos cenários . ....                                                                                       | 86 |
| <b>Tabela 26:</b> Escolas, Creches e Jardins de Infância identificados em áreas suscetíveis de inundação para cada cenário. ....                                                                                            | 87 |
| <b>Tabela 27:</b> Pensões, Hotéis e Parques de Campismo que podem ficar inundados para cada um dos cenários. ....                                                                                                           | 89 |
| <b>Tabela 28:</b> Identificação das zonas de refúgio e das zonas de concentração e apoio à população localizadas acima da cota dos 10 m. ....                                                                               | 91 |
| <b>Tabela 29:</b> Número e percentagem de edifícios localizados em áreas suscetíveis de serem inundadas no concelho de Olhão para os cenários de 3, 5 e 7 m e os resultados obtidos por Nunes, Ferreira e Luís (2009). .... | 96 |



## ÍNDICE DE GRÁFICOS

|                                                                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Gráfico 1:</b> Número de edifícios localizados dentro das áreas suscetíveis de serem inundadas para cada um dos cenários considerados. ....          | 54 |
| <b>Gráfico 2:</b> Representação dos danos expectáveis nos edifícios de Olhão para cada um dos cenários e por níveis de danos no concelho de Olhão. .... | 66 |
| <b>Gráfico 3:</b> Representação do número de residentes localizados em área de inundação por tsunami para cada um dos cenários. ....                    | 68 |
| <b>Gráfico 4:</b> Caracterização das faixas etárias da população suscetível à inundação por tsunami para cada um dos cenários considerados. ....        | 70 |
| <b>Gráfico 5:</b> Número de crianças a evacuar para cada um dos cenários considerados. ....                                                             | 88 |
| <b>Gráfico 6:</b> Relação entre a cota alcançada por tsunamis e o número de edifícios suscetíveis de serem inundadas no concelho de Olhão. ....         | 95 |



## ÍNDICE DE EQUAÇÕES

|                                                                           |   |
|---------------------------------------------------------------------------|---|
| <b>Equação 1:</b> Cálculo da velocidade de propagação de um tsunami. .... | 8 |
|---------------------------------------------------------------------------|---|



## Siglas e Abreviaturas

ANPC - Autoridade Nacional de Proteção Civil

ANEPC - Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil

BGRI - Base Geográfica de Referenciação de Informação

CAOP - Carta Administrativa Oficial de Portugal

CARIBE-EWS - *Tsunami and Other Coastal Hazards Warning System for the Caribbean and Adjacent Regions*

CIGEOE - Centro de Informação Geoespacial do Exército

CNAT - Centro Nacional de Alerta de Tsunamis

CNIG - Centro Nacional de Informação Geográfica

DGT - Direção-Geral do Território

GNL - Gás Natural Liquefeito

GNR - Guarda Nacional Republicana

ha – Hectares

Hab/km<sup>2</sup> – Habitantes por km<sup>2</sup>

ICG/NEAMTWS - *Tsunami Early Warning and Mitigation System in the North-eastern Atlantic, the Mediterranean and connected seas*

ICNF - Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas

INE - Instituto Nacional de Estatística

IOC - *Intergovernmental Oceanographic Commission*

IOTWS - *Indian Ocean Tsunami Warning System*

IPMA - Instituto Português do Mar e da Atmosfera

km<sup>2</sup> - Quilómetros quadrados

l - Litros

M - Magnitude

m - Metros

m<sup>3</sup> - Metros Cúbicos

MDT - Modelo Digital do Terreno

NUTS - Nomenclatura de Unidades Territoriais para Fins Estatísticos

PC - Proteção Civil

PMDFCI - Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios

PMEPC - Plano Municipal de Emergência de Proteção Civil

PNRF - Parque Natural da Ria Formosa  
PORDATA - Bases de Dados Portugal Contemporâneo  
PSP - Polícia de Segurança Pública  
PTWS - *Pacific Tsunami Warning System*  
SCHEMA - *Scenarios for Hazard-induced Emergencies Management*  
SIG - Sistema de Informação Geográfica  
SMPC - Serviço Municipal de Proteção Civil  
UAG - Unidade Autónoma de Gás Natural Liquefeito de Olhão  
UFMF - União de Freguesias de Moncarapacho e Fuseta  
UNESCO - *United Nations Educational Scientific and Cultural Organization*  
ZCAP - Zona de Concentração e Apoio à População  
ZCR - Zona de Concentração e Reserva  
ZPE - Zona de Proteção Especial  
ZR - Zona de Refúgio



## 1. INTRODUÇÃO

A ocorrência de tsunamis em Portugal tem sido responsável por elevados impactos materiais e sociais nas áreas localizadas no seu litoral. Os sismos de 1722 e 1755 são exemplos de eventos sísmicos responsáveis pela ocorrência de tsunamis com impactos significativos na região do Algarve (Baptista e Miranda 2009). Os danos provocados pela ação sísmica, associados à ocorrência de tsunamis poderão ser responsáveis pela ocorrência de catástrofes nesta região. A costa algarvia localiza-se perto da fronteira entre as placas tectónicas Euro-asiática e Núbia (Figura 1). Nessa zona, verifica-se uma atividade sísmica significativa, devido à interação entre as duas placas, capaz de gerar tsunamis (Baptista e Miranda 2009).



**Figura 1:** Mapa tectónico simplificado do limite entre as placas Eurásia e Núbia. Fonte: Alfaro e Fernández 2019.

Em 1722, a 27 de dezembro, observou-se a ocorrência de um tsunami na costa algarvia, causado por um sismo com uma intensidade estimada em 6.5 na escala de Richter e com epicentro no mar. Este sismo foi sentido em toda a região do Algarve, desde o Cabo de S. Vicente até à fronteira com Espanha (Mendonça 1758). As consequências documentadas reportam diversos danos ao nível do edificado em Tavira e zonas adjacentes. Em 1755, o Algarve foi atingido por um tsunami gerado na sequência de um sismo com epicentro no mar e com uma magnitude de 8.5 (Baptista e Miranda 2009; Chester e Chester 2010). Este acontecimento provocou cerca de 1 000 mortos, só na região do Algarve que, no ano de 1732 apresentava um total de 63 682 habitantes (Silva-Lopes 1841; Magalhães 1999).

Segundo os censos de 2011 (INE 2012) a população algarvia era, em 2011, de 451 006 habitantes. Tendo em conta que uma parte significativa da ocupação humana e de

estruturas se localizam no litoral, importa refletir sobre a capacidade de resposta face à ocorrência de um tsunami com características semelhantes ao de 1755. Nesse sentido, é fundamental estudar as vulnerabilidades sociais e estruturais da região do Algarve a este tipo de perigo natural.

A vulnerabilidade corresponde às condições determinadas por fatores físicos, sociais, económicos e ambientais que aumentam a suscetibilidade de um indivíduo, de uma comunidade, de ativos ou sistemas, relativamente aos impactos gerados por perigos (EIDR 2009). No caso de tsunamis, a análise da vulnerabilidade está relacionada com diversos aspetos que devem ser tidos em consideração: a distância entre a linha de costa e as áreas urbanas, a configuração da costa e a sua batimetria, a existência de barreiras de proteção costeira com vista a reduzir o impacto de um tsunami nas áreas urbanas, a profundidade que a inundação pode atingir, a resistência das construções existentes nos locais possivelmente afetados, o desenvolvimento socioeconómico nas áreas expostas, a perceção do risco por parte da população presente e o reconhecimento das medidas de auto proteção difundidas pelos avisos emitidos, de modo a possibilitar uma evacuação rápida e autónoma para locais mais seguros (Papathoma et al. 2003).

Até ao ano de 2003, os estudos da vulnerabilidade eram demasiado simples e pouco dinâmicos, atribuindo a todos os edifícios e espaços localizados nas áreas suscetíveis de serem inundadas, uma classificação uniforme (Papathoma et al. 2003). Contudo, a partir desta data, realizaram-se estudos que demonstraram que a vulnerabilidade é uma componente dinâmica, que depende da conjugação de diversos parâmetros e que influencia o nível do risco. Assim, a população e as infraestruturas localizadas em áreas consideradas suscetíveis, não apresentam um nível de risco uniforme, uma vez que a vulnerabilidade é um fator variável (Alexander 2000).

Um tsunami pode ser um evento extremo, que ocorre no mar e gera ondas que podem ser capazes de destruir extensas áreas urbanas, em poucos minutos e podem ocorrer em qualquer local do mundo, inclusive em estuários (Baptista e Miranda 2009). Para além dos impactos associados aos sismos de 1722 e 1755 em Portugal, existem vários exemplos de tsunamis que têm ocorrido em vários países e que têm sido responsáveis por um elevado número de mortos.

A ocorrência do tsunami de 2004, na Indonésia, foi divulgada por todo o mundo, através da transmissão televisiva de imagens. Até esta data, a percepção pública sobre este tipo de ocorrências era limitada. Este tsunami teve origem num sismo de magnitude estimada entre os 9.0 e os 9.3 na escala de Richter (Fujii e Satake 2007), com epicentro localizado a 155 km a oeste da Ilha de Sumatra (Saatcioglu, Ghobarah e Nistor 2005). Os seus efeitos foram desastrosos, sobretudo na cidade de Banda Aceh, a Norte da Ilha de Sumatra (Indonésia). Porém, as suas consequências chegaram a outros locais mais longínquos. No total, foram registadas mais de 310 000 ocorrências em diversos países localizados no oceano Índico, chegando a atingir o continente africano (Saatcioglu, Ghobarah e Nistor 2005). As ondas geradas na zona do epicentro propagaram-se no oceano Índico, ao longo de várias horas e atingiram a Somália e o Quênia, entre 8 a 12 horas após a ocorrência do sismo, causando só nesta área um total de 298 mortos (Fujii e Satake 2007; Saatcioglu, Ghobarah e Nistor 2005). O tsunami de 2004 serviu de impulso ao desenvolvimento da ciência nesta área, com o objetivo de se compreender a sua origem, a fim de prevenir riscos futuros. Outros eventos responsáveis por elevados impactos ocorreram em Samoa, a 29 de setembro de 2009 e no Chile, a 27 de fevereiro de 2010, tendo causado 189 e 124 mortos respetivamente (Okal et al. 2010; Fritz et al. 2011). Todavia, sete anos após a ocorrência do tsunami na Ilha de Sumatra (Indonésia) ocorreu um outro evento responsável por um conjunto de danos elevados. Um sismo com uma magnitude de 9.0 (Suppasri et al. 2013) gerou um tsunami na costa do Japão, em 2011, que provocou um acidente na central nuclear de Fukushima e um derrame de toneladas de materiais radioativos (AH 2021) e tornou-se no *“(...) segundo maior desastre nuclear da história, sendo o maior após Chernobyl”* (AH 2021). Apesar do Japão ser um local frequentemente atingido por tsunamis, este foi o maior tsunami observado na sua história. Nem as estruturas defensivas, construídas ao longo da costa nos últimos anos, foram suficientes para impedir a penetração do mar nas áreas urbanas, causando 19 000 mortos e mais de 836 500 casas destruídas (Suppasri et al. 2013). Na Figura 2 é possível observar as diferenças provocadas na paisagem pela inundação do tsunami de 2011, na cidade de Fukushima. O cenário de destruição é evidente, sendo possível constatar os danos causados nos edifícios existentes e o desaparecimento das áreas verdes junto ao litoral.



**Figura 2:** Imagem de Fukushima (Japão) em: (a) setembro de 2010, antes do Tsunami de 2011; (b) março de 2011, depois de ser atingido pelo Tsunami de 2011. Fonte: Google Earth 2021.

Os tsunamis atrás enumerados reforçaram a importância da preparação das comunidades costeiras, para uma resposta rápida, perante uma situação de catástrofe, salvaguardando as vidas humanas e reduzindo as suas perdas (United Nations 2020).

O impacto social provocado na sequência de uma catástrofe, afeta de forma prolongada no tempo as populações atingidas, alterando as suas rotinas e o seu padrão de normalidade. Porém, os impactos vão muito além da vertente social. Os impactos económicos e ambientais podem, igualmente, ser muito significativos. Uma sociedade pode levar muitos anos para conseguir alcançar a sua recuperação, até atingir um novo equilíbrio. O fortalecimento da resiliência das populações locais é fundamental para as capacitar para uma recuperação rápida, com vista ao estabelecimento de uma nova normalidade. A ausência de planeamento, ou um fraco planeamento, aumentam significativamente a vulnerabilidade das comunidades costeiras instaladas, cada vez mais urbanizadas e turísticas. Em muitos casos, qualquer tipo de evento que provoque a subida do nível médio da água do mar em apenas 1 m, pode constituir-se como uma ameaça para as áreas do litoral (Clague, Munro e Murty 2003).

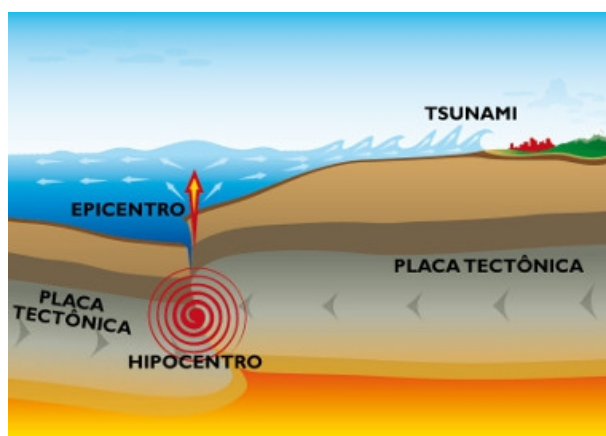
### **1.1. Tsunamis: definição, características, medidas de prevenção e de mitigação**

Tsunami é uma palavra de origem japonesa, cuja representação original é constituída por dois caracteres tsu e nami. Numa tradução direta, corresponde a onda de porto (United Nations 2020). Na América do Sul surgiu o termo maremoto para identificar este tipo de perigo, uma palavra de origem latina, resultante da junção de

dois termos mare e motus, cuja tradução significa movimento do mar. Contudo, a expressão japonesa é a mais utilizada na comunidade científica, o que acabou por tornar a palavra universal.

Um tsunami corresponde a uma série de ondas geradas na sequência de uma perturbação no fundo do mar que é responsável pela formação de uma massa de água que se desloca em todas as direções e que se propaga pelos oceanos. Ao atingir a plataforma continental, devido à diminuição da profundidade, a massa de água adquire uma maior altura, que pode atingir vários metros (Antunes do Carmo 2000). A sua causa mais frequente está relacionada com a ocorrência de sismos submarinos de grande magnitude (United Nations 2020).

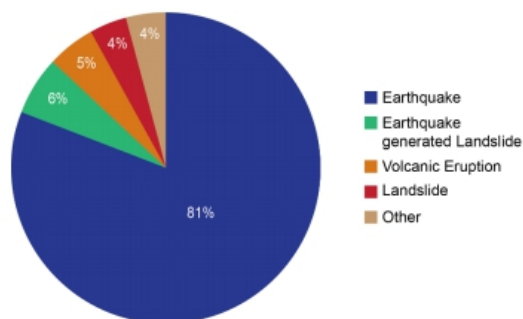
A superfície da crosta terrestre está dividida em várias placas tectónicas, que se deslocam devido aos movimentos do magma no interior da terra (Alta Montanha 2019). A fricção que ocorre entre as placas, resultante do seu movimento, cria uma tensão devido à acumulação de energia. Quando esta tensão se liberta, de forma imprevisível, na crosta oceânica dá origem a um sismo submarino, que gera uma deslocação vertical da massa de água. Na Figura 3 apresenta-se um esquema de uma zona de subdução, resultante da colisão de uma placa oceânica com uma placa continental. Quando se geram sismos nestas zonas é muito comum existirem movimentações da crosta que podem provocar tsunamis.



**Figura 3:** Esquema da ocorrência de um tsunami. Fonte: <https://www.preparaenem.com/geografia/tsunami.htm>. Acedido a 03 de março de 2021.

A duração de um sismo com epicentro na crosta oceânica é um forte indicador da intensidade e da dimensão de um possível tsunami. Sismos com uma magnitude de 9.0, como os que ocorreram na Indonésia (2004) e no Japão (2011), podem provocar

vibrações dos terrenos que podem durar alguns minutos. Quanto mais longo e intenso for um sismo marinho maior é a probabilidade de se gerarem tsunamis com capacidades destrutivas. Existem, ainda, outras causas que podem estar na origem deste tipo de perigo natural, como é o caso das erupções vulcânicas, deslizamentos de taludes submersos, explosões e avalanches (United Nations 2020; Antunes do Carmo 2000). Para além destas causas, vários autores consideram que o impacto de um meteorito também pode originar um tsunami (United Nations 2020; Antunes do Carmo 2000). De acordo com os dados publicados pela UNESCO, cerca de 81% dos tsunamis mundiais confirmados tiveram origem sísmica (Figura 4).



**Figura 4:** Representação gráfica em percentagens dos tipos de fenómenos que estiveram na origem de tsunamis. Fonte: United Nations (2020).

Existem três tipos de tsunamis: local, regional ou distante. O que os distingue é a distância entre o local onde teve origem (epicentro) e a área costeira atingida. Distâncias entre os 100 e os 200 km, representam eventos locais, em que o tempo de deslocação da água corresponde a um período inferior a uma hora. Nestes casos, o seu impacto pode ser de grande dimensão, mas limitado a uma área específica. Quando ocorre um evento deste tipo, na maioria das vezes causado por sismos de grande magnitude, é habitual o sismo ser sentido com grande intensidade pelas populações localizadas nas zonas ao longo da costa (United Nations 2020). Para distâncias maiores, até aos 1 000 km, trata-se de um evento regional e prevê-se que o tempo de chegada possa variar entre uma e três horas, após ser gerado. Este tipo de tsunami é o mais comum e as suas consequências podem ser menos destrutivas. Devido à longa distância entre as zonas litorais e o epicentro, é frequente os sismos geradores não serem percecionados pela população (United Nations 2020). Para distâncias acima dos 1 000 km, entre o epicentro e a área afetada, espera-se um tempo de chegada do

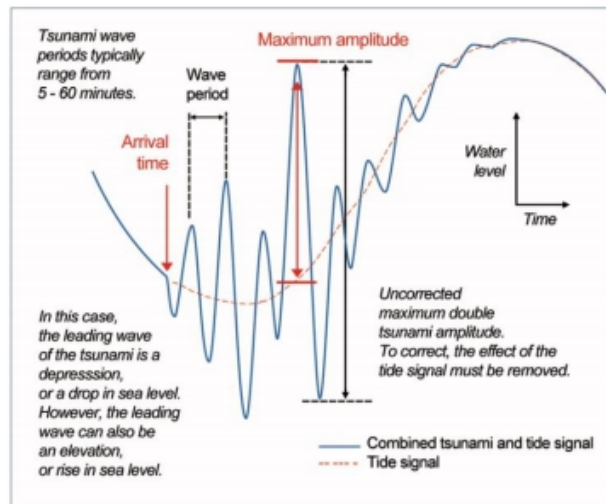
tsunami superior a 3 horas. A sua ocorrência é a menos frequente, mas pode ocorrer várias vezes em cada século. Este tipo de tsunamis pode ter origem em tsunamis locais cujas ondas se deslocam a grandes distâncias, podendo atingir locais muito distantes (United Nations 2020).

Aspetos como o período, a altura das ondas e o tempo de chegada, são fundamentais para caracterizar o evento e prever a sua gravidade. O período da onda corresponde ao tempo decorrido entre duas cristas de onda que, em caso de tsunami, pode corresponder a longos períodos, em média entre os 5 e os 60 minutos (United Nations 2020). A seguir à primeira onda, pode seguir-se a ocorrência de uma série de outras, distanciadas entre si por intervalos temporais, que variam consoante o comprimento da onda. A Tabela 1 demonstra como o período e o comprimento de onda podem variar consoante o tipo de onda e a sua origem, permitindo, deste modo, estabelecer uma comparação entre as características de uma onda gerada na sequência de um tsunami e as demais. Quanto maior for o comprimento de onda, maior será o seu período.

**Tabela 1:** Características dos diferentes tipos de onda. Fonte: Adaptado de Gomes (2003).

| Tipo de Onda | Período     | Comprimento   | Profundidade    | Origem                     |
|--------------|-------------|---------------|-----------------|----------------------------|
| Capilar      | < 0.1 s     | < 2 cm        | profunda-rasa   | Ventos Locais              |
| Chop         | 1-10 s      | 1-10 m        | profunda-rasa   | Ventos Locais              |
| Swell        | 10-30 s     | > dezenas m   | profunda-rasa   | Tempestades distantes      |
| Seiche       | 10 min-10h  | > dezenas km  | rasa-intermédia | Vento, ressonância de maré |
| Tsunami      | 10-60 min   | > centenas km | rasa-intermédia | Perturbações submarinas    |
| Marés        | 12,4-24,8 h | > centenas km | rasa            | Astronómica                |

Quanto à altura da onda, o seu valor corresponde a, aproximadamente, metade da sua amplitude máxima, ou seja, metade da distância vertical atingida entre a crista (pico superior) e o vale (pico inferior) (Figura 5).

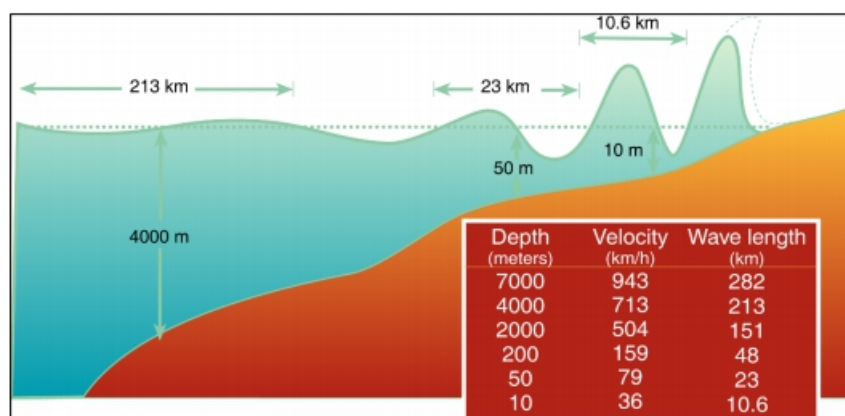


**Figura 5:** Algumas propriedades dos tsunamis Fonte: United Nations (2020).

O tempo de chegada da onda depende da velocidade de propagação do tsunami. O autor Antunes do Carmo (2000) apresenta a seguinte equação referente à velocidade dos tsunamis:

$$C = \sqrt{gh} \quad (\text{Equação 1})$$

A velocidade de propagação corresponde a  $C$ , sendo que  $g$  corresponde à aceleração da gravidade ( $g = 9.805 \text{ ms}^{-2}$ ) e  $h$  corresponde à profundidade local. Assim, conforme o exemplo da Figura 6, para uma profundidade de 4 000 m,  $C$  é igual a  $198 \text{ ms}^{-1}$ , o que corresponde a uma velocidade superior a  $700 \text{ kmh}^{-1}$  (United Nations 2020).



**Figura 6:** Variação da velocidade de propagação e comprimento de onda de um tsunami em função da profundidade do fundo do mar. Fonte: United Nations (2020).

De acordo com a Equação 1, se a profundidade diminuir, diminui a velocidade, situação que acontece junto à costa. Em contrapartida, a altura da onda aumenta significativamente. Quando um tsunami se forma, em mar alto, é comum não se conseguir observar alterações no nível da água, cuja subida corresponde a

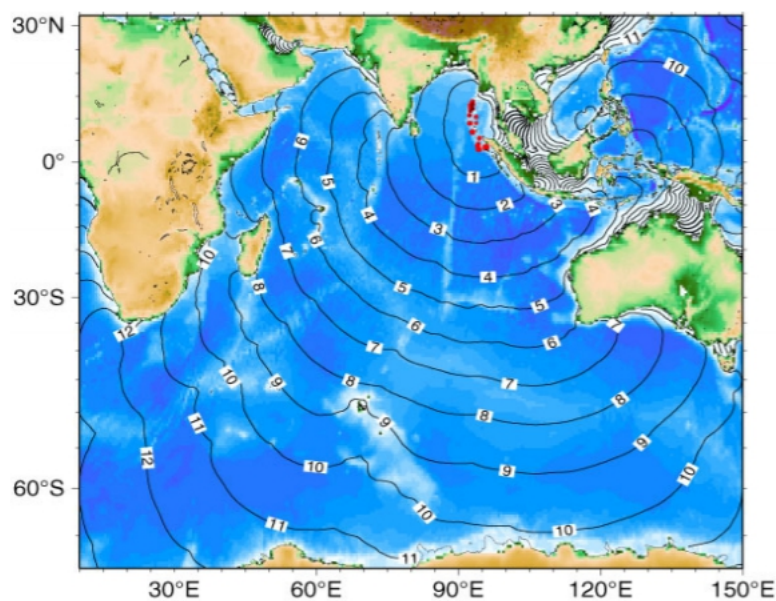
aproximadamente 1 m (Antunes do Carmo 2000). Com a diminuição da profundidade ocorre a elevação da água, podendo atingir uma altura igual ou superior a 10 m no momento da rebentação (Antunes do Carmo 2000). Na Indonésia, por exemplo, há registo de ondas que chegaram a atingir os 48.8 m de altura (Shibayama 2005), ao largo da costa, aquando o tsunami de 2004.

#### **1.1.1. Os maiores eventos mundiais**

Tal como já referido, existe um conjunto de tsunamis (e.g. Indonésia 2004, Japão 2011) que foram responsáveis por elevados impactos. Pela sua importância e pelas suas características são aqui caracterizados com maior pormenor.

A 26 de dezembro de 2004, ocorreu pelas 07:59 da hora local, um sismo com epicentro ao largo da costa da Indonésia, de magnitude entre os 9.1 e os 9.3 na escala de Richter (Saatcioglu, Ghobarah e Nistor 2005). Este sismo terá provocado o pior tsunami de que há registo e causou mais de 200 000 vítimas em vários países banhados pelo oceano Índico. Este valor inclui o número de mortos e de pessoas desaparecidas. A Indonésia registou 163 795 vítimas, seguindo-se o Sri Lanka com 35 399, a Índia com 16 389 e a Tailândia com 8 345 (Fujii e Satake 2007). Foram, ainda, afetados outros países próximos como a Malásia, a Birmânia e o Bangladesh (Saatcioglu, Ghobarah e Nistor 2005). Os efeitos do tsunami de 2004 propagaram-se à costa este do continente africano, fazendo-se sentir na Somália, na Tanzânia e no Quênia (Saatcioglu, Ghobarah e Nistor 2005). O epicentro do sismo ocorreu a cerca de 155 km a oeste da Ilha de Sumatra, a 255 km a sudeste da cidade de Banda Aceh e a uma profundidade de 30 km (Saatcioglu, Ghobarah e Nistor 2005). A sua origem esteve na rutura de uma falha, com cerca de 1 300 km de comprimento, no sentido sul/norte, com uma duração entre 8 e os 10 minutos (Saatcioglu, Ghobarah e Nistor 2005). A rotura vertical na falha terá tido um deslocamento entre os 7 e os 10 m, o que gerou um tsunami muito destrutivo (Saatcioglu, Ghobarah e Nistor 2005). De acordo com os dados captados por satélite, observou-se que, em mar alto, a altura da onda correspondia a aproximadamente 60 cm e que progredia a uma velocidade entre os 500 e 800 km/h. Todavia, ao atingir a costa da cidade de Banda Aceh, o que demorou apenas 15 minutos, a velocidade diminuiu drasticamente para valores inferiores a 100 km/h (Saatcioglu, Ghobarah e Nistor 2005). Como já referido, a velocidade de um

tsunami diminui com a profundidade do fundo do mar. A conjugação da diminuição dos fatores velocidade e profundidade, resulta na formação de ondas com maiores alturas e com uma grande força destrutiva, em que a primeira onda pode não corresponder à maior. No caso de Banda Aceh, as ondas alcançaram alturas que variaram entre os 20 e os 30 m, causando danos estruturais em áreas com elevações superiores a 12 m (Saatcioglu, Ghobarah e Nistor 2005). Porém, Shibayama (2005) refere que a maior onda observada, ao largo, atingiu os 48.8 m perto de Banda Aceh. As inundações provocadas na Ilha de Sumatra e na Tailândia, alcançaram distâncias superiores a 4 km, relativamente à linha de costa. Após a passagem de 2 horas da inundação em Banda Aceh, as ondas geradas pelo tsunami atingiram o Sri-Lanka e a costa este da Índia. Ao fim de 8 horas chegaram à costa Este de África, continuando até à África do Sul, num intervalo de tempo compreendido entre as 9 e as 12 horas após o sismo (Saatcioglu, Ghobarah e Nistor 2005) (Figura 7).



**Figura 7:** Tempo de propagação do Tsunami de 2004 (em horas). Fonte: Saatcioglu, Ghobarah e Nistor (2005).

A 11 de março de 2011, ocorreu um grande sismo no Japão, tendo sido sentido e provocado danos em toda a sua costa este (Sanriku). A sua magnitude foi de 9.0 (Suppasri et al. 2013) e originou um tsunami que terá sido o maior da história do Japão. A costa de Sanriku ocupa uma extensão de 600 km, desde o limite norte de Sendai, e ao longo de Miyagi, Iwate e Aomori (Suppasri et al. 2013) e é muitas vezes afetada por tsunamis de grandes dimensões, devido à configuração da sua costa que é por vezes

em forma de V. Por esta razão, as ondas podem atingir facilmente alturas superiores a 10 m (Suppasri et al. 2013), o que levou à construção de estruturas defensivas ao longo da costa, com o objetivo de proteger as zonas urbanas (Suppasri et al. 2013). A localização do epicentro do sismo de 2011 foi a 130 km da cidade de Sendai, no fundo oceânico e estima-se que o seu hipocentro tenha ocorrido a uma profundidade de 32 km (Andrade 2011), na zona de subducção entre as placas do Pacífico e a Norte-Americana, afetando fortemente a costa de Sanriku. Devido à dimensão deste tsunami, os quebra mares construídos nas cidades de Kamaishi e Ofunato sofreram grandes danos (Suppasri et al. 2013), não conseguindo impedir a inundação destas áreas (Suppasri et al. 2013). A altura da maior onda registada foi de 40.5 m, o que fez com que as medidas estruturais implementadas não fossem suficientes, uma vez que não estavam preparadas para um evento desta dimensão (Suppasri et al. 2013). Deste acontecimento resultaram cerca de 19 000 mortos e 836 500 casas destruídas (Suppasri et al. 2013). Na Figura 8 apresenta-se uma lista dos principais tsunamis ocorridos no Japão e que provocaram os maiores impactos na costa de Sanriku, podendo-se concluir que o tsunami de 2011 foi aquele que provocou maiores danos estruturais e o segundo em termos de mortos.

| DD/MM/YY     | Name             | Earthquake magnitude | Damage                                                           | Maximum tsunami height (m)/location  |
|--------------|------------------|----------------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| 9 July 869   | Jogan            | >8.3                 | More than 1,000 deaths                                           |                                      |
| 2 Dec 1611   | Keicho Sanriku   | >8.1                 | More than 5,000 deaths                                           |                                      |
| 15 June 1896 | Meiji Sanriku    | 8.5                  | 21,959 deaths and more than 10,000 houses destroyed              | 38.2/Ryori area, Ofunato city        |
| 3 Mar 1933   | Showa Sanriku    | 8.1                  | 3,064 deaths and 1,810 houses destroyed                          | 28.7/Ryori area, Ofunato city        |
| 22 May 1960  | Great Chilean    | 9.5                  | 142 (in Japan) and 1,625 houses destroyed                        | 22 May 1960                          |
| 11 Mar 2011  | Great East Japan | 9.0                  | 19,000 deaths and more than 836,500 houses damaged and destroyed | 40.5/Omoe-Aneyoshi area, Miyako city |

**Figura 8:** Histórico de tsunamis que ocorreram na costa de Sanriku e danos resultantes. Fonte: Suppasri et al. (2013).

O histórico de sismos e tsunamis ocorridos na costa de Sanriku (Japão) conta com outros eventos de grandes dimensões, como é o caso do tsunami ocorrido no ano de 1896. Neste evento, o sismo teve uma magnitude de 8.5 e gerou um tsunami com uma altura máxima de 38.2 m (Suppasri et al. 2013) que foi responsável pela destruição de 10 000 casas e por 22 000 mortos (Yamashita 2008a in Suppasri et al 2013) (Figura 8). É até hoje o evento com o maior número de vítimas provocadas por

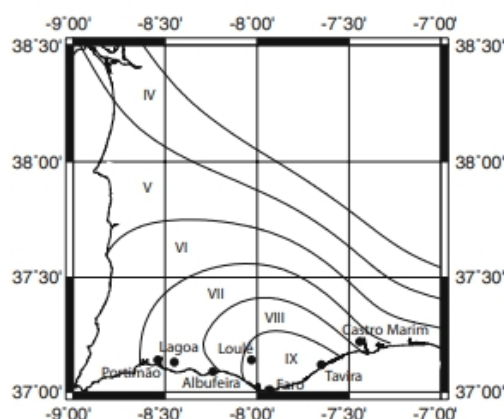
tsunamis da história japonesa. Porém, a magnitude do sismo de 2011 foi ainda maior, atingindo os 9.0, tendo superado a máxima magnitude expectável para aquela região, cuja previsão apontava para valores entre 7.5 e 8.0 na escala de Richter (Sendai City 2010).

Em 2011, a rápida emissão do aviso à população, 3 minutos após a ocorrência do sismo (Suppasri et al. 2013), permitiu a realização de uma evacuação rápida que terá contribuído para uma diminuição do número de mortos comparativamente ao ano de 1896. Este facto demonstra a importância que as medidas não estruturais assumem como um complemento às medidas estruturais existentes (Suppasri et al. 2013). Estas medidas podem ser por exemplo: o incentivo da população a uma evacuação imediata e autónoma, a identificação de infraestruturas cujas características sejam adequadas para serem utilizadas como locais de abrigo em caso de evacuação. A implementação de sistemas de aviso e alerta são fundamentais para se poder providenciar a evacuação das populações em perigo em tempo útil. No caso de Sanriku apesar das medidas estruturais não terem impossibilitado a propagação do tsunami, elas contribuíram para a redução do impacto do tsunami. A enorme discrepância observada entre o número de mortes causadas e o número de casas destruídas deveu-se à rápida evacuação, que levou as pessoas a abandonarem as suas casas, salvando as suas vidas (Suppasri et al. 2013).

#### **1.1.2. Os maiores tsunamis que atingiram o Algarve**

No século XVIII, a região do Algarve foi afetada por dois grandes sismos, nos anos de 1722 e 1755. Em ambos os casos, estes acontecimentos deram origem à formação de tsunamis (Baptista e Miranda 2009). Pela sua importância e pelas suas características são aqui caracterizados com maior pormenor.

A 27 de dezembro de 1722, entre as 17 e as 18 horas, ocorreu ao largo do Algarve, um sismo que originou um tsunami local. Estudos realizados ao longo dos anos, apontam que a localização do seu epicentro tenha sido próxima das coordenadas 37º 01'N, 7º 49'W (Baptista et al. 2007). Tendo em conta a distribuição das suas isossistas (Figura 9) verifica-se que o sismo foi sentido em várias regiões do continente (Alentejo, Setúbal e Lisboa) e também em Espanha.

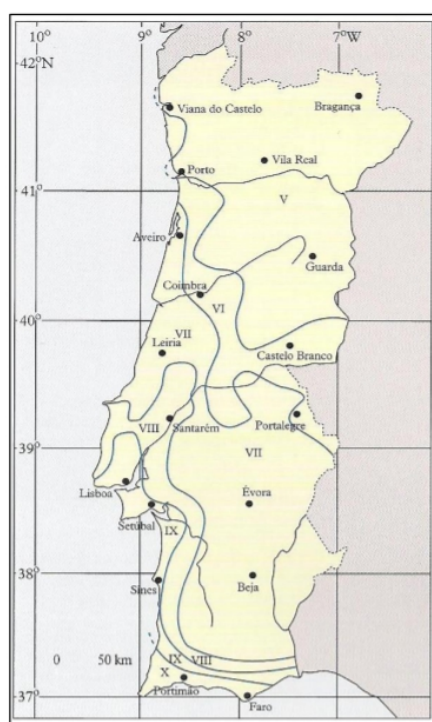


**Figura 9:** Isossistas (MM) do sismo de 27 de dezembro de 1722. Fonte: Baptista et al. (2007).

A conjugação dos impactos causados pelos dois acontecimentos, o sismo e o tsunami, provocaram danos consideráveis nas áreas de Loulé, Faro e Tavira (Baptista et al. 2007). Em Tavira, houve registo de 27 casas colapsadas e outros edifícios danificados, cujo número e gravidade dos danos não são conhecidos (Mendonça 1758). O convento de São Francisco terá sido muito afetado, apresentando uma grande destruição. Em Faro, houve relatos de casas sem telhados e a ocorrência de danos leves em vários edifícios. Em Loulé, toda a vila e o Convento dos Capuchos foram destruídos (Mendonça 1758). Também outras zonas foram afetadas, como é o caso de Castro Marim, Albufeira, Lagoa e Portimão, porém, foram danos pouco significativos, de menor dimensão. Mendonça (1758) refere que terá ocorrido um sismo no mar, tendo sido observada uma explosão entre Faro e Tavira (Mendonça 1758). Segundo a sua descrição, existem relatos de inúmeras pessoas que presenciaram chamas resultantes da explosão que ocorreu em pleno mar. Foram descritos, ainda, outros sinais que podem preceder um tsunami, como o recuo das águas. Foi relatado que uma embarcação que navegava num canal ficou em fundo seco durante um longo período de tempo (Mendonça 1758). As inundações provocadas pelo tsunami, atingiram principalmente a cidade de Tavira. Estas situações foram documentadas e, ainda hoje, são recordadas pela população. Todos os anos, no dia 27 de dezembro, acontece em Tavira uma procissão em memória do sucedido. Apesar da existência de relatos que descrevem as consequências nos diversos locais, não existe informação detalhada acerca das características da inundação provocada pelo tsunami. Aspetos como a profundidade e a distância alcançada não são mencionados nos estudos analisados (Mendonça 1758; Chester e Chester 2010). Quanto à magnitude, estima-se

que a magnitude do sismo de 1722 tenha variado entre os 6.5 e os 7.8 (Chester e Chester 2010).

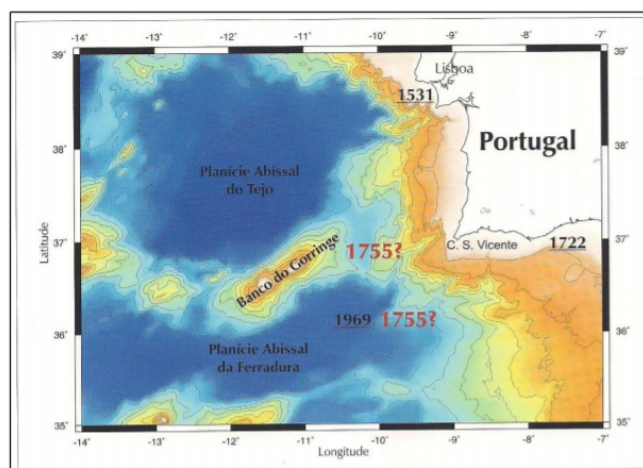
Estima-se que o sismo de 1 de novembro de 1755 terá tido uma magnitude de 8.5 (Baptista e Miranda, 2009; Chester e Chester 2010) e foi sentido em todo o continente e em diversos países (e.g. Espanha, Marrocos). A região do litoral entre o Algarve e Lisboa foi a área mais afetada, onde se registaram as maiores intensidades sísmicas: entre IX e X (MM) (Ferreira 2013) (Figura 10).



**Figura 10:** Isossistas (MM) do sismo de 1 de novembro de 1755. Fonte: Ferreira (2013).

Este foi, até à data, o evento com as maiores intensidades sísmicas observadas no continente, tendo provocado uma extensa destruição e cerca de 12 000 mortos. Só no Algarve foram apurados 1 000 óbitos (Chester e Chester 2010). Devido ao seu impacto, este sismo foi alvo de estudos por parte de vários autores. Silva Lopes (1841) descreve os momentos vividos no Algarve, na manhã de 1 de novembro de 1755. Perto das 09h30, ouviu-se um grande trovão e, 3 ou 4 minutos depois, foi sentido um violento sismo. Apesar de não referir o tempo decorrido após o sismo, refere que o mar recuou parcialmente deixando as praias em seco. Logo em seguida, o mar invadiu a terra, tendo conseguido galgar as rochas mais altas. Esta situação voltou a repetir-se por três vezes, em poucos minutos. O autor refere, ainda, que entre cada fluxo e

refluxo, se verificava o arrastamento de uma grande quantidade de detritos de edifícios e vegetação, resultando em danos desastrosos em quase todas as comunidades costeiras algarvias: Lagos, Lagoa, Albufeira, Faro, Tavira e Castro Marim (Baptista e Miranda 2009). Segundo Gutscher (2004), a altura das ondas foi estimada entre os 5 e os 10 m, tendo atingido a costa de Portugal, o Sul de Espanha e o Norte de Marrocos (Baptista et al. 2007a). No que concerne à cidade de Faro, Castro (1786) refere que, aquando a ocorrência do tsunami, a maré estava na sua altura mínima (baixa-mar). Este facto aliado à existência de ilhas barreira, que constituem uma separação natural entre o mar e a cidade, terão protegido a localidade da inundação. No horizonte, era visível o aumento da altura das ondas, contudo, não foi suficiente para conseguirem ultrapassar as ilhas. Na ria, canal de água entre as ilhas e a cidade, formou-se uma ondulação de espuma e a subida do nível da água não ultrapassou o equivalente a uma preia-mar (Castro 1786). A localização do epicentro do sismo de 1755, que afetou fortemente a região do Algarve, ainda não é consensual, sabendo-se apenas que terá ocorrido no mar, no fundo do Oceano Atlântico (Ferreira 2013) (Figura 11).



**Figura 11:** Possíveis localizações do epicentro do sismo de 1 de novembro de 1755. Fonte: Ferreira (2013).

Já no século XX, a 28 de fevereiro de 1969, ocorreu um sismo de magnitude 7.9 que afetou o território nacional, principalmente os distritos de Faro e de Lisboa. A localização do seu epicentro foi identificada com as coordenadas - 10.57° E, 36.01° N e estima-se que tenha ocorrido a uma profundidade de 22 km, durante a madrugada, pelas 2 horas e 40 minutos (Baptista e Miranda 2009). Este foi o sismo de maior

magnitude registado no século XX, tendo gerado um tsunami de pequena amplitude que afetou as costas portuguesa, espanhola e marroquina (Antunes do Carmo 2000). Apesar da magnitude do sismo ter sido elevada, fazendo-se sentir em toda a Península Ibérica, na África e na Ilha da Madeira (Miranda et al. 2014) não foram registadas quaisquer consequências causadas pelo tsunami que o sucedeu (Antunes do Carmo 2000), cuja amplitude de onda registada na cidade de Lagos foi de 0.84 m (Lisboa, Oliveira e Lisboa 2021). O Algarve foi severamente afetado pelo sismo de 1969, devido ao seu poder destrutivo que se deveu a dois fatores: à proximidade entre esta região e a localização do epicentro e às tipologias construtivas existentes nesta área (Lisboa, Oliveira e Lisboa 2021).

A hora a que ocorreu este evento suscita uma especial preocupação relativamente ao impacto que o mesmo poderia ter tido, caso o tsunami originado tivesse atingido maiores proporções e, por isso, resultasse em danos significativos. Este acontecimento reforça a importância da operacionalização de sistemas de monitorização, aviso e alerta, principalmente no que concerne à instalação de sistemas de aviso acústico por sirenes, em áreas expostas ao risco de tsunami, em virtude de se tratar de um período de descanso em que a população se encontra num estado de maior vulnerabilidade. Outras questões se impõem, como, de que maneira a ocorrência de um evento extremo durante o período noturno pode influenciar a capacidade e o tempo de resposta dos agentes de proteção civil, competentes pelo desencadeamento das ações de 1ª intervenção.

Na sequência da ocorrência de tsunamis, que afetaram a costa algarvia, foram realizados estudos que revelaram a existência de sedimentos transportados pelo tsunami e que se terão depositados na Boca do Rio (Lagos), na Ria de Alvor, no Rio Arade, na Ria Formosa e no Rio Guadiana (Chester e Chester 2010).

### **1.1.3. Sistemas de Monitorização, Alerta e Aviso para Tsunamis**

A UNESCO é uma organização que foi criada em 1945, com o objetivo de fomentar uma cultura de paz e promover o intercâmbio do conhecimento científico, através de uma cooperação internacional. Os seus programas pretendem aliar a ciência à cultura e à educação. Esta organização encara o uso da ciência como uma ferramenta para fortalecer a paz, erradicar a pobreza e promover um desenvolvimento

mundial sustentável. Um dos doze projetos chave desenvolvidos pela UNESCO foi a monitorização do risco de tsunami e o incentivo à implementação, a nível mundial, de sistemas de alerta precoce (UNESCO 2021). O tsunami de 2004 veio confirmar a necessidade de se proteger todas as áreas costeiras expostas ao risco de tsunami e de implementar um sistema de alerta precoce à escala global. Esta missão foi atribuída à Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC), uma comissão criada pela UNESCO, em parceria com 149 Estados Membro (Anexo 1), com o objetivo de promover a cooperação internacional na gestão e monitorização dos riscos costeiros (UNESCO 2021). É de realçar que Portugal faz parte desta comissão desde os anos setenta. A UNESCO tem uma vasta experiência em sistemas de alerta precoce, tendo sido a responsável pela implementação e coordenação do sistema Pacific Tsunami Warning System (PTWS), que já conta com mais de 50 anos (UNESCO 2021). Outros sistemas já foram instalados após 2004, designadamente o Indian Ocean Tsunami Warning System (IOTWS), no Índico e o Tsunami and Other Coastal Hazards Warning System for the Caribbean and Adjacent Regions (CARIBE-EWS), nas Caraíbas. Em junho de 2015, foi oficialmente implementado o Tsunami Early Warning and Mitigation System in the North-eastern Atlantic, the Mediterranean and connected seas (ICG/NEAMTWS). Portugal é um dos países que integra este sistema, conjuntamente com Albânia, Argélia, Bélgica, Bulgária, Cabo Verde, Croácia, Chipre, Dinamarca, Egito, Estónia, Finlândia, França, Geórgia, Alemanha, Grécia, Islândia, Irlanda, Israel, Itália, Líbano, Líbia, Malta, Mauritânia, Mónaco, Montenegro, Marrocos, Países Baixos, Noruega, Polónia, Roménia, Rússia, Eslovénia, Espanha, Suécia, Síria, Tunísia, Turquia, Ucrânia e Reino Unido (UNESCO 2021). Portugal assume uma participação ativa na gestão e na coordenação dos quatro grupos de trabalho e das três task teams que integram este projeto, liderados pela Presidente Maria Ana Baptista, do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Instituto Politécnico de Lisboa (UNESCO 2021). Uma outra missão atribuída a Portugal, foi a integração do Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) na equipa de monitorização e alerta de tsunamis, conjuntamente com o Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (Itália). Para dar resposta às recomendações do ICG/NEAMTWS, Portugal criou o Centro Nacional de Alerta de Tsunamis (CNAT), instalado no IPMA, cuja principal missão é detetar potenciais tsunamis e emitir o alerta a nível nacional e às autoridades dos restantes países que

integram o sistema. Após a deteção e o alerta, cabe à Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil (ANEPC), a nível nacional e de acordo com o seu princípio de subsidiariedade, difundir o aviso pela população, através dos seus centros regionais, em articulação com os Serviços Municipais de Proteção Civil (SMPC) (ANPC 2014). A nível municipal, já existem em Portugal alguns trabalhos desenvolvidos no âmbito dos Sistemas de Alerta para Tsunamis, nomeadamente, nos municípios de Cascais, Lagos, Lisboa, Portimão e Setúbal, no que concerne à aquisição e instalação de sirenes de aviso à população e à instalação de sinalética nos locais de risco, que assinalam as áreas a evacuar, os percursos a seguir e os locais destinados ao abrigo.

## **1.2. A legislação de Proteção Civil e o risco de tsunamis em Portugal**

A Lei nº 80/2015 de 3 de agosto, é o diploma que define a Lei de Bases de Proteção Civil em Portugal e atribui à proteção civil o dever de prevenir riscos coletivos inerentes a situações de catástrofe, com o pressuposto de atenuar as suas consequências, proteger pessoas e bens e garantir o socorro. A análise das vulnerabilidades, a proteção dos edifícios em geral, o planeamento de soluções, no caso da necessidade de evacuação e de alojamento da população, e a formação das populações no que concerne a medidas de autoproteção, são alguns dos domínios enumerados no ponto 2, do artigo 4º, do referido diploma. O artigo 5º define os princípios que regem o domínio da proteção civil nacional, sendo que o princípio de prevenção (alínea b) prevê que se deve antecipar o risco de ocorrência de catástrofe, com objetivo de anular a sua causa ou, não sendo possível, reduzir as suas consequências. Este enquadramento legislativo fornece as ferramentas necessárias para que sejam implementadas políticas de prevenção e preparação para fazer face à ocorrência de tsunamis em Portugal.

O desenvolvimento da atividade da proteção civil não cabe apenas ao Estado ou às autarquias locais. Também os cidadãos assumem uma participação ativa e têm o dever de colaborar nas soluções planeadas pelas entidades competentes. Porém, para que tal possa acontecer, devem ser informados sobre os riscos existentes nas suas áreas, os procedimentos planeados e ter consciência de como o seu comportamento pode contribuir para a atenuação dos efeitos de uma catástrofe. A sensibilização e a

formação são aspetos de extrema importância que devem ser implementados desde a idade escolar (artigo 7º). O legislador realçou a importância da participação pública nas atividades conducentes à mitigação do risco, que deverá ser em todas as componentes do ciclo da catástrofe.

Em outubro de 2017 foi publicada a Resolução do Conselho de Ministros nº 160/2017, de 30 de outubro, que refere que o conceito de prevenção é demasiado abrangente e transversal, pelo que, se definiu a Estratégia Nacional para uma Proteção Civil Preventiva. Mais uma vez, é abordado o termo vulnerabilidades, no sentido da sua atenuação. O documento apresenta-se como “(...) *um instrumento de orientação para a Administração Central e Local*” (Resolução do Conselho de Ministros nº 160/2017, de 30 de outubro). O seu objetivo é aumentar o grau de preparação e a resiliência do território, face à existência de riscos, através da implantação de sistemas de monitorização, de aviso e de alerta. A Estratégia contempla o incremento de medidas de prevenção estrutural, prevenção não estrutural e incentiva à estimulação do envolvimento da população, mediante uma educação orientada para o risco, cuja operacionalização deveria ter sido delineada até 2020. O poder político realçou nesta resolução a importância das políticas de prevenção e dos sistemas de monitorização, de aviso e de alerta que no caso dos tsunamis são fundamentais.

Mais tarde, em 11 de janeiro de 2019, foi publicado o Decreto de Lei nº 2/2019 que procede à instituição do Sistema Nacional de Monitorização e Comunicação de Risco, de Alerta Especial e de Aviso à População. Este diploma tem como objetivo definir as orientações relativas ao fluxo da informação entre as diversas entidades de proteção civil, desde a fase de deteção, de alerta e, finalmente, a difusão da informação pela população. Cabe aos SMPC a emissão do aviso, dirigido à população presente nas áreas possivelmente afetadas. Neste caso, deve ser transmitida a informação essencial relativa ao acontecimento e às medidas de autoproteção a adotar.

O artigo 7º do referido diploma regulamenta os meios que podem ser utilizados na difusão de alertas especiais e de avisos de proteção civil, por forma a que os meios sejam os mais adequados de acordo com a situação em concreto. Assim, sempre que seja detetada uma situação de risco, na sequência da emissão de um alerta especial, por parte da ANEPC a população deve ser avisada sobre as características do evento e

sobre as medidas que deve adotar para se proteger. Estas informações podem ser transmitidas por diversos meios, designadamente: *“(...)sirenes ou outros dispositivos sonoros, redes de comunicação fixas ou móveis, televisão, rádio, aplicações informáticas, correio eletrónico ou redes sociais”* (Decreto de Lei nº 2/2019, de 11 de janeiro).

O risco de tsunamis em Portugal insere-se nas preocupações do Governo relativamente à instalação de sistemas de monitorização, alerta e aviso, pelo que em setembro de 2019, foram publicadas duas diretivas referentes à instalação de sinalética e de sirenes, em áreas expostas, *“(...) com vista a prevenir e minimizar os seus efeitos”* (Resolução nº1/2019, de 12 de setembro).

Na sequência da Resolução nº 160/2017, foi emanada pela Comissão Nacional de Proteção Civil, a Resolução nº 1/2019, de 12 de setembro, que *“(...)aprova a diretiva relativa à norma orientadora para a instalação de sinalética em áreas expostas (...) ao risco de tsunami e respetivos caminhos de evacuação”*.

Este diploma surge no âmbito do dever de informar os cidadãos sobre os riscos a que estão expostos e os respetivos procedimentos adotados. A instalação de sinalética em áreas expostas, facilita a perceção da população acerca do risco existente e, simultaneamente, transmite indicações dos procedimentos que devem ser adotados, de uma forma de fácil entendimento e ilustrativa das ações a executar.

Para o efeito, devem ser sinalizadas as zonas potencialmente afetadas por tsunamis, os pontos de encontro, as vias de evacuação e as direções a seguir (Anexo 2).

A Resolução nº 2/2019, de 12 de setembro, publica as orientações para a instalação de sistemas de aviso acústico por sirenes, em caso de tsunami, em virtude de ser o método mais utilizado à escala mundial. O seu objetivo é garantir a transmissão de um sinal à população presente nas zonas potencialmente ameaçadas, que as avise acerca da previsão de um acontecimento e das medidas que devem adotar.

Da análise do pacote legislativo aqui efetuada pode concluir-se que existem as ferramentas necessárias para se implementar um conjunto de atividades de prevenção e mitigação do risco de tsunami em Portugal.

### **1.3. Objetivos da tese**

O principal objetivo da presente dissertação é identificar os elementos em perigo do concelho de Olhão, perante a possibilidade de ocorrerem tsunamis e estudar as suas vulnerabilidades. A identificação de elementos em perigo e das suas vulnerabilidades constitui a informação base, fundamental, para a elaboração de um planeamento de emergência, realista e adequado às fragilidades existentes. Pretende-se com este estudo, considerar vários cenários de inundação por tsunamis, de modo a identificar as zonas que podem ser potencialmente afetadas e identificar áreas de maior de menor ou maior gravidade de danos. A intenção é apurar, em cada cenário, o número de edifícios localizados dentro de áreas suscetíveis de serem inundadas, o número de pessoas residentes e os serviços essenciais que podem ser afetados.

### **1.4. Estrutura da tese**

A presente tese é constituída por 7 capítulos, sendo que o primeiro se refere à apresentação e enquadramento do tema escolhido. Assim, é apresentada a definição do conceito de tsunami e são, também, abordados os maiores eventos ocorridos, quer a nível mundial, quer na área em estudo: a costa algarvia onde se insere o concelho de Olhão. Ainda neste capítulo, é apresentada a legislação existente em Portugal, que regulamenta a prevenção de riscos coletivos e outras normas orientadoras especificamente criadas para o risco de tsunamis. Para terminar o capítulo são apresentadas as motivações que levaram à realização deste trabalho e à escolha do tema. No capítulo 2 são apresentadas as características do concelho de Olhão, que estejam relacionadas e contribuam para a vulnerabilidade desta área, face à ocorrência de tsunamis.

No capítulo 3 é apresentada a metodologia aplicada na presente dissertação e são explicados os critérios utilizados para o apuramento dos resultados apresentados no capítulo 4. No capítulo 5 procede-se à discussão dos resultados e no capítulo 6 são apresentadas as conclusões deste estudo. O capítulo 7 encerra o documento, fazendo referência à bibliografia consultada para a obtenção de informação sobre o tema escolhido. Por fim, seguem-se os documentos que se encontram em anexo e completam a informação que consta neste estudo, através de imagens ilustrativas.

### **1.5. Motivação para a realização da presente tese**

O meu ingresso, no ano de 2015, no quadro ativo da carreira de Bombeiro Voluntário, no Corpo de Bombeiros Municipais de Olhão, despertou em mim um forte interesse e paixão pelas atividades desenvolvidas no âmbito da proteção e do socorro da população. O sonho de poder contribuir para a nobre missão que os bombeiros desempenham, de proteger e salvar vidas, foi um sentimento que foi crescendo desde a minha infância. As histórias que ouvia enquanto criança, contadas no seio familiar, de experiências vividas noutros tempos, que estiveram na base da formação da minha família, levaram-me a procurar a oportunidade de me aproximar e de conhecer as minhas origens. Estando eu a exercer funções no Município de Olhão, aquando o meu ingresso como Bombeira Voluntária, solicitei a minha transferência de serviço para o Gabinete de Bombeiros Municipais e Proteção Civil de Olhão e, assim, tive a oportunidade de me dedicar por completo a esta missão. Foi deste modo que tive o meu primeiro contacto com o Serviço Municipal de Proteção Civil e foi assim que me surgiu a necessidade de aprofundar conhecimentos nesta área, o que levou a candidatar-me ao Mestrado em Riscos e Proteção Civil do Instituto Superior de Ensino e Ciências de Lisboa. Neste sentido, não poderia deixar de aproveitar esta oportunidade, a última etapa do curso, para desenvolver um estudo que possa contribuir para enriquecer o conhecimento acerca de um risco que constitui uma problemática atual, de modo a contribuir, de alguma maneira, para o aumento da resiliência do concelho de Olhão, de onde sou natural e onde tenho o privilégio de exercer as minhas funções.

## 2. CARACTERIZAÇÃO DO CONCELHO DE OLHÃO

Neste capítulo procede-se à apresentação e análise das principais características físicas e sociais da área em estudo, que podem representar uma forte influência nas vulnerabilidades existentes no concelho de Olhão, nomeadamente, o seu enquadramento geográfico, a hipsometria, a população residente e os tipos de ocupação de solo existentes.

O concelho de Olhão está inserido nos cinco primeiros lugares da lista de concelhos mais populosos da região do Algarve, ocupando o 4º lugar (INE 2012). Toda a sua área está contida no Parque Natural da Ria Formosa (PNRF), eleito como uma das Sete Maravilhas Naturais de Portugal e considerada uma zona húmida de interesse internacional, pela Convenção de Ramsar, em 1971 (Olhão Cubista s/d). O momento que marcou a expansão de Olhão, remonta ao ano de 1808, quando o lugar foi elevado a vila. Este acontecimento surgiu na sequência do episódio histórico que relata a heroica viagem do caíque Bom Sucesso até ao Brasil (Turismo de Portugal 2013). Nesta altura, as atividades comerciais desenvolvidas em Olhão, fortemente ligadas ao mar, estenderam-se pelo Mediterrâneo, tendo assim surgido o início da indústria de conservas de peixe (Turismo de Portugal 2013). Com o passar do tempo, *“(...) a pequena vila de pescadores converteu-se num grande centro económico, social e urbano”* (Município de Olhão s/d). A sua invulgar arquitetura cubista, que lhe confere uma originalidade histórica, a predominância de casas brancas, com janelas e platibandas debruadas a azul, as ruas típicas, apertadas, configurando labirintos, todos estes aspetos despertaram em Olhão um elevado interesse turístico (Turismo de Portugal 2013). Em 1985, a vila é elevada à categoria de cidade, com o nome de Cidade de Olhão da Restauração (Município de Olhão s/d). A partir de 1991 a sua população residente cresceu consideravelmente e a procura turística intensificou-se. O clima ameno e seco, durante as estações quentes, a beleza das suas paisagens naturais e a sua gastronomia, fazem com que este local constitua uma importante atração de fluxos turísticos, quer a nível nacional, quer a nível internacional.

O concelho de Olhão situa-se a sul de Portugal Continental, na região do Algarve e pertence ao distrito de Faro. É delimitado pelos concelhos de São Brás de Alportel a norte, Tavira a este, Faro a oeste e banhado pelo Oceano Atlântico a sul (Anexo 3). De acordo com a Nomenclatura de Unidades Territoriais (NUTS) em vigor, atualizada no

ano de 2015 (PORDATA 2021), que corresponde a um sistema de divisão territorial para fins estatísticos, verifica-se que o concelho de Olhão está inserido na região e na sub-região do Algarve, referente à NUTS II e NUTS III respetivamente (Anexo 4).

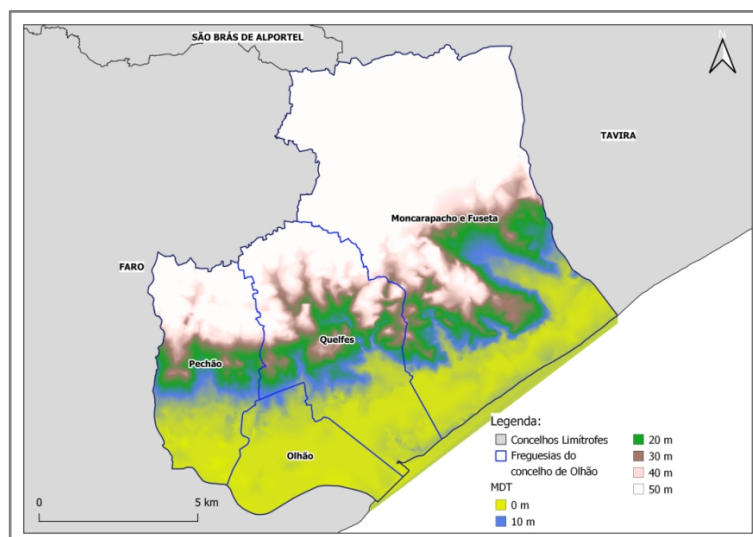
Segundo a Lei nº 11-A/2013, publicada a 28 de janeiro, que define a reorganização administrativa do território das freguesias, o concelho está subdividido administrativamente em quatro freguesias: Olhão, Pechão, Quelfes e União de Freguesias de Moncarapacho e Fuseta (UFMF). O Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios (PMDFCI 2016) de Olhão, em vigor desde 2016, contém a informação mais recente relativamente ao concelho. O concelho de Olhão abrange uma área de 130.9 Km<sup>2</sup>. A sua maior freguesia é a UFMF, que ocupa uma área de 70.6 km<sup>2</sup> (54%), e a mais pequena é a de Olhão, com uma área de apenas 12.2 km<sup>2</sup> (12%) (Tabela 2).

**Tabela 2:** Freguesias do concelho de Olhão e respetivas áreas. Fonte: Adaptado de PMDFCI de Olhão (2016).

| Freguesias            | Área            |              |
|-----------------------|-----------------|--------------|
|                       | km <sup>2</sup> | %            |
| Olhão                 | 12.2            | 9.4          |
| Pechão                | 19.8            | 15.1         |
| Quelfes               | 28.2            | 21.5         |
| Moncarapacho e Fuseta | 70.6            | 54.0         |
| <b>Total</b>          | <b>130.9</b>    | <b>100.0</b> |

## 2.1. Hipsometria

A hipsometria é um fator fundamental no modo como se propaga a inundação provocada por um tsunami e é importante para se estimarem os seus impactos nas comunidades costeiras. Este tipo de informação é essencial para se prever a distância que um tsunami pode percorrer e a profundidade do seu fluxo. O concelho de Olhão é caracterizado por possuir um relevo pouco acidentado, cuja altitude progride suavemente de sul para norte (PMDFCI 2016) (Figura 12).



**Figura 12:** Hipsometria do concelho de Olhão até à cota de 50 m, calculado com um modelo digital do terreno.

À medida que se avança para norte, as cotas vão assumindo valores mais elevados, alcançando valores superiores a 350 m. O pico do Cerro de S. Miguel atinge os 411 m de altitude, o ponto mais alto da Serra de Monte Figo, que abrange os concelhos de Olhão, Faro, Loulé e S. Brás de Alportel (Algarve Portal.com 2021). De acordo com a Tabela 3, cerca de 68.6% do concelho apresenta cotas altimétricas inferiores a 50 m, o que abrange uma área de 89.8 km<sup>2</sup>. A grande extensão de um relevo pouco acidentado e plano junto à linha de costa, podem facilitar a progressão de um tsunami para o interior do concelho de Olhão. Esta característica poderá dificultar a existência de zonas que se possam constituir como locais de abrigo perto da costa utilizados pela população .

**Tabela 3:** Caracterização do relevo do concelho de Olhão segundo classes altimétricas. Fonte: Adaptado de PMDFCI de Olhão (2016).

| Classes Altimétrica (m) | Área            |              |
|-------------------------|-----------------|--------------|
|                         | Km <sup>2</sup> | %            |
| < 50                    | 89.8            | 68.6         |
| 50-99                   | 20.2            | 15.4         |
| 100-149                 | 12.4            | 9.4          |
| 150-199                 | 3.5             | 2.7          |
| 200-249                 | 3.2             | 2.4          |
| 250-299                 | 1.2             | 0.9          |
| 300-350                 | 0.5             | 0.4          |
| ≥ 350                   | 0.1             | 0.1          |
| <b>Total</b>            | <b>130.9</b>    | <b>100.0</b> |

## 2.2. População

De acordo com os dados referentes ao recenseamento de 2011 (INE 2012) foram apurados 45 396 residentes no concelho de Olhão. Comparativamente ao total de residentes na região do Algarve, este valor representa uma percentagem de 10% (PMDFCI 2016). Relativamente ao número de residentes por freguesia, a freguesia de Quelfes é a que apresenta o maior número de residentes, com um total de 17 246 pessoas (Tabela 4). Segue-se a freguesia de Olhão com 14 914, a UFMF com 8 565 e, por último, a freguesia de Pechão com um total de 3 601 residentes. Na Tabela 4 apresenta-se a variação da população residente no concelho de Olhão e nas suas freguesias nos anos de 1991, 2001 e 2011. Entre os anos de 1991 e 2011, o concelho sofreu um aumento da sua população, contabilizando mais 8 584 residentes.

**Tabela 4:** População residente em 1991, 2001 e 2011 no concelho de Olhão e nas suas freguesias. Fonte: Adaptado de PMDFCI de Olhão (2016).

| Unidades Administrativa | População Residente (nº) |        |        |
|-------------------------|--------------------------|--------|--------|
|                         | 1991                     | 2001   | 2011   |
| Concelho de Olhão       | 36 812                   | 40 808 | 45 396 |
| Freguesias:             |                          |        |        |
| Olhão                   | 14 651                   | 14 749 | 14 914 |
| Pechão                  | 2 525                    | 3 033  | 3 601  |
| Quelfes                 | 11 082                   | 13 289 | 17 246 |
| Moncarapacho e Fuseta   | 8 554                    | 9 737  | 8 565  |

Se se proceder à análise por freguesia, verifica-se que para o período de 1991-2011 as freguesias de Quelfes e de Pechão foram as que registaram o maior crescimento do número de residentes, com um aumento de 6 164 e 1 076 respetivamente. A população residente na freguesia de Olhão registou, para o mesmo período, um aumento de apenas 263 residentes e o número de residentes na UFMF foi muito pouco significativo, num total de 11. Quanto à concentração da população residente no território, o concelho de Olhão apresenta uma densidade populacional de 347 hab/km<sup>2</sup>. Esta concentração é 4 vezes superior ao valor do distrito de Faro que apresenta uma média de 90 hab/km<sup>2</sup>. Para uma melhor compreensão das áreas que apresentam maiores concentrações humanas, é importante apurar os dados por freguesia, tendo-se verificado que Olhão apresenta a maior densidade populacional do concelho, com 1 218 residentes por km<sup>2</sup>, seguindo-se Quelfes com 612 hab/km<sup>2</sup>,

Pechão com 182 hab/km<sup>2</sup> e UFMF com 121 hab/km<sup>2</sup> (Anexo 5). De acordo com a Tabela 2 (ver página 24) a freguesia de Olhão é a que apresenta a menor percentagem de área territorial do concelho (9.4%) e possui 14 914 habitantes, o que se traduz numa densidade populacional muito elevada, com mais de 1 000 hab/km<sup>2</sup>.

É de salientar que a população presente no concelho de Olhão, durante os meses de verão, é significativamente superior à população residente. Este facto acontece porque o Algarve é um destino turístico muito procurado, devido ao seu clima quente e seco e à sua proximidade com o mar. Esta situação poderá aumentar as vulnerabilidades do concelho face à ocorrência de tsunamis no verão e dificultar o socorro à população.

### 2.3. Ocupação de solo

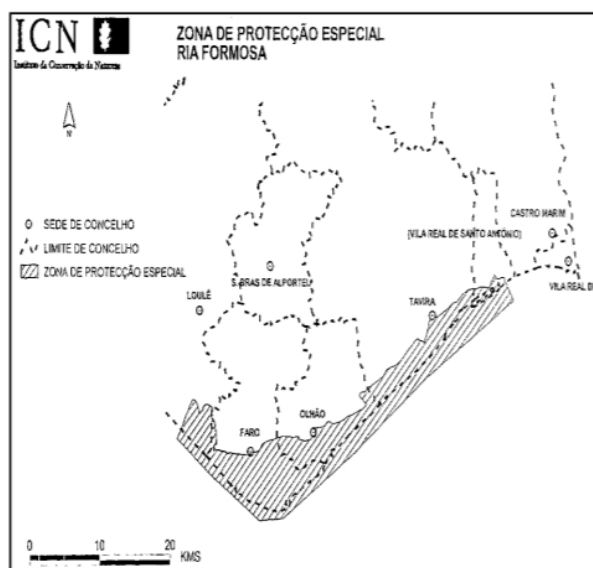
Os dados da ocupação do solo foram retirados do PMDFCI (2016) e permitem concluir que o concelho de Olhão apresenta uma vasta área de ocupação agrícola (67.9 km<sup>2</sup>) (Tabela 5), representando 52% da superfície do concelho. As áreas de sapal e as superfícies aquáticas assumem alguma expressão no concelho, com uma área de 19.1 km<sup>2</sup> e 7.7 km<sup>2</sup> respetivamente (Tabela 5). No caso concreto da freguesia de Olhão, as áreas de sapal correspondem ao tipo de ocupação de solo que ocupa a maior percentagem de área e que poderá indicar uma maior facilidade na propagação de tsunamis para o interior. Considerando que esta freguesia abrange cerca de 12.2 Km<sup>2</sup>, 80% da sua superfície corresponde a sapais e superfícies aquáticas e apenas 18% são ocupados por áreas sociais (urbanizadas). A UFMF é a que apresenta a maior área com ocupação por sapal, num total de 7.2 km<sup>2</sup>.

**Tabela 5:** Tipos de ocupação de solo no concelho de Olhão. Fonte: Adaptado de PMDFCI de Olhão (2016).

| Freguesias            | Ocupação de solo (km <sup>2</sup> ) |          |           |                       |             |          |       |
|-----------------------|-------------------------------------|----------|-----------|-----------------------|-------------|----------|-------|
|                       | Áreas Sociais                       | Agrícola | Florestal | Superfícies Aquáticas | Improdutivo | Incultos | Sapal |
| Olhão                 | 2.2                                 | 0.1      | 0.0       | 3.9                   | 0.3         | 0.0      | 5.8   |
| Pechão                | 2.9                                 | 12.4     | 0.5       | 0.5                   | 0.0         | 0.8      | 2.6   |
| Quelfes               | 5.0                                 | 15.3     | 1.5       | 1.9                   | 0.0         | 0.9      | 3.5   |
| Moncarapacho e Fuseta | 6.1                                 | 40.1     | 13.7      | 1.4                   | 0.9         | 1.2      | 7.2   |
| <b>Total</b>          | 16.2                                | 67.9     | 15.7      | 7.7                   | 1.2         | 2.9      | 19.1  |

## 2.4. O Parque Natural da Ria Formosa

O Parque Natural da Ria Formosa (PNRF) estende-se ao longo do litoral do Sotavento algarvio, desde o concelho de Loulé (Praia do Garrão) até ao concelho de Vila Real de Santo António (Praia da Manta Rota), o que corresponde a uma distância de 60 km. Abrange uma área de 184 km<sup>2</sup>, sendo que desses, aproximadamente, 110 correspondem a zonas húmidas sob a influência das marés (Ramos e Dias 2000). Esta zona, devido ao seu elevado valor ecológico, foi designada de PNRF, no ano de 1978, conforme publicado em Diário da Republica, pelo Decreto nº 45/78, a 2 de maio, na sequência da necessidade de se adotar uma política orientada para a defesa dos solos, de modo a preservar a sua utilização de vocação agrícola. O objetivo foi travar o desenvolvimento urbanístico, industrial e turístico, que constituíam uma ameaça ao equilíbrio ecológico (Decreto nº 45/78, a 2 de maio). No ano de 1987, este sistema lagunar foi reconhecido como Parque Natural, sendo que este estatuto lhe conferia o dever de proteção e de conservação. O objetivo do Decreto-Lei nº 373/87 foi assegurar a compatibilização das atividades económicas existentes com a fragilidade do sistema lagunar. Este diploma veio instituir o dever de proteção da fauna e da flora específicas desta região, bem como a proteção das espécies migratórias e a conservação dos seus habitats. A principal preocupação foi promover o uso ordenado deste território de forma a assegurar a continuidade dos processos evolutivos. Em 1999, foi publicado o Decreto-Lei nº 384-B/99, em 23 de setembro, que procede à criação de Zonas de Proteção Especial (ZPE), que integram a Rede Natura 2000, designação atribuída a uma rede ecológica destinada ao espaço comunitário da União Europeia, que surgiu na sequência da aplicação da Diretiva 79/409/CEE (Diretiva das Aves) e da Diretiva 92/43/CEE (Diretiva dos Habitats). A Ria Formosa foi então considerada uma Zona de Proteção Especial (ZPE), o que lhe garantiu o dever de conservação de todas as espécies de aves referidas no Anexo A-I do Decreto-Lei nº140/99, de 24 de abril, *“(...)bem como dos seus ovos, ninhos e habitats, e das espécies de aves migratórias não referidas naquele anexo e cuja ocorrência no território nacional seja regular”* (Decreto-Lei nº 384-B/99, de 23 de setembro). A área abrangida pela ZPE da Ria Formosa corresponde a 232.95 km<sup>2</sup>, desde a praia do Ancão até à praia da Manta Rota (Decreto-Lei nº 384-B/99, de 23 de setembro) (Figura 13) e foi identificada com o código PTZPE0017 (Decreto-Lei nº 99-A/2009), de 29 de abril).



**Figura 13:** Zona de Proteção Especial da Ria Formosa. Fonte: Decreto-Lei nº 384-B/99, de 23 de setembro, DR I Série-A, nº 223, página 6644-(21).

O PNRF é constituído por duas penínsulas, nas suas extremidades, e por cinco ilhas barreira. O limite ocidental corresponde à Península do Ancão e o limite oriental corresponde à Península de Cacela (Bernardo e Dias 2015). Entre ambas, distribuem-se as ilhas, com a seguinte ordem, de oeste para este: Barreta, Culatra, Armona, Tavira e Cabanas. As ilhas e as penínsulas estão separadas entre si por seis barras de maré (Anexo 6), cuja distribuição, de poente para nascente, é a seguinte: Barra do Ancão ou de S. Luís, Faro-Olhão, Armona, Fusetas, Tavira e Lacém (ICNF s/d). Relativamente ao vasto corpo lagunar do PNRF, este é caracterizado por sapais, rasos de maré, canais de maré e ilhotes (Bernardo e Dias 2015; Freire, Sancho e Oliveira 2012). Apenas 14 % da sua área está permanentemente submersa (ICNF s/d). As restantes áreas emergem durante a baixa-mar e podem representar uma percentagem de 80% se se considerar a ocorrência do regime de marés vivas (ICNF s/d). As áreas de sapal correspondem às zonas que emergem durante a baixa-mar, ficando submersas durante a preia-mar. Tratam-se de plataformas caracterizadas por uma densa vegetação, característica que contribui para o amortecimento das forças das correntes de maré nestes locais. Os sapais apresentam pouca profundidade e águas calmas, devido ao reduzido fluxo de maré e são protegidos do embate das ondas do mar pelas ilhas barreira (ICNF s/d). A configuração dos fundos que constituem o corpo lagunar é muito irregular, possuindo uma profundidade média de 2 m. A existência de uma extensa área intertidal, correspondente aos espraiaços de maré e às barras, exerce uma forte influência no

sistema de correntes de maré (ICNF s/d). A Ilha de Armona é uma das ilhas barreira que constituem o PNRF e está localizada dentro dos limites administrativos do concelho de Olhão. O início da ilha, na sua extremidade oeste, coincide com a freguesia de Quelfes, estendendo-se para este, ao longo de um cordão dunar contínuo que termina no limite administrativo da freguesia de UFMF e do concelho, onde se forma a barra de maré da Fuseta. O acesso à ilha faz-se, exclusivamente, por via marítima e pode realizar-se em transporte próprio, em embarcações de aluguer com condutor (taxis marítimos) ou em transportes marítimos coletivos de passageiros. Nas últimas décadas do século XIX a Ilha de Armona começou a apresentar uma ocupação permanente (Bernardo e Dias 2015) na sequência das atividades de pesca existentes nesta área e na ilha ao lado, a Culatra (Costa 2000). Por outro lado, a partir da segunda metade do século XX, observou-se uma alteração dos costumes da população portuguesa. A frequência das praias, durante o verão tornou-se uma tendência (Bernardo e Dias 2015). Ainda nesta altura, o povo ganhou direitos, aumentando o seu poder de compra, o direito a férias, com a respetiva atribuição de subsídios e o aumento dos tempos livres destinados ao descanso e ao lazer (Bernardo e Dias 2015). É deste modo que se desperta na população portuguesa, o interesse pela procura das áreas litorais, passando o Algarve a ser considerado um destino de eleição. Esta nova realidade refletiu-se, também, nas ilhas barreira da Ria Formosa. A Ilha de Armona começou a ser um destino turístico nacional durante as épocas balneares (Bernardo e Dias 2015), verificando-se, cada vez mais, a intensificação da sua ocupação sazonal. Esta grande procura despoletou a construção de um elevado número de edifícios, durante a década de 1970 (INE 2012). As primeiras construções de que há registo na ilha, surgiram em 1960, num total de 4 (INE 2012). Todavia, entre os anos de 1971 e 1980 foram construídos mais 767 edifícios (INE 2012). Na Figura 14 é possível observar-se alguns exemplos da construção que existe atualmente na Ilha de Armona, no seu lado norte, junto ao cais de embarque e a curta distância que existe entre a linha de água e o limite exterior das construções.



**Figura 14:** Exemplos do edificado existente no lado Norte da Ilha de Armona. a) Lado Oeste do cais de embarque. b) Lado Este do cais de embarque. Fonte: Fotografias tiradas por Maria Helena (2021).

Durante os meses de verão, as casas existentes na Ilha de Armona são muito procuradas para alojamento temporário, por parte de muitas famílias em férias. O mesmo acontece, também, noutras alturas do ano, tais como, fins de semana prolongados ou datas festivas, como é o caso da Páscoa e do Ano Novo. Todavia, continua a ser nos meses mais quentes, em julho e agosto, que a lotação da ilha atinge o seu pico anual. De acordo com a informação prestada pela Associação de Defesa da Ilha de Armona, implantada na ilha com vista a proteger este espaço natural, contribuir para a sua segurança e a dos seus ocupantes e, ainda, representar os proprietários dos edifícios lá existentes, todos os anos, durante os meses de julho e agosto, cada uma das casas da ilha possui, em média, entre 4 a 6 ocupantes. Sendo que o número de casas se aproxima de 800, o número de pessoas alojadas oscila entre 3 200 e 4 800, nos referidos meses. É de salientar que muitas famílias levam consigo os seus animais de estimação, estimando-se que existam, também, cerca de 1 600 animais domésticos em cima da ilha.

Para além das estadias temporárias já referidas, existe ainda o transporte diário de pessoas, largas centenas de veraneantes itinerantes, realizado pelos barcos de transporte de passageiros, cuja lotação é variável e de difícil contabilização, em virtude dos inúmeros barcos que efetuam carreiras de hora a hora. Estas carreiras são suprimidas nos restantes meses do ano, o que condiciona o acesso à ilha nas estações do outono, inverno e primavera, diminuindo consideravelmente a sua ocupação. Atualmente, o embarque para a ilha pode ser feito a partir do cais de embarque, na cidade de Olhão ou no Porto de Pesca da localidade da Fuseta. Porém, apesar de se tratar da mesma ilha, o embarque realizado em Olhão dá acesso ao seu limite

ocidental, enquanto que, o embarque realizado na Fuseta, dá acesso ao seu limite oriental (Fuseta-Mar).

Em março de 2010, ocorreu um evento meteorológico extremo que atingiu a praia Fuseta-Mar, o extremo este da Ilha de Armona (Moura et al. 2019). Uma forte tempestade provocou um galgamento costeiro, levando à destruição de 44 casas de um total de 71 existentes nesta porção da ilha. Para além dos danos materiais, a tempestade provocou, ainda, a abertura de uma nova barra de maré (Barra da Fuseta). Na sequência deste acontecimento, a ilha foi totalmente limpa, seguindo-se a demolição das casas que resistiram à tempestade, com o objetivo de reduzir os efeitos resultantes do risco de galgamento (Moura et al. 2019). O cordão dunar existente no PNRF poderá em determinadas circunstâncias proteger o avanço das águas do mar para o interior. No entanto, tal como para o evento de 2009/2010, a ocorrência de tsunamis na região poderá provocar o galgamento desse cordão e nessa circunstância as zonas mais internas do concelho podem sofrer inundações. Por outro lado, as novas ocupações construídas em áreas suscetíveis à ocorrência de tsunamis (Ilha de Armona) e o aumento significativo da população presente nos meses de verão aumentaram os elementos em perigo face à ocorrência de tsunamis.

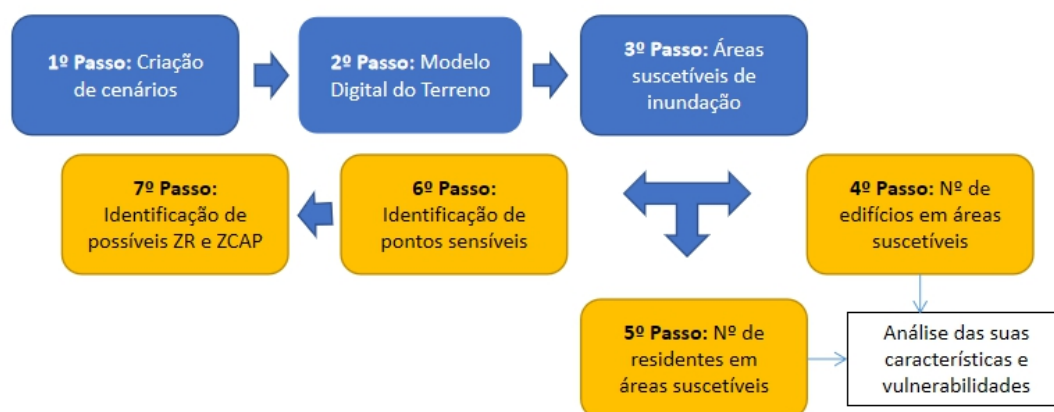
### 3. METODOLOGIA

Neste capítulo é apresentada a metodologia aplicada na presente dissertação, utilizada na análise das vulnerabilidades do concelho de Olhão face à ocorrência de tsunamis. Para o efeito, foram considerados outros estudos já existentes e que foram desenvolvidos para várias regiões onde ocorreram tsunamis, como é o caso do Golfo de Corinto (Papathoma e Howes 2003), da Cidade de Nápoles (Alberico et al. 2015) e da costa algarvia (Nunes, Ferreira e Luís 2009).

Foram considerados 7 passos que, no seu conjunto, podem permitir analisar as vulnerabilidades de um local face à ocorrência de tsunamis (Figura 15):

- 1) Criação de cenários de inundação provocados por tsunamis;
- 2) Cálculo de um modelo digital do terreno;
- 3) Identificação das áreas suscetíveis de serem inundadas;
- 4) Identificação do número de edifícios localizados nas áreas apuradas em 3), análise das suas características e das suas vulnerabilidades. Para o estudo das suas vulnerabilidades consideraram-se a altura e as tipologias construtivas dos edifícios. Estimou-se o número de desalojados de curta e longa duração;
- 5) Identificação do número de residentes localizados nas áreas apuradas em 3), análise das suas características e das suas vulnerabilidades. Para o estudo das suas vulnerabilidades consideraram-se as faixas etárias da população residente;
- 6) Identificação de pontos sensíveis dentro das áreas apuradas em 3);
- 7) Identificação de possíveis Zonas de Refúgio e Zonas de Concentração e Apoio à População com base nas áreas identificadas em 3).

Em todos os cálculos foi utilizado o sistema de informação geográfica Qgis (QGIS.org, 2021) para armazenamento e manipulação de dados.



**Figura 15:** Esquema da metodologia aplicada no presente estudo.

### 3.1. Criação de cenários

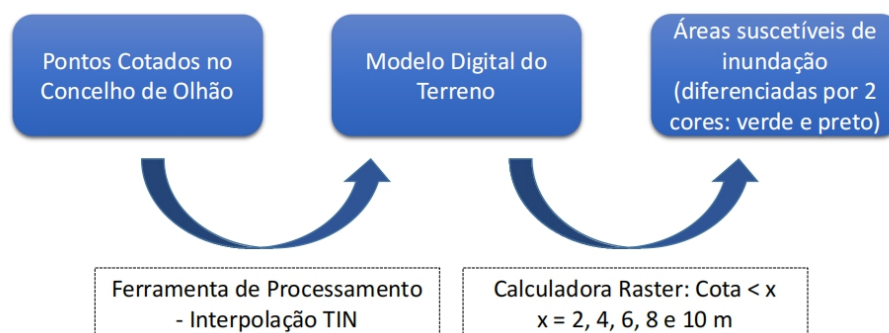
O primeiro passo seguido na criação de cenários foi definir um conjunto de cotas correspondentes a cotas máximas de inundação, alcançadas por vários tsunamis, admitindo-se que cada tsunami se deslocou uniformemente até às cotas consideradas. Estes cenários são cenários hipotéticos na medida em que, na realidade, um tsunami não se desloca uniformemente até uma determinada cota. No entanto, porque este estudo incide sobre a vulnerabilidade e não sobre o perigo, esta metodologia pode considerar-se aceitável. Não se utilizaram modelações numéricas da propagação de tsunamis desde a origem até à costa de Olhão, pelo que não se incluíram fatores como a batimetria, a forma da costa, a direção da onda e a sua velocidade neste estudo. É de referir que têm sido realizadas várias modelações numéricas da propagação de tsunamis para várias regiões de Portugal. Baptista et al. (2011) e Santos et al. (2017) são exemplos de trabalhos que realizaram modelações numéricas de tsunamis para as cidades de Setúbal e Lisboa.

Para se ter uma indicação das características dos maiores tsunamis que atingiram a região do Algarve, procedeu-se a uma pesquisa bibliográfica. Segundo Baptista e Miranda (2009) o tsunami associado ao sismo de 1755 ( $M \approx 8.5$ ) com epicentro no mar terá originado ondas que variaram entre os 5 m e os 10 m de altura na região do Algarve e que provocou grandes impactos na costa algarvia (Nunes, Ferreira e Luís 2009). Tendo em conta que as maiores ondas do tsunami de 1755 terão alcançado alturas de 10 m, esta foi a cota considerada para o cenário de maior gravidade utilizado neste estudo. Neste cenário, considerou-se que as ondas de um tsunami se deslocam de um modo uniforme até à cota de 10 m. Com o objetivo de se

considerarem cenários de menor gravidade, de modo a obter-se uma análise mais detalhada das vulnerabilidades do concelho de Olhão face à ocorrência de tsunamis, foram definidos mais quatro cenários. O menos gravoso, em que se considera que um tsunami inunda toda uma área até uma cota de 2 m, e os seguintes em que se adicionou de forma constante de 2 m de altura. Assim, os cenários considerados na presente dissertação correspondem às seguintes cotas de inundação: 2 m, 4 m, 6 m, 8 m e 10 m.

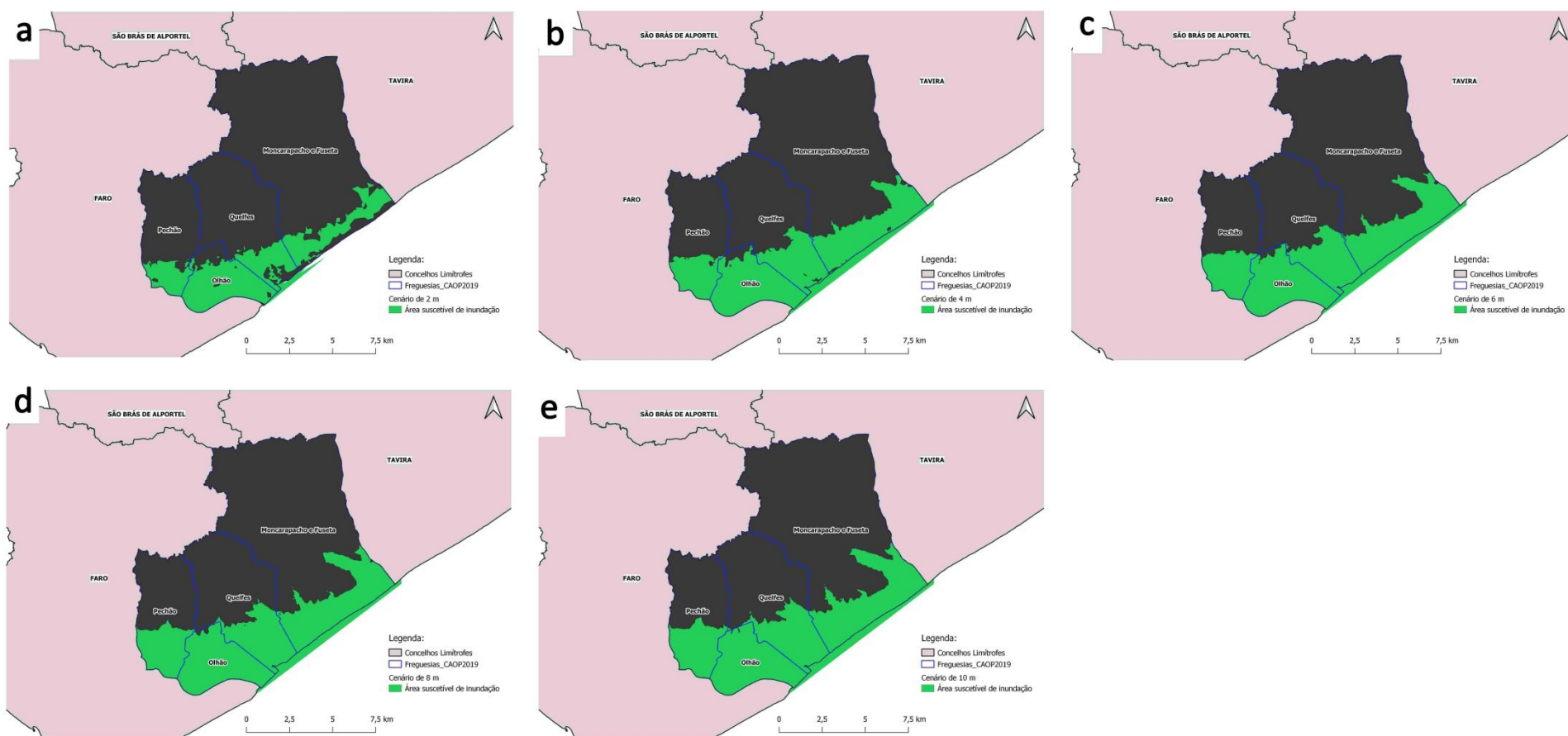
### 3.2. Modelo digital do terreno e identificação das áreas suscetíveis de serem inundadas por tsunamis

As áreas suscetíveis de serem inundadas pela progressão de um tsunami são aquelas que serão utilizadas no estudo de vulnerabilidades. Serão nestas áreas que se podem esperar danos em estruturas e impactos socioeconómicos relevantes (por exemplo mortos, feridos e desalojados). Na Figura 16 apresenta-se um esquema com os vários passos utilizados no cálculo das áreas suscetíveis de serem inundadas pela inundação. Para a identificar essas áreas foi necessário obterem-se dados referentes à altimetria do concelho. Esta informação foi solicitada ao Município de Olhão que disponibilizou uma camada vetorial de pontos cotados. Esta camada (*shapefile*) foi posteriormente validada e completada, através da sua sobreposição com as cartas militares do concelho de Olhão (CIGeoE 2013). Este procedimento permitiu a identificação de pontos cotados nessas cartas, que não constavam da camada inicial, e que foram adicionados à camada inicial o que permitiu alcançar um maior detalhe na variação da altimetria.

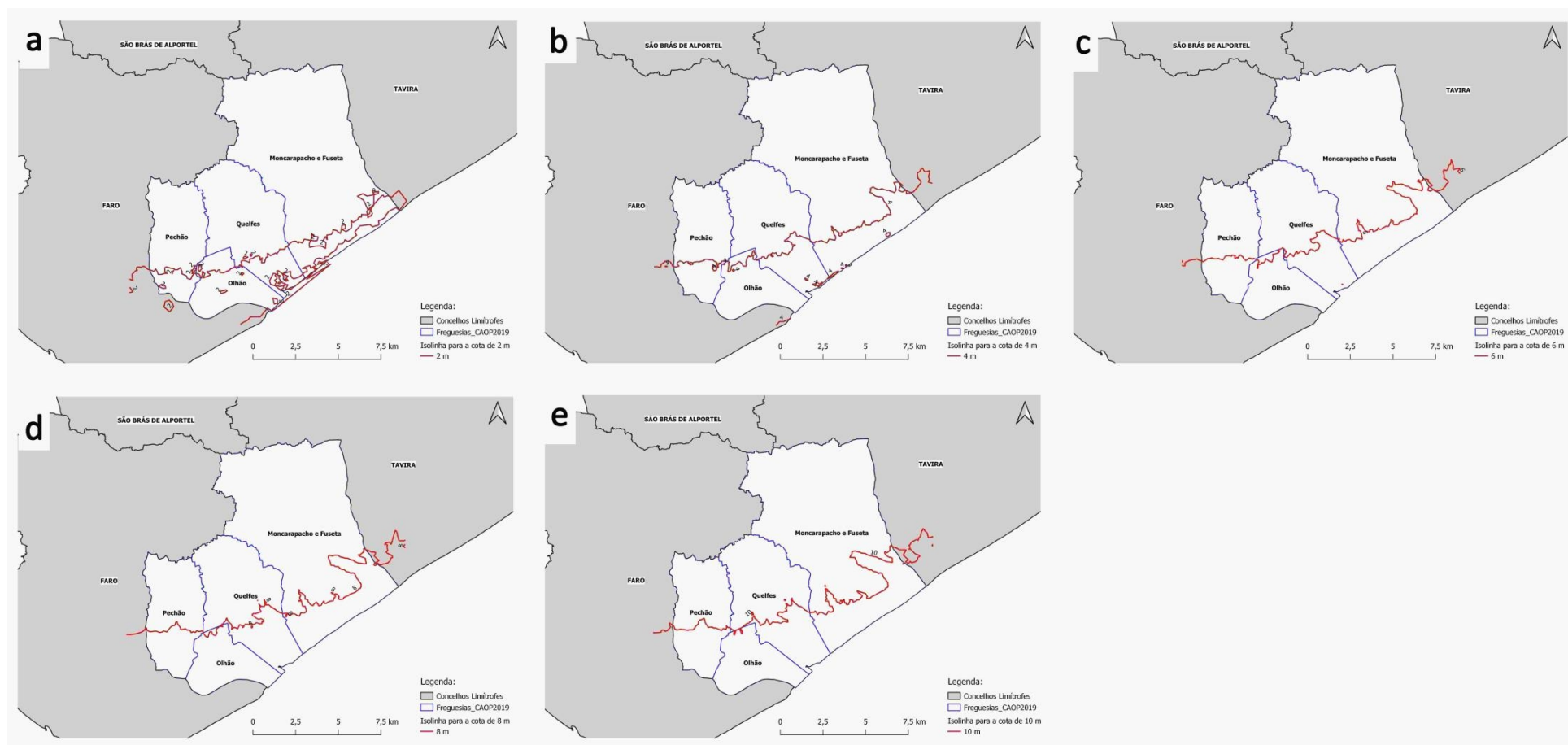


**Figura 16:** Esquema da metodologia utilizada no cálculo do modelo digital do terreno do concelho de Olhão e das áreas suscetíveis de serem inundadas pela ação de um tsunami.

Esta camada (Anexo 7) foi utilizada como camada de entrada no cálculo do Modelo Digital do Terreno (MDT) do concelho de Olhão (Figura 16). Neste cálculo, utilizou-se a ferramenta de processamento de Redes de Triangulação Irregular (TIN) com uma grelha de 10 m x 10 m. Desta operação resultou uma camada *raster* MDT que permitiu uma diferenciação da área de estudo por diferentes valores de cota e com uma resolução de 10 m. O passo seguinte consistiu na utilização do MDT e da calculadora raster do Qgis, utilizando-se a expressão  $cota \leq x$ , em que  $x$  corresponde ao valor da cota máxima considerado para cada cenário. Estes cálculos realizaram-se para os cenários considerados:  $Cota \leq 2$  m,  $Cota \leq 4$  m,  $Cota \leq 6$  m,  $Cota \leq 8$  m e  $Cota \leq 10$  m (que passarão a ser designados por cenários de 2 m, 4 m, 6 m, 8 m e 10 m respetivamente). Obtiveram-se cinco camadas raster que permitiram identificar as áreas suscetíveis de serem inundadas pelo deslocamento de um tsunami até às cotas consideradas para cada cenário (Figura 17). Uma outra forma de identificar as áreas suscetíveis de inundação foi através da utilização da ferramenta de extração de contorno disponível no Qgis. Esta opção permite obter isolinhas que apresentam o mesmo valor de cota. Para o efeito, aplicou-se esta ferramenta sobre a camada raster MDT, utilizando um intervalo entre isolinhas igual a 2 m. Como resultado, obteve-se a delimitação das áreas suscetíveis de inundação para cada um dos cenários considerados neste estudo (Figura 18). Neste caso as áreas localizadas entre as isolinhas e a linha do litoral, correspondem às áreas inundadas para cada um dos cenários.



**Figura 17:** Áreas suscetíveis de serem inundadas pelo deslocamento de tsunamis até às cotas: a) 2 m; b) 4 m; c) 6 m; d) 8 m; e) 10 m.



**Figura 18:** Delimitação das áreas suscetíveis de inundação utilizando-se isolinhas para os cenários: a) 2 m; b) 4 m; c) 6 m; d) 8; e) 10 m.

### **3.3. Identificação do número de edifícios localizados dentro das áreas suscetíveis de serem inundadas e análise das suas vulnerabilidades**

A identificação do número de edifícios que podem ser inundados pela ação de um tsunami e das suas características (e.g. altura, tipologia construtiva) é um passo importante na análise de vulnerabilidades estruturais. As características dos edifícios, em conjunto com as propriedades dos tsunamis (e.g. profundidade, caudal), influenciam os danos expectáveis no parque edificado e ajudam a identificar os edifícios que poderão ser utilizados como refugio para a população. Importa estimar o número de edifícios com danos ligeiros e que podem ser ocupados pelos residentes logo após a passagem de um tsunami, bem como estimar aqueles que têm de ser demolidos. Uma vez concluído o processo de identificação das áreas suscetíveis de inundação (terceiro passo da metodologia, Figura 15), a etapa seguinte foi identificar o número de edifícios localizados nessas áreas. Assim, foi necessário desenhar um polígono (*shapefile*), coincidente com cada uma das áreas de inundação já identificadas e calcular a sua interseção com uma camada (*shapefile*) com dados sobre o edificado existente no concelho de Olhão. Para esse efeito utilizou-se uma camada da Base Geográfica de Referenciação de Informação (BGRI) referente aos censos de 2011 (INE 2012) que contem diversa informação estatística (e.g. número de edifícios, tipologias construtivas). No Anexo 8 apresenta-se a título de exemplo o resultado da interseção da área de inundação do cenário de 10 m com a camada da BGRI. Para cada um dos polígonos obtidos nestas interseções estão incluídos os dados relativos aos censos de 2011. Como resultado desta operação, foi possível extrair da BGRI, o número de edifícios suscetíveis de serem inundados para cada um dos cenários de inundação considerados. Deverá ter-se em consideração que, na camada da BGRI, os edifícios são agrupados em pequenos polígonos (correspondentes a quarteirões). Ao proceder-se ao recorte da camada da BGRI, pela linha que delimita a área inundável, pode acontecer que, alguns destes polígonos sejam igualmente recortados, caso se localizem na zona de transição. Nestes casos, optou-se por se considerar o número total de edifícios existentes na totalidade do polígono recortado. Quer isto dizer, que nestas situações os valores apresentados são calculados por excesso.

Para se proceder à análise da vulnerabilidade do edificado localizado nas áreas de inundação, utilizaram-se alguns dos critérios propostos pelos autores Papathoma e Dominey-Howes (2003). Estes referem que devem ser consideradas características tais como: o tipo de materiais utilizados na construção e o número de pisos dos edifícios. Os autores Alderico et al. (2015) propõem ainda que, para além das características acima referidas, é de considerar o ano de construção dos edifícios. Estes autores consideram que os edifícios mais vulneráveis à ação de tsunamis, têm as seguintes características: têm apenas 1 piso, são construídos em madeira e o seu ano de construção é anterior a 1919 (Alderico et al. 2015). Por oposição, os edifícios menos vulneráveis possuem 4 pisos ou mais, as suas estruturas são reforçadas em betão e correspondem a construções recentes, até ao limite do ano de 1982 (Alderico et al. 2015). Para se estudar a vulnerabilidade dos edifícios de Olhão face à ocorrência de tsunamis foram extraídos da BGRI dados referentes ao ano de construção, às tipologias construtivas e ao número de pisos. Com base nessa informação, foi possível proceder-se à estimativa dos danos expectáveis no edificado de Olhão causados pela inundação de tsunamis. Para o efeito, foi utilizado o método proposto pelo Manual de Cenários de Risco e Danos de Tsunami (Tinti et al. 2011), elaborado na sequência de um projeto europeu de investigação de cenários de emergência, SCHEMA, que considera os seguintes fatores:

- tipologias construtivas dos edifícios existentes na região e o seu número de pisos;
- funções de vulnerabilidade que permitem estimar os danos em função das tipologias construtivas e da profundidade do fluxo dos tsunamis;
- uma escala de danos;

Com base nos fatores enunciados, procedeu-se à classificação dos edifícios de Olhão segundo a sua tipologia e utilizou-se a função de danos para apurar que tipo de danos são expectáveis para os cenários considerados no presente estudo.

### **3.4. Identificação do número de residentes localizados em áreas de inundação e análise das suas vulnerabilidades**

O cálculo aqui utilizado foi idêntico ao utilizado na identificação do número de edifícios suscetíveis à inundação por tsunamis. A partir da interseção das áreas de inundação com a BGRI obteve-se o número de residentes que são suscetíveis de serem afetados pela inundação para cada um dos cenários bem como as respetivas faixas etárias. Tendo em consideração que as faixas etárias mais avançadas e as crianças de idade mais recente podem ter dificuldades acrescidas em processos de evacuação, esta caracterização é importante para se estudar a vulnerabilidade da população face a esta fase de emergência. Estes dados desagregados ao nível do quarteirão, foram posteriormente introduzidos numa folha de cálculo e organizados por lugar. Para além de se pretender apurar quantos residentes são vulneráveis em cada cenário, importa identificar aqueles que residem, especificamente, nos aglomerados urbanos junto à linha de costa, como é o caso das localidades de Olhão, Fuseta e Armona.

### **3.5. Identificação de pontos sensíveis**

As inundações correspondem a um fenómeno natural que *“(...) pode pôr em causa a segurança de pessoas, dos bens e do ambiente, podendo provocar desalojados e a perda de vidas humanas (...)”*. (Decreto-Lei nº 115/2010, de 22 de outubro). O Decreto-Lei nº 115/2010, de 22 de outubro, foi publicado no âmbito da gestão e da avaliação do risco de inundações, com o objetivo de reduzir as suas consequências. No seu artigo 2º considera-se que são edifícios sensíveis: hospitais, lares de idosos, creches, infantários, escolas, edifícios de armazenamento ou processamento de substâncias perigosas (voláteis, inflamáveis, explosivos, tóxicos ou reativos em contacto com a água) e edifícios com importância na gestão de emergências, como é o caso dos quartéis de bombeiros, instalações das forças de segurança, delegações da Cruz Vermelha Portuguesa e os SMPC. Por outro lado, o Manual de Cenários de Risco e Danos de Tsunami (Tinti et al. 2011), refere que, para além de um inventário de edifícios, deve proceder-se também ao inventário de objetos considerados relevantes, existentes nas zonas próximas da linha de costa suscetíveis a tsunamis. Tratam-se de objetos que, pela sua capacidade flutuante, podem ser facilmente arrastados pelas

correntes, contribuindo significativamente para o aumento das consequências provocadas por tsunamis. Tendo em conta os edifícios considerados sensíveis no Decreto-Lei nº 115/2010, de 22 de outubro e o Manual de Cenários de Risco e Danos de Tsunami (Tinti et al. 2011), foram identificados no presente estudo os seguintes elementos que se consideram pontos sensíveis:

1) Objetos flutuantes - locais onde existe, habitualmente, uma grande concentração de objetos que, não estando fixos, poderão flutuar e serem arrastados pelo fluxo de tsunamis (Exemplos: automóveis e embarcações marítimas). Este tipo de objetos, ao serem arrastados pelas correntes, podem embater violentamente contra pessoas ou edifícios, provocando danos nas suas estruturas (Tinti et al. 2011). Ao serem elevados pelo nível da água do mar, poderão atingir paredes, pilares ou telhados. Nesse sentido, procedeu-se ao levantamento de várias estruturas na área de estudo: parques de estacionamento localizados junto à linha de costa, portos de pesca e similares, docas, marinas e outros locais destinados à recolha de embarcações, como é o caso dos estaleiros navais.

2) Edifícios afetos a serviços essenciais à proteção, à segurança e ao socorro da população, considerados essenciais na resposta a uma catástrofe, designadamente: bombeiros, forças de segurança, infraestruturas da proteção civil, centros de saúde ou outras infraestruturas afetas a serviços de emergência, como é o caso das Delegações da Cruz Vermelha Portuguesa. Neste ponto, foram ainda integradas as farmácias por representarem locais de armazenamento de materiais destinados à prestação de cuidados pré-hospitalares e hospitalares, em caso de rutura de stocks nos centros de saúde ou nas ambulâncias de socorro.

3) Postos de combustíveis e áreas industriais - locais que devido à sua grande inflamabilidade podem provocar violentas explosões ou grandes incêndios, na sequência de impactos e outros que contenham grandes quantidades de substâncias de elevada toxicidade.

4) Locais de elevadas concentrações humanas - aqueles que pelo seu tipo de utilização, pressupõem uma elevada concentração de pessoas, devendo merecer especial atenção: escolas, lares para idosos e centros de dia, hotéis, pensões e parques de campismo. Os dados referentes ao número de alunos inscritos nas escolas foram disponibilizados pelo SMPC de Olhão e reportam-se ao ano letivo 2019/2020.

Para a identificação dos pontos sensíveis de Olhão foi utilizada a informação cartográfica contida no PMEPC de Olhão (2011) (e.g. localização de escolas, farmácias). Em virtude de o PMEPC ser de 2011, já se pode encontrar desatualizado pelo que se procedeu à validação dos pontos sensíveis nele identificados, através de verificação no terreno e da consulta do Google Earth. Eliminaram-se os pontos sensíveis inexistentes e acrescentaram-se as estruturas que entretanto foram construídas no concelho de Olhão. Procedeu-se à georreferenciação dos pontos considerados que forma posteriormente sobrepostos às áreas suscetíveis de serem inundadas para cada um dos cenários considerados. Deste processo identificaram-se os pontos que podem ser inundados e destruídos para cada um dos cenários.

### **3.6. Identificação de possíveis Zonas de Refúgio (ZR) e de Zonas de Concentração e Apoio à População (ZCAP)**

As Zonas de Refúgio (ZR) e as Zonas de Concentração e Apoio à População (ZCAP) correspondem a edifícios ou infraestruturas que, pelas suas características, poderão ser utilizadas como locais mais seguros para a concentração da população, em caso de evacuação imediata. Neste ponto, procedeu-se à identificação de locais que possam ser utilizados para acolher a população em caso de tsunamis. O principal critério para a escolha de locais destinados a ZR é forma as cotas do concelho de Olhão e os cenários considerados. Segundo a Resolução nº 1/2019, de 12 de setembro estas zonas correspondem a espaços abertos, destinados a permanência temporária, não superior a 24 horas, localizados a cotas superiores às das áreas potencialmente afetadas por inundação. Neste estudo, considerou-se que a localização destas estruturas deve estar a cotas superiores a 10 m, ou seja, acima da cotas considerada para o pior cenário. As infraestruturas habitualmente utilizadas para este efeito são os campos polidesportivos.

No caso das Zonas de Concentração e Apoio à População (ZCAP), devem ser garantidos outros aspetos como o conforto térmico, a existência de casas de banho, áreas destinadas ao descanso e à alimentação. Tratam-se de locais destinados ao alojamento temporário da população desalojada, que pode estender-se por vários dias, na sequência do edificado apresentar danos graves, colapsos ou devido ao

impedimento de acesso às áreas afetadas. O tipo de infraestruturas apropriadas neste caso, são os pavilhões desportivos que, na maioria das vezes, estão acoplados a escolas que têm refeitório. Os edifícios destinados a este tipo de ocupação, deverão ter as necessárias características estruturais que lhes permitam resistir às possíveis solicitações sísmicas que podem estar na origem de um tsunami.

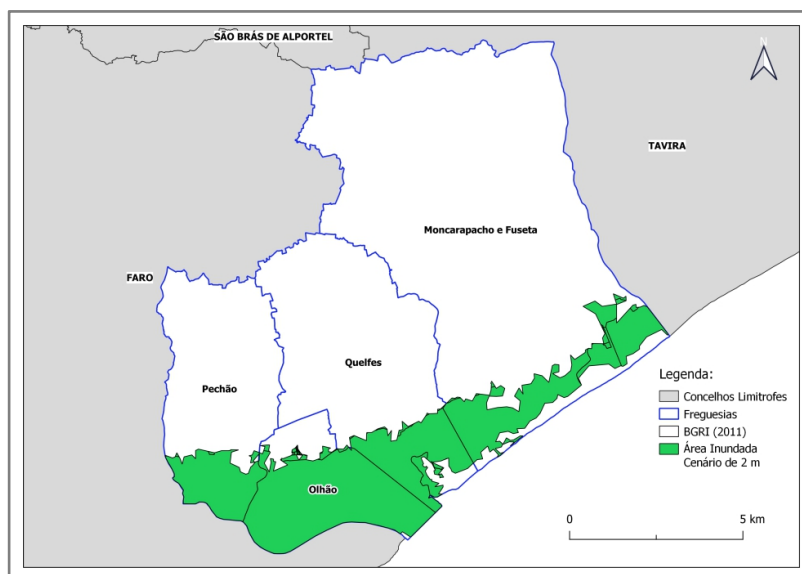
## **4. RESULTADOS**

No presente capítulo são apresentados os resultados decorrentes da aplicação da metodologia definida anteriormente. São apresentados os resultados respeitantes (i) à identificação dos elementos em perigo (estruturas e população localizados em áreas de inundação); (ii) vulnerabilidade do edificado; (iii) vulnerabilidade da população residente no concelho de Olhão; (iv) identificação de pontos sensíveis; (v) identificação de Zonas de Refúgio (ZR) e de Zonas de Concentração e Apoio à População (ZCAP).

### **4.1. Identificação de elementos em perigo para cada um dos cenários considerados**

Apresenta-se neste ponto, a identificação dos elementos em perigo (edifícios e população) para cada um dos cenários considerados no presente estudo. Para cada cenário é apresentada uma tabela, onde se apresenta o número de edifícios e o número de residentes que podem ser afetados por inundações de tsunamis.

Para o cenário de 2 m e de acordo com a Figura 19, onde se apresenta a área de inundação e os limites das freguesias do concelho de Olhão, verifica-se que Olhão é a freguesia mais afetada: 83% da sua área é suscetível de ser inundada. Verifica-se que existem locais ao longo do cordão dunar da Ria Formosa que, para este cenário, não deverão ficar inundadas. Tratam-se de locais que apresentam cotas mais elevadas e que se poderão constituir como locais de defesa na progressão de um tsunami que atinja a cota de 2 m. A área total inundada para este cenário é de 25.37 km<sup>2</sup> o que corresponde a 19% da área total do concelho.



**Figura 19:** Representação da área de inundação para um Tsunami que se desloca até à cota de 2 m.

Relativamente ao edificado existente, foram apurados 1 388 edifícios localizados na área de inundação (Tabela 6). Destes, 1 305 correspondem a edifícios com 1 ou 2 pisos, o que representa uma percentagem de 94% do total dos edifícios que podem ficar inundados. Os edifícios com 3, 4, 5 ou mais pisos, assumem uma representatividade muito pequena (6%) relativamente ao conjunto de edifícios que podem ficar inundados. Dos 1388 edifícios suscetíveis de ficarem inundados, constatou-se que 773 estão localizados na Ilha de Armona. No que concerne à população, estima-se que 1 275 residentes estão dentro das áreas suscetíveis de inundação, o que representa 3% dos residentes do concelho.

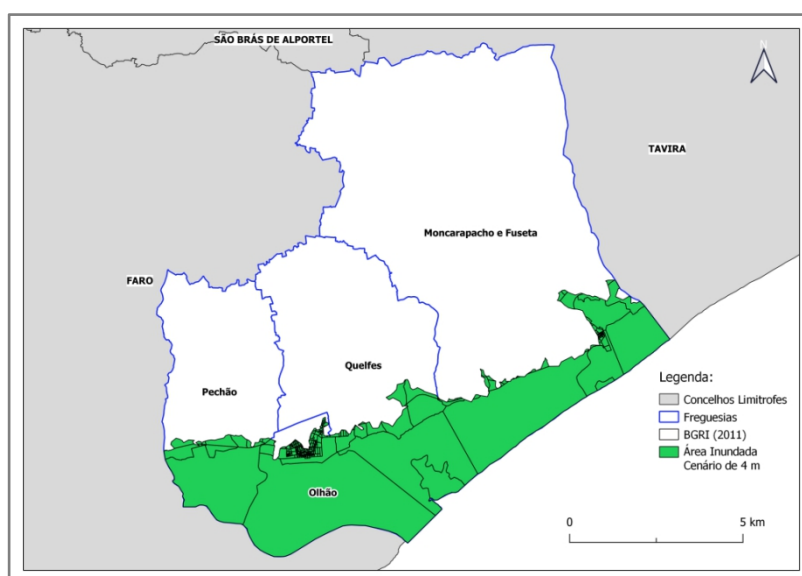
**Tabela 6:** Número de pessoas residentes e de edifícios suscetíveis de serem inundados para o cenário de 2 m.

| População residente em localizada em área de inundação | Edifícios suscetíveis de serem inundados para o cenário de 2 m |                  |                  |                     |
|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|------------------|------------------|---------------------|
|                                                        | Total                                                          | Com 1 ou 2 pisos | Com 3 ou 4 pisos | Com 5 pisos ou mais |
| <b>1 275</b>                                           | <b>1 388</b>                                                   | 1 305            | 53               | 30                  |

Os edifícios mais baixos, com 1 e 2 pisos, são os que correspondem a mais de 90% do total de edifícios existentes em 2011 no concelho de Olhão e que poderão ser os mais suscetíveis de serem inundados por tsunamis. Embora a cota máxima neste cenário seja de 2 m, alguns dos edifícios de 1 piso, que terão uma altura média de 3 m, podem ficar quase submersos. Nesse sentido, a ocorrência de um tsunami com estas

características, pode por em perigo a vida dos seus residentes, se não for possível proceder à sua evacuação. A evacuação de 1 275 pessoas em tempo útil tem de assentar num bom planeamento, informação pública e na realização de exercícios em que a população participe de um modo ativo.

Para o cenário de 4 m, observa-se um aumento da área de inundação e não se identifica nenhuma porção do cordão dunar que se encontre emerso (Figura 20). Este facto indica que um tsunami que atinja a cota de 4 m galgará as dunas do litoral podendo progredir mais facilmente para o interior do concelho de Olhão. A área total inundada para este cenário é de 35.61 km<sup>2</sup> o que corresponde a 27% da área total do concelho.



**Figura 20:** Representação da área de inundação para um Tsunami que se desloca até à cota de 4 m.

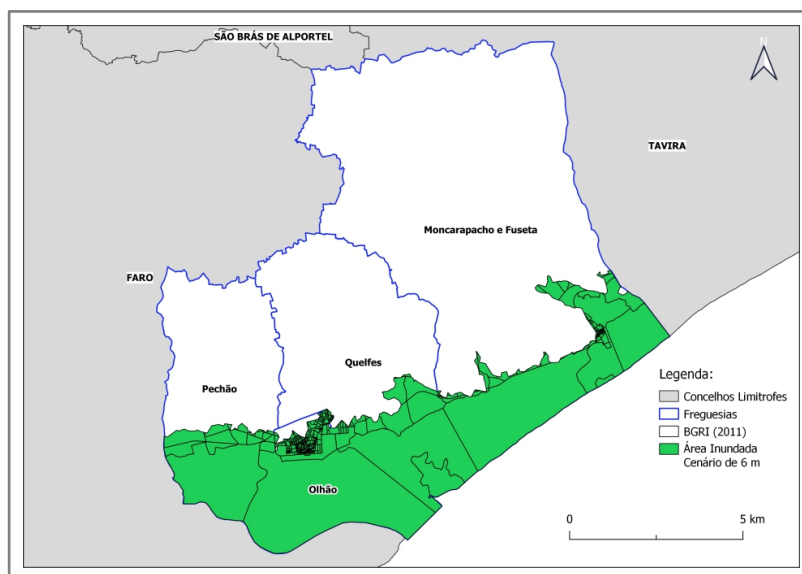
Neste cenário, estima-se que 5 078 edifícios poderão ser inundados (Tabela 7), o que corresponde a um aumento de 3 690 edifícios comparativamente ao cenário anterior. Os edifícios com 1 ou 2 pisos que podem ser inundados, correspondem a 4 531 edifícios e representam 89% do total dos edifícios que podem ficar parcialmente ou totalmente submersos. Conclui-se que existe um aumento considerável de edifícios com 3 ou 4 pisos localizados dentro das áreas suscetíveis, num total de 321 relativamente ao cenário anterior e de 143 no que concerne ao edifícios com 5 pisos ou mais. Ainda comparativamente ao cenário anterior, verificou-se um aumento de 9 507 pessoas residentes em área de inundação, perfazendo um total de 10 782 residentes localizados em áreas suscetíveis de ficarem inundadas (Tabela 7).

**Tabela 7:** Número de pessoas residentes e de edifícios suscetíveis de serem inundados para o cenário de 4 m.

| População residente em localizada em área de inundação | Edifícios suscetíveis de serem inundados para o cenário de 4 m |                  |                  |                     |
|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|------------------|------------------|---------------------|
|                                                        | Total                                                          | Com 1 ou 2 pisos | Com 3 ou 4 pisos | Com 5 pisos ou mais |
| <b>10 782</b>                                          | <b>5 078</b>                                                   | 4 531            | 374              | 173                 |

Tendo em conta que a altura média dos edifícios corresponde a 3 m por piso, considera-se que muitos dos edifícios com 1 piso, principalmente os que se localizam perto do litoral, deverão ficar completamente submersos. Nesse sentido, poderão sofrer elevados danos estruturais em função do fluxo do tsunami e poderão colapsar parcialmente ou na sua totalidade. É de salientar que a estabilidade estrutural destes edifícios, que na sua maior parte serão antes da implementação da primeira regulação antissísmica em Portugal, pode ficar comprometida após a passagem das ondas sísmicas provenientes de um sismo com epicentro no mar. Nesse sentido, estes edifícios deverão estar mais fragilizados e, por conseguinte, serem mais suscetíveis de colapsar pela ação de um tsunami. Parte desse material, resultante do colapso, pode ser transportado pelo tsunami e constituir-se como projeteis. A população que agora terá de ser alertada para a possibilidade da ocorrência de um tsunami é de quase 11 000 residentes. Nesse sentido, será fundamental existir um sistema de alerta e aviso em funcionamento.

No cenário de 6 m, a área total inundada é de 38.35 km<sup>2</sup> o que corresponde a 29% da área total do concelho (Figura 21). Com o aumento da área de inundação, ocorre um aumento considerável do número de edifícios e residentes em área de inundação. Foram identificados 6 861 edifícios e 18 476 residentes que estão em área de inundação e que possivelmente serão afetados (Tabela 8). O aumento do número de edifícios verificado entre os cenários de 4 m e de 6 m (1 783 edifícios) quando comparado com o aumento entre os cenários de 2 m e 4 m (3 690) não é agora tão significativo.



**Figura 21:** Representação da área de inundação para um Tsunami que se desloca até à cota de 6 m.

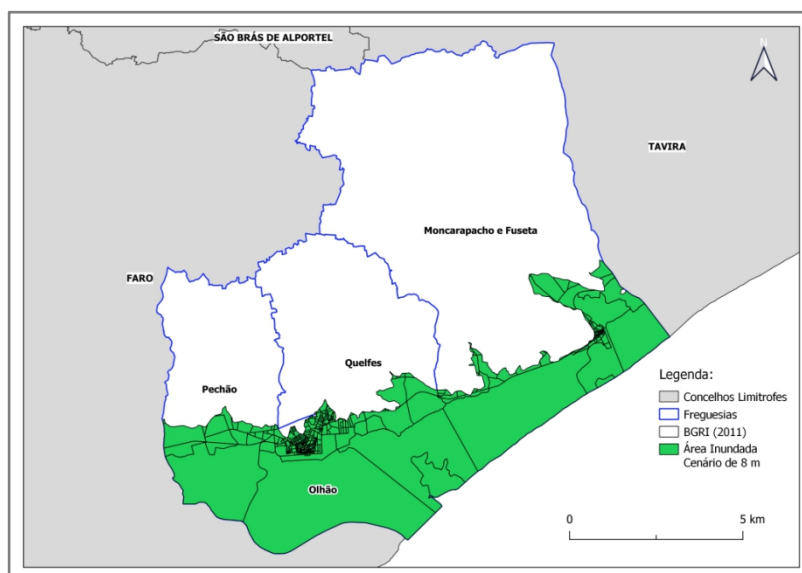
Em comparação com o cenário anterior, verificou-se um aumento de 1 783 edifícios dentro das áreas inundadas. O número de edifícios suscetíveis, com 5 ou mais pisos, são agora de 315 e no cenário anterior eram de 173. Verifica-se um aumento significativo do número de residentes localizados dentro da área inundada (mais 7 649). Este facto poderá estar relacionado com a existência de mais edifícios de 5 ou mais pisos que podem ficar inundados e que podem alojar um maior número de pessoas.

**Tabela 8:** Número de pessoas residentes e de edifícios suscetíveis de serem inundados para o cenário de 6 m.

| População residente em localizada em área de inundação | Edifícios suscetíveis de serem inundados para o cenário de 6 m |                  |                  |                     |
|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|------------------|------------------|---------------------|
|                                                        | Total                                                          | Com 1 ou 2 pisos | Com 3 ou 4 pisos | Com 5 pisos ou mais |
| 18 476                                                 | 6 861                                                          | 5 977            | 569              | 315                 |

De acordo com a cota atingida pela inundação considera-se, neste cenário, que podem ficar parcialmente submersos os edifícios com 2 pisos. Estes têm uma altura média de 6 m, pelo que é expectável que 5 977 edifícios possam ficar submersos durante a progressão de um tsunami para este cenário, ou seja, 87% do total dos edifícios que podem ser inundados. É de realçar que poderão existir mais de 18 000 residentes em área de inundação e que grande parte deles terá de ser evacuado para cotas superiores a 6 m.

Para o cenário de 8 m, a área total inundada é de 40.86 km<sup>2</sup>, o que corresponde a 31% da área total do concelho. Na Figura 22 é apresentada a área que poderá ser inundada quando a inundação provocada por um tsunami atinge a cota de 8 m.



**Figura 22:** Representação da área de inundação para um Tsunami que se desloca até à cota de 8 m.

De acordo com os dados da Tabela 9, o número total de edifícios suscetíveis de serem inundados para este cenário é de 7 643, verificando-se um aumento de apenas 10%, comparativamente ao total apurado no cenário de 6 m: o aumento de edifícios entre estes dois cenários é de 782. Relativamente ao número de pessoas residentes, foram apuradas 22 504 dentro da área inundada (Tabela 9). Comparando este resultado com o obtido no cenário anterior, observa-se um aumento de 4 028 pessoas.

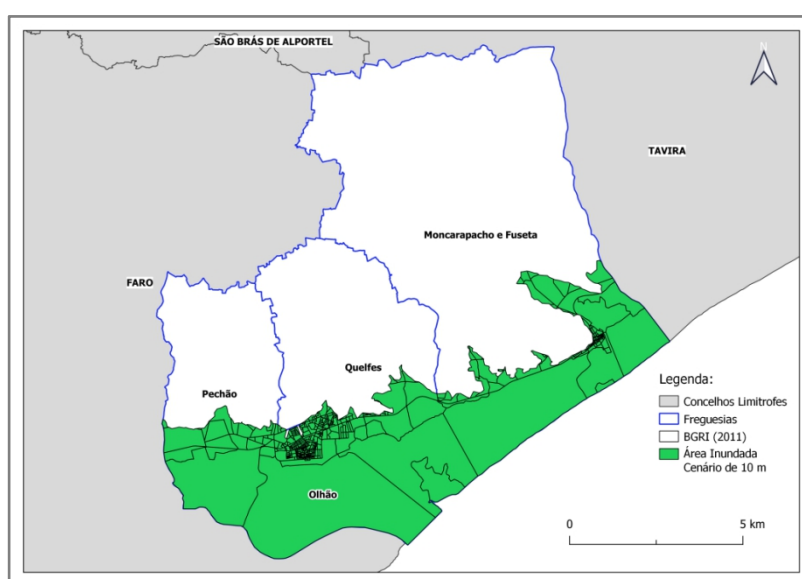
**Tabela 9:** Número de pessoas residentes e de edifícios suscetíveis de serem inundados para o cenário de 8 m.

| População residente em localizada em área de inundação | Edifícios suscetíveis de serem inundados para o cenário de 8 m |                  |                  |                     |
|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|------------------|------------------|---------------------|
|                                                        | Total                                                          | Com 1 ou 2 pisos | Com 3 ou 4 pisos | Com 5 pisos ou mais |
| <b>22 504</b>                                          | <b>7 643</b>                                                   | 6 585            | 661              | 397                 |

No que concerne à relação entre a cota atingida pela água e o número de pisos dos edifícios, considera-se que todos os edifícios com apenas 1 ou 2 pisos (correspondentes a uma altura máxima de 6 m) podem ficar totalmente submersos para este cenário. Assim, estão nesta condição 6 585 edifícios, que corresponde a 86% do total apurado. A altura atingida pela água, neste cenário, não é suficiente para

atingir os terceiros pisos, cuja altura média é de aproximadamente 9 m. No entanto, existem agora mais de 20 000 residentes que têm de ser alertados para a possibilidade de estarem em área de inundação de um tsunami.

O cenário de 10 m é o de maior gravidade e corresponde a um tsunami que se desloque até à cota de 10 m. A área total inundada é de 42.96 km<sup>2</sup>, o que corresponde a 33% da área total do concelho. A Figura 23 mostra que a freguesia de Olhão poderá ficar totalmente submersa.



**Figura 23:** Representação da área de inundação para um Tsunami que se desloca até à cota de 10 m.

O número total de edifícios e residentes identificados dentro das áreas que podem ficar inundadas é de 8 340 e de 27 248 respetivamente (Tabela 10). Estes valores correspondem a 55% do edificado e 60% da população total do concelho de Olhão.

**Tabela 10:** Número de pessoas residentes e de edifícios suscetíveis de serem inundados para o cenário de 10 m.

| População residente em localizada em área de inundação | Edifícios suscetíveis de serem inundados para o cenário de 10 m |                  |                  |                     |
|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|------------------|------------------|---------------------|
|                                                        | Total                                                           | Com 1 ou 2 pisos | Com 3 ou 4 pisos | Com 5 pisos ou mais |
| <b>27 248</b>                                          | <b>8 340</b>                                                    | 7 104            | 781              | 455                 |

Quanto ao número de edifícios suscetíveis, verificou-se que dos 8 340 apurados, 7 104 (85%) possuem 1 ou 2 pisos, pelo que se considera que estes ficam totalmente submersos. Neste cenário, o terceiro piso dos edifícios já é afetado, uma vez que a altura atingida pela água ultrapassa a altura média dos 9 m, provocando inundações parciais. Assim, só a partir do quarto piso, inclusive, é que não se preveem quaisquer inundações, pelo que, todos os pisos acima do terceiro poderão ser utilizados como possíveis locais de refúgio para a população.

#### **4.2. Vulnerabilidade do edificado e estimativa do número de desalojados para cada um dos cenários considerados**

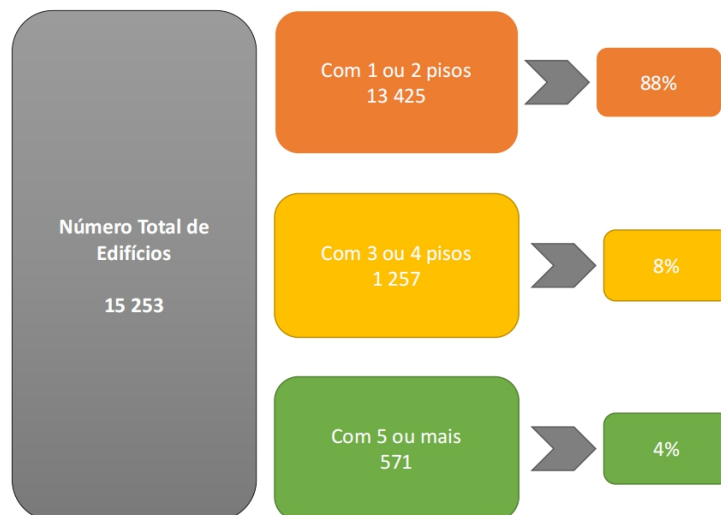
Importa estudar a vulnerabilidade dos edifícios do concelho de Olhão face à ocorrência de tsunamis de modo a obterem-se cenários de danos que devem compreender: (i) número de edifícios com danos; (ii) número de edifícios colapsados; (iii) número de pessoas desalojadas de curta e longa duração. Estes, permitem a execução de um planeamento de emergência adequado, em função dos danos expectáveis. A vulnerabilidade do edificado, tal como foi referido na metodologia, depende de diversos fatores, nomeadamente: o número de pisos que os edifícios possuem, o tipo de construção que influencia a sua resistência e a sua idade, ou seja, o ano de construção. Para além destas características, a vulnerabilidade do edificado, face à ocorrência de tsunami, depende ainda da localização dos edifícios, isto é, importa identificar os que estão localizados dentro das áreas suscetíveis de inundação. A Tabela 11 apresenta, para além do número total de edifícios localizados nas áreas suscetíveis de serem inundadas em cada um dos cenários, o seu número de pisos. A distribuição dos edifícios em áreas de inundação pelo número de pisos, segue a distribuição constante pela BGRI que procedeu à seguinte diferenciação por quarteirão:

- edifícios com 1 ou 2 pisos;
- edifícios com 3 ou 4 pisos;
- edifícios com 5 pisos ou mais.

**Tabela 11:** Número de edifícios suscetíveis a inundação, distribuídos por cenários e número de pisos.

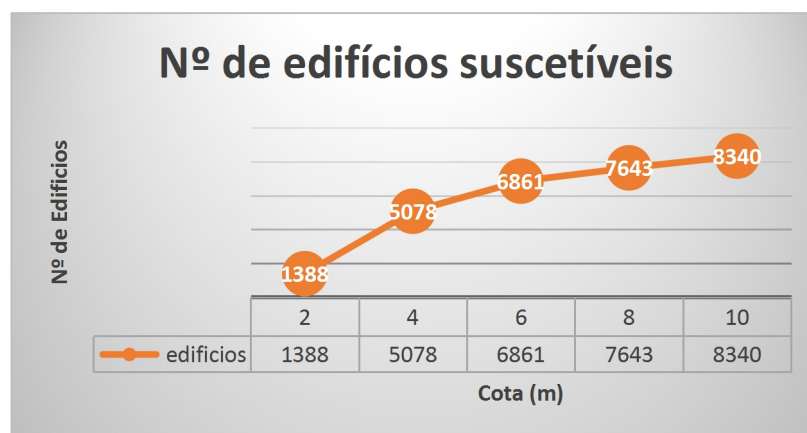
| Cotas atingidas pelo tsunami (m) | Número de edifícios suscetíveis a inundação por tsunami |                 |                 |                     |
|----------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|---------------------|
|                                  | Total (a+b+c)                                           | 1 e 2 Pisos (a) | 3 e 4 Pisos (b) | 5 ou mais pisos (c) |
| 2                                | 1 388                                                   | 1 305           | 53              | 30                  |
| 4                                | 5 078                                                   | 4 531           | 374             | 173                 |
| 6                                | 6 861                                                   | 5 977           | 569             | 315                 |
| 8                                | 7 643                                                   | 6 585           | 661             | 397                 |
| 10                               | 8 340                                                   | 7 104           | 781             | 455                 |

De acordo com os autores Alderico et al. (2015), são considerados menos vulneráveis face a tsunamis com uma altura máxima de 10 m os edifícios que possuem 4 ou mais pisos. A altura média de cada piso considerada pelos autores é de 3 m e nesse sentido, os edifícios com 4 pisos ou mais podem ser utilizados como locais de refúgio nos seus pisos mais elevados. Por oposição, os edifícios que apresentam maior vulnerabilidade são os que possuem apenas 1 ou 2 pisos, categoria que assume a maior representatividade no concelho de Olhão (88 %) (Figura 24). Assim, se se considerar o cenário de 10 m, verifica-se que 7 104 edifícios com 1 ou 2 pisos se localizam em área de inundação num total de 8 340 edifícios potencialmente afetados. Deste modo, 85% dos edifícios localizados dentro das áreas suscetíveis de serem inundadas apresentam uma elevada vulnerabilidade porque podem ser submersos. É de salientar que estes edifícios não podem servir de locais de abrigo para os seus residentes o que poderá dificultar a sua evacuação para locais acima da cota dos 10 m. Para se conseguir interpretar o significado dos valores acima apresentados relativamente à totalidade do concelho, procedeu-se à análise do número total de edifícios existentes, de modo a avaliar a verdadeira dimensão do número de edifícios potencialmente afetados. O concelho apresentava, em 2011, um total de 15 253 edifícios recenseados, dos quais 13 425 possuem 1 ou 2 pisos, 1 257 têm 3 ou 4 pisos e os restantes 571 têm 5 ou mais pisos (Figura 24).



**Figura 24:** Número de edifícios existentes no concelho de Olhão em 2011 (INE 2012).

Após o apuramento do número total de edifícios do concelho, concluiu-se então que mais de metade dos edifícios existentes estão localizados dentro das áreas suscetíveis de inundação. Para o cenário em que o nível da água atinge a cota dos 10 m de altura, a percentagem total de edifícios que podem ser inundados é de 55% (8 340 edifícios). Quanto maior for a cota atingida pela onda, maior será o número de edifícios afetados. Contudo, tal como já referido, a variação desse aumento tende a abrandar a partir do cenário de 4 m (Gráfico 1). Entre os cenários de 8 e 10 m é onde se verifica o menor aumento do número de edifícios localizados dentro das áreas inundadas, com uma variação de 697 edifícios (8%). Por oposição, é entre os cenários de 2 e 4 m, que ocorre uma variação mais expressiva, com o aumento de 3 690 edifícios (44%).



**Gráfico 1:** Número de edifícios localizados dentro das áreas suscetíveis de serem inundadas para cada um dos cenários considerados.

No que concerne ao número de pisos, apesar da BGRI agregar os edifícios com 1 ou 2 pisos na mesma categoria, procedeu-se à pesquisa do número de edifícios segundo o seu número de pisos, nos dados disponíveis nos Censos 2011 (INE 2012). Esta desagregação poderá permitir uma perceção mais rigorosa dos danos que podem ser causados no edificado na sequência de uma inundação. De acordo com os dados da Tabela 12 verifica-se que dos 13 425 edifícios existentes em 2011 na classe com 1 ou 2 pisos (Figura 24), 9 193 edifícios (cerca de 68%) possuem apenas 1 piso (com uma altura média de 3 m). É de assinalar que para o cenário menos gravoso (2 m) podem existir 1 305 edifícios com 1 a 2 pisos em área de inundação (Tabela 6). Considerando-se que 68% dos 1 305 edifícios têm 1 piso, podemos estimar que 887 poderão ficar parcialmente submersos pondo em perigo de vida os seus ocupantes. Tendo em conta a tipologia construtiva destes edifícios, eles deverão pertencer às estruturas mais vulneráveis para este cenário.

**Tabela 12:** Número de edifícios existentes no concelho de Olhão, segundo o número de pisos. Fonte: INE (2012).

| Localidades |         | Total  | 1 Piso | 2 Pisos | 3 Pisos | 4 Pisos | 5 Pisos | 6 Pisos | 7 Pisos ou mais |
|-------------|---------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------------|
| Concelho    | Olhão   | 15 253 | 9 193  | 4 232   | 815     | 442     | 367     | 127     | 77              |
| Freguesias  | Olhão   | 3 808  | 2 103  | 941     | 259     | 190     | 194     | 58      | 63              |
|             | Pechão  | 1 263  | 743    | 440     | 37      | 5       | 1       | 37      | 0               |
|             | UFMF    | 5 266  | 3 506  | 1 543   | 175     | 13      | 28      | 1       | 0               |
|             | Quelfes | 4 916  | 2 841  | 1 308   | 344     | 234     | 144     | 31      | 14              |

Para além do número de pisos, também as tipologias construtivas têm uma grande influência na vulnerabilidade dos edifícios face à ocorrência de tsunamis (Papathoma e Dominey-Howes 2003; Alberico et al. 2015). Para se estudarem as vulnerabilidades em função das tipologias construtivas no concelho de Olhão, foram utilizados os dados dos censos de 2011 (INE 2012) desagregados ao nível do quarteirão BGRI, que procede à classificação das tipologias construtivas dos edifícios de acordo com as seguintes classes:

- edifícios com estrutura de betão armado;
- edifícios com estrutura de paredes de alvenaria com placa;
- edifícios com estrutura de paredes de alvenaria sem placa;
- edifícios com estrutura de paredes de adobe ou alvenaria de pedra solta;
- edifícios com outro tipo de estrutura.

Na Tabela 13, apresentam-se o número de edifícios existentes no concelho de Olhão, segundo a sua tipologia construtiva.

**Tabela 13:** Número e percentagens de edifícios segundo tipologias construtivas no concelho de Olhão.  
Fonte: INE (2012).

| Estrutura                      | Betão Armado | Alvenaria com placa | Alvenaria sem placa | Adobe ou pedra | Outras  |
|--------------------------------|--------------|---------------------|---------------------|----------------|---------|
| Nº de Edifícios e Percentagens | 6 640 (44%)  | 5 485 (36%)         | 2 053 (13%)         | 950 (6%)       | 125(1%) |
| Total                          | 15 253       |                     |                     |                |         |

Verifica-se que 44% do edificado existente no concelho, corresponde a construções de estrutura sólida e resistente em betão armado, 36% corresponde a construções em alvenaria com placa, 13% a construções de alvenaria sem placa e 6% a construções de adobe e pedra. Estas duas últimas tipologias correspondem no seu conjunto a cerca de 19% do parque habitacional do concelho de Olhão (3 000 edifícios). Estes edifícios, pelo material e técnicas de construção utilizadas deverão ser os mais vulneráveis às solicitações impostas pela passagem das ondas sísmicas e pelos fluxos de tsunamis. Tendo em conta a distribuição de tipologias construtivas existentes por freguesia (INE 2012), verifica-se que em todas as freguesias são as estruturas em betão armado (mais resistentes) as que assumem maior representatividade (Tabela 14). Contudo, verificou-se que o número de edifícios em betão (mais resistentes) é inferior à soma das restantes tipologias (menos resistentes e mais vulneráveis) em todas as freguesias, exceto na freguesia de Pechão. Isto significa que, apesar da tipologia construtiva de betão armado apresentar as maiores percentagens no concelho (Tabela 13), relativamente às restantes tipologias, a maioria dos edifícios existentes por freguesia, corresponde ao tipo de estruturas mais vulneráveis à ação de tsunamis.

**Tabela 14:** Distribuição dos edifícios tipologias construtivas e por freguesia. Fonte: INE (2012).

| Localidade |         | Total  | Betão | Alvenaria | Alvenaria | Adobe e | Outros |
|------------|---------|--------|-------|-----------|-----------|---------|--------|
| Concelho   | Olhão   | 15 253 | 6 640 | 5 485     | 2 053     | 950     | 125    |
| Freguesias | Olhão   | 3 808  | 1 758 | 1 244     | 486       | 319     | 1      |
|            | Pechão  | 1 263  | 665   | 456       | 114       | 21      | 7      |
|            | UFMF    | 5 266  | 2 056 | 2 008     | 588       | 565     | 49     |
|            | Quelfes | 4 916  | 2 161 | 1 777     | 865       | 45      | 68     |

Como já referido, o tipo de construção constitui um fator com influência na vulnerabilidade do edificado face à ocorrência de tsunamis. Assim, importa analisar quais são os tipos de construções localizados em áreas de inundação para cada um dos cenários. Para se obterem estes dados utilizaram-se os resultados dos censos de 2011 da BGRI que foram cruzados com as áreas de inundação. Na Tabela 15 apresenta-se a distribuição das tipologias construtivas para cada um dos cenários.

**Tabela 15:** Número e percentagens de edifícios localizados nas áreas de inundação, para cada um dos cenários e segundo tipologias construtivas. Fonte: INE (2012).

| Cotas atingidas pelo tsunami (m) | Betão Armado | Alvenaria com placa | Alvenaria sem placa | Paredes em Adobe ou alvenaria de pedra solta | Outro tipo de estrutura | Total |
|----------------------------------|--------------|---------------------|---------------------|----------------------------------------------|-------------------------|-------|
| 2                                | 180 (13%)    | 390 (28%)           | 758 (55%)           | 2 (0%)                                       | 58 (4%)                 | 1 388 |
| 4                                | 1 734 (34%)  | 1 753 (35%)         | 1 322 (26%)         | 204 (4%)                                     | 65 (1%)                 | 5 078 |
| 6                                | 2 819 (41%)  | 2 211 (32%)         | 1 434 (21%)         | 328 (5%)                                     | 69 (1%)                 | 6 861 |
| 8                                | 3 143 (41%)  | 2 528 (33%)         | 1 518 (20%)         | 385 (5%)                                     | 69 (1%)                 | 7 643 |
| 10                               | 3 540 (42%)  | 2 765 (33%)         | 1 555 (19%)         | 410 (5%)                                     | 70 (1%)                 | 8 340 |

Para o cenário de 2 m, o tipo de construção que se localiza em área de inundação e em maior número são os edifícios de alvenaria sem placa com 758 edifícios (Tabela 15). Este valor corresponde a 55% dos edifícios que podem ser inundados, o que em termos de resistência estrutural e da sua localização (estruturas localizadas nas cotas mais baixas e próximas da linha de costa) os tornam vulneráveis ao deslocamento de tsunamis até uma cota de 2 m. Considerando ainda o cenário de 2 m, dos 758 edifícios

existentes com estrutura de paredes em alvenaria sem placa, 684 localizam-se na Ilha de Armona (local sem relevos que possam servir de locais de evacuação da população).

Tendo em conta as tipologias construtivas, verifica-se que existe um número significativo de edifícios que poderão sofrer danos consideráveis por ação de um tsunami que se desloque até à cota de 2 m.

No cenário de 4 m, a tipologia construtiva que assume maior representatividade, no conjunto dos edifícios inundados, são os 1 753 edifícios (35%) de alvenaria com placa seguindo-se as estruturas em betão armado com 1 734 edifícios (34%) (Tabela 15). Nos restantes cenários de (6, 8 e 10 m) verificou-se que são as estruturas em betão armado que assumem maior representatividade. No entanto, nestes cenários e à semelhança do que já tinha sido verificado para os edifícios da totalidade do concelho, a soma do número de edifícios das restantes tipologias é superior ao número de edifícios em betão armado. Deste modo, a maioria dos edifícios dentro das áreas suscetíveis de serem inundadas, nos cinco cenários, são construídos em estruturas de maior vulnerabilidade face à ação de tsunamis.

O conhecimento das tipologias construtivas e do número de pisos dos edifícios localizados nas áreas suscetíveis de serem inundadas, em conjunto com funções de danos ou de vulnerabilidades, permite estimar a dimensão dos danos expectáveis em cada um dos cenários. No estudo das vulnerabilidades dos edifícios do concelho de Olhão, utilizou-se uma escala de danos e uma função de vulnerabilidades constantes do Manual de Cenários de Risco e Danos de Tsunami (Tinti et al. 2011). Na Figura 25 apresentam-se 4 classes de edifícios, definidas com base na sua capacidade de resistência de acordo com esse manual. Estas dividem-se em 11 subclasses de maior especificidade em função das suas características estruturais e do número de pisos.

| Classe                        |    | Tipo de edifício                                                                                                                    | Número de pisos     |
|-------------------------------|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| I. Ligeiros                   | A1 | Construção ligeira de praia ou frente marítima em <i>madeira e barro</i>                                                            | 0 ou 1, raramente 2 |
|                               | A2 | Construções muito ligeiras sem design. Cabanas construídas em <i>madeira, barro e cobertura em zinco</i>                            | Apenas 1            |
| II. Alvenaria e betão simples | B1 | <i>Tijolo não reforçado, cimento, paredes de argamassa, pedra aparelhada e alvenaria</i>                                            | 1 ou 2              |
|                               | B2 | Construções ligeiras e muito concentradas: <i>madeira e materiais argilosos</i>                                                     | 1 ou 2              |
|                               | C1 | Edifícios individuais, moradias: <i>tijolo com colunas reforçadas e preenchimento com alvenaria</i>                                 | 1 ou 2              |
|                               | C2 | Edifícios com paredes executadas em <i>pedra de lava</i> , normalmente de formato ortogonal, alternando com <i>tijolos de barro</i> | 1 ou 2              |
|                               | D  | Moradias e edifícios colectivos, residenciais ou comerciais: <i>betão simples</i>                                                   | 1 a 3               |
| III. Betão armado             | E1 | Estruturas residenciais ou colectivas, escritórios, estacionamento, escolas: <i>betão armado, estrutura metálica</i>                | 0 a 3               |
|                               | E2 | Estruturas residenciais ou colectivas, escritórios, estacionamento, escolas, prédios: <i>betão armado, estrutura metálica</i>       | > 3                 |
| IV. Outros                    | F  | Edifícios portuários e industriais, hangares: <i>betão armado, estrutura metálica</i>                                               | Indiferenciado      |
|                               | G  | Administrativos, históricos, religiosos, outros                                                                                     | Indiferenciado      |

**Figura 25:** Tipologia de edifícios com base na capacidade de resistência das construções e do número de pisos. Fonte: Tinti et al. (2011).

Foi difícil estabelecer uma correlação direta entre as tipologias dos edifícios disponibilizadas na BGRI e as classes definidas na Figura 25. Por esta razão os valores de danos estimados no presente estudo, servirão como uma aproximação na estimativa da dimensão de danos expectáveis pela ação de tsunamis no concelho de

Olhão. Os critérios definidos na Figura 25 apresentam mais classes do que a informação contida na BGRI. A informação dos censos de 2011 considera cinco tipos de tipologias construtivas e não faz a relação entre a tipologia dos edifícios e o seu número de pisos. Nesse sentido, foi necessário estabelecer uma correspondência entre a informação disponibilizada pelo INE e a Figura 25. Deste modo, considerando que 88% dos edifícios do concelho possui 1 ou 2 pisos, procedeu-se à seguinte correspondência:

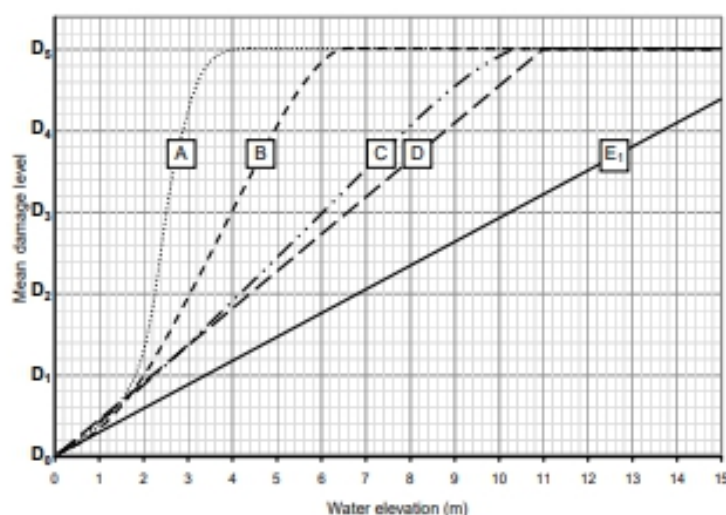
- edifícios em alvenaria sem placa com 1 ou 2 pisos do INE - classe B1 da Figura 25;
- edifícios em alvenaria com placa com 1 ou 2 pisos INE – classe C1 da Figura 25;
- edifícios em betão armado, com 1 ou 2 pisos INE – classe E1 da Figura 25.

Os edifícios construídos em adobe ou outras estruturas não foram considerados para estimativas de danos, em virtude de representarem percentagens muito baixas relativamente ao restante universo (6% e 1% respetivamente). Por outro lado, este tipo de materiais (adobe e pedra) não está contemplado na tabela e não se pode assumir que os edifícios classificados como outras estruturas na BGRI correspondem a madeira. A previsão do número de edifícios que podem sofrer danos graves, afetando a sua estabilidade, ou suscetíveis de sofrerem colapsos parciais ou totais, permite estimar o número de pessoas desalojadas, utilizando-se o número médio de residentes por edifício. Em todos estes casos, os edifícios terão de ser demolidos ou alvo de obras de recuperação pelo que os seus residentes terão de ser realojados. Os restantes edifícios, aqueles que não apresentem danos ou apresentem apenas danos ligeiros, não pressupõem uma evacuação, uma vez que não colocam em causa a vida humana, podendo ser ocupados. Após se estabelecer a correspondência entre as tipologias construtivas propostas pelos autores Tinti et al. (2011) e as tipologias contidas na BGRI, elaborou-se a Tabela 16 que apresenta o número de edifícios localizados em áreas de inundação, distribuídos por tipologias e para cada um dos cenários. É de salientar que a distribuição dos edifícios de Olhão por tipologias construtivas já foi apresentada (Tabela 14, página 57), tendo-se procedido agora à sua distribuição pela nova relação de tipologias construtivas.

**Tabela 16:** Número de edifícios localizados nas áreas de inundação para cada um dos cenários e segundo as tipologias construtivas consideradas por Tinti et al. (2011).

| Cotas atingidas pelo tsunami (m) | Betão Armado<br>(E1) | Alvenaria com placa<br>(C1) | Alvenaria sem placa<br>(B1) |
|----------------------------------|----------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 2                                | 180                  | 390                         | 758                         |
| 4                                | 1 734                | 1 753                       | 1 322                       |
| 6                                | 2 819                | 2 211                       | 1 434                       |
| 8                                | 3 143                | 2 528                       | 1 518                       |
| 10                               | 3 540                | 2 765                       | 1 555                       |

Tendo em conta a Tabela 16, é possível identificar o tipo de danos que são expectáveis para cada uma das tipologias construtivas, através da aplicação da função de danos para as classes de edifícios proposta pelos autores Tinti et al. (2011) (Figura 26). Esta função combina as tipologias construtivas com a altura da água atingida por um tsunami e com uma matriz de danos. O eixo das abcissas representa a cota atingida (m) pelo nível da água e o eixo das ordenadas representa o nível médio de danos expectáveis nos edifícios submersos segundo 6 classes (D0, D1, D2, D3, D4 e D5).



**Figura 26:** Funções de danos para diferentes tipologias de edifícios. Fonte: Tinti et al. (2011).

A cada nível de danos (eixo dos yy) foi atribuída uma sigla que classifica a sua dimensão e gravidade. Deste modo, obtém-se a correlação entre as duas variáveis (Figura 27).

| <b>Nível de danos</b>        | <b>Valores mais baixos e mais altos da profundidade de fluxo (m) para cada tipologia de edifício</b> |          |          |          |           |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------|----------|-----------|
|                              | <b>A</b>                                                                                             | <b>B</b> | <b>C</b> | <b>D</b> | <b>E1</b> |
| <b>D0: Sem danos</b>         | 0                                                                                                    | 0        | 0        | 0        | 0         |
| <b>D1: Danos ligeiros</b>    | 0                                                                                                    | 0        | 0        | 0        | 0         |
|                              | 1.8                                                                                                  | 2        | 2.5      | 2        | 3         |
| <b>D2: Danos importantes</b> | 1.8                                                                                                  | 2        | 2.5      | 2        | 3         |
|                              | 2.2                                                                                                  | 3        | 4        | 4.5      | 6         |
| <b>D3: Danos graves</b>      | 2.2                                                                                                  | 3        | 4        | 4.5      | 6         |
|                              | 2.6                                                                                                  | 4        | 6        | 6.5      | 9.5       |
| <b>D4: Colapso parcial</b>   | 2.6                                                                                                  | 4        | 6        | 6.5      | 9.5       |
|                              | 3.8                                                                                                  | 5        | 8        | 9        | 12.5      |
| <b>D5: Colapso total</b>     | > 3.8                                                                                                | > 5      | > 8      | > 9      | > 12.5    |

**Figura 27:** Matriz de danos para edifícios. Fonte: Tinti et al. (2011).

Uma vez identificados os níveis de danos relativamente às cotas atingidas pela água, é possível estimar os danos em edifícios: sem danos, danos ligeiros, danos importantes ou graves e quantos vão colapsar parcial ou totalmente (Figura 28). Estes resultados permitem estimar: (i) o número de edifícios que podem servir de abrigo durante um evento, (ii) quantos poderão ser ocupados após a inundação (iii) e os que não poderão ser ocupados e cujos residentes deverão ficar desalojados. Estes podem ser temporários, no caso dos danos não afetarem a integridade estrutural dos edifícios, necessitando apenas de reparações, ou de longo prazo no caso de danos graves ou colapsos em edifícios o que impossibilita a sua ocupação.

| Nível de danos                 | Danos na estrutura                                                                                                                                                                                                | Utilização como abrigo / Utilização pós-crise                              | Deteção por observação via satélite                                                                                                         |
|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>D0</b><br>Sem danos         | Sem danos significativos.                                                                                                                                                                                         | Abrigo / ocupação imediata.                                                | Sem sinal de danos visíveis nos edifícios e na envolvente. A ausência de danos não pode ser provada apenas pelas imagens tiradas do espaço. |
| <b>D1</b><br>Danos ligeiros    | Sem danos estruturais – danos menores, reparáveis: <i>destacamento de estuque, fissuração ligeira, danos em portas e janelas.</i>                                                                                 | Abrigo / ocupação imediata.                                                | Quase imperceptível.                                                                                                                        |
| <b>D2</b><br>Danos importantes | Danos importantes mas não estruturais: <i>deslocamento ou colapso de paredes ou painéis sem comprometer a integridade estrutural, deixando as fundações parcialmente expostas.</i>                                | Evacuação / Não adequado para ocupação imediata, adequado após reparações. | Danos na cobertura pouco visíveis. Outros danos não visíveis.                                                                               |
| <b>D3</b><br>Danos graves      | Danos estruturais que podem afectar a estabilidade do edifício: <i>deslocamento ou colapso de alvenaria, colapso parcial de pisos, fissuração grave e colapso de secções da estrutura devido a assentamentos.</i> | Evacuação / Demolição requerida, uma vez que é inadequado para ocupação.   | Danos não visíveis ou pouco visíveis, se as coberturas não tiverem sido removidas.                                                          |
| <b>D4</b><br>Colapso parcial   | Danos graves que comprometem a integridade estrutural, colapso parcial do edifício.                                                                                                                               | Evacuação / Demolição total requerida.                                     | Visível.                                                                                                                                    |
| <b>D5</b><br>Colapso           | Colapso total: <i>fundações e lajes visíveis e expostas</i>                                                                                                                                                       | Evacuação.                                                                 | Bastante visível.                                                                                                                           |

**Figura 28:** Escala do nível de danos em edifícios. Fonte: Tinti et al. (2011).

De acordo com a Figura 27, o colapso total dos edifícios construídos em betão armado (E1), que possuam até 3 pisos, só é expectável para profundidades de fluxo superiores a 12.5 m. No presente estudo, o pior cenário corresponde a um tsunami que se desloca até uma cota de 10 m, pelo que caso não é expectável que ocorram colapsos totais nos edifícios pertencentes a esta tipologia. No entanto, se ocorrer um tsunami com altura igual ou superior a 12.5 m poderão verificar-se o colapso de estruturas de betão. Todavia, o seu colapso parcial está previsto para as cotas compreendidas entre os 9.5 e os 12.5 m, ou seja no cenário de 10 m. Quanto aos danos graves (D3), é expectável que ocorram entre as cotas de 6 e 9.5 m, o que pressupõe uma evacuação imediata destes edifícios, após a difusão do aviso. A partir do cenário de 6 m, recomenda-se a sua demolição porque, apesar de não colapsarem, estes edifícios deixam de ser habitáveis, originando situações de desalojamento permanente. No caso dos edifícios C1, construídos em alvenaria com placa, são expectáveis danos graves na sua estrutura, entre as cotas de 4 e 6 m. Estas estruturas podem colapsar parcialmente entre as cotas de 6 e 8 m e totalmente nas cotas superiores a 8 m. Os edifícios de estrutura B1 presentes em Olhão, com estrutura de

alvenaria sem placa, são os mais vulneráveis à ação de tsunamis. Segundo a matriz de danos (Figura 27), este tipo de estrutura apresenta danos importantes (D2) (Figura 28) entre as cotas de 2 e 3 m e danos graves (D3) entre as cotas de 3 e 4 m. Uma vez que o intervalo de cotas entre os 2 e os 4 m abrange dois níveis de danos e ambos estão contidos no cenário de 4 m, foi considerado o nível de danos que apresenta maior gravidade (D3) para todos os edifícios B1 identificados neste intervalo de cotas. Após estimar o número de edifícios considerados inabitáveis devido à gravidade dos danos causados na sequência do impacto de um tsunami, procedeu-se à contabilização do número de residentes que podem ficar desalojados de forma temporária ou de longa duração. Neste caso as suas habitações não podem ser novamente ocupadas pelo que as autoridades terão de encontrar formas de apoiar este conjunto populacional. Para tal, foi calculado o rácio entre o número de edifícios existentes no concelho (15 253) e a população total residente (45 396), de modo a apurar a média do número de residentes por edifício, que corresponde a 3 pessoas. Na Tabela 17, apresentam-se os resultados referentes aos danos expectáveis no edificado de Olhão, por classes de tipologias e para cada um dos cenários. Com base no rácio residentes/edifícios, calculado para o concelho de Olhão, foi estimado o número de desalojados temporários (provenientes dos edifícios com nível de danos D2, Figura 28) e de longa duração (correspondentes aos edifícios com níveis de danos D4 e D5, Figura 28).

**Tabela 17:** Número de edifícios distribuídos por classes de danos (D0, D1, D2, D3, D4, D5) e por tipologias construtivas (B1, C1, E1). Estimativa do número de desalojados no concelho de Olhão para cada um dos cenários.

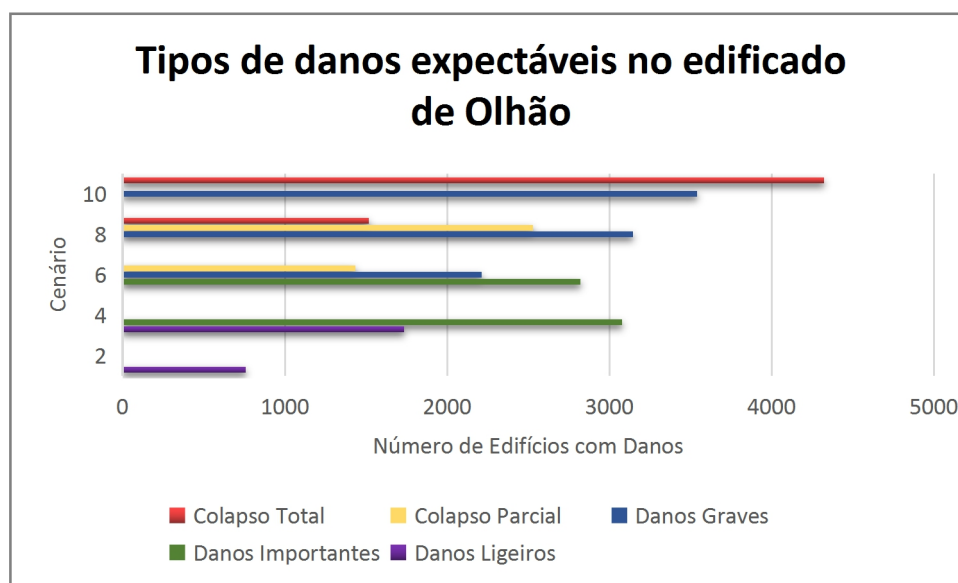
| Cotas atingidas pelo tsunami (m) | Número de edifícios distribuídos por classe de danos |                      |                   |                        |                     |                    | Nº de desalojados |             |
|----------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------|-------------------|------------------------|---------------------|--------------------|-------------------|-------------|
|                                  | Colapso Total (D5)                                   | Colapso Parcial (D4) | Danos Graves (D3) | Danos Importantes (D2) | Danos Ligeiros (D1) | Sem Danos (D0)     | Longa duração     | Temporários |
| 2                                | 0                                                    | 0                    | 0                 | 0                      | 758(B1)             | 180(E1)<br>390(C1) | 0                 | 0           |
| 4                                | 0                                                    | 0                    | 1 322(B1)         | 1 753(C1)              | 1 734(E1)           | 0                  | 3 966             | 5 259       |
| 6                                | 0                                                    | 1 434 (B1)           | 2 211(C1)         | 2 819(E1)              | 0                   | 0                  | 10 935            | 8 457       |
| 8                                | 1 518(B1)                                            | 2 528(C1)            | 3 143(E1)         | 0                      | 0                   | 0                  | 21 567            | 0           |
| 10                               | 1 555(B1)<br>2 765(C1)                               | 0                    | 3 540(E1)         | 0                      | 0                   | 0                  | 23 580            | 0           |

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 17, não são esperados desalojados no cenário de 2 m. Só a partir do cenário de 4 m são expectáveis desalojados temporários, na sequência de danos importantes em edifícios (D2) e desalojados de longa duração no casos de danos graves em edifícios (D3). A possibilidade de ocorrerem colapsos de edifícios verifica-se a partir do cenário de 6 m, inclusive, no caso dos edifícios de estrutura em alvenaria sem placa (B1), tratando-se nestes casos de colapsos parciais. São expectáveis mais de 19 000 desalojados, sendo quase 11 000 de longa duração (poderão ficar sem as suas habitações) e mais de 8 000 temporários. Os impactos sociais decorrentes destas estimativas obrigam a um planeamento atempado para mitigar os seus efeitos no concelho de Olhão. É natural que, para este cenário, existam outros concelhos da região do Algarve com impactos semelhantes. Nesse sentido, a resposta a esta catástrofe terá de ser assegurada a nível nacional e mesmo internacional.

No cenário de 8 m, os níveis de danos esperados para a totalidade dos edifícios localizados em áreas suscetíveis são causadores de desalojados de longa duração num total de 21 567. Neste cenário estima-se a ocorrência de danos graves (D3) nos edifícios de betão armado (E1), colapsos parciais (D4) nos edifícios em estrutura de alvenaria com placa (C1) e colapsos totais nos edifícios em estrutura de alvenaria sem placa (B1). Para este cenário e o anterior (6 m) verifica-se a necessidade de se montarem campos de desalojados, sendo que a logística associada necessita de um planeamento atempado, de modo a possibilitar uma resposta rápida.

Para o cenário de 10 m prevê-se que todos os 4 320 edifícios em alvenaria, com ou sem placa, possam sofrer um colapso total. No caso dos edifícios em betão armado, são esperados danos graves em 3 540. Deste modo e à semelhança do que se estimou para o cenário anterior, os danos esperados no edificado podem ser responsáveis pelo desalojamento de longa duração de 23 580 pessoas que correspondem a 52% da população total residente no concelho de Olhão. Estas estimativas mostram que o colapso de edifícios tem uma grande expressão pelo que a acumulação de entulho poderá ser generalizada no concelho de Olhão. A sua remoção, o estabelecimento de grupos de avaliação da estabilidade dos edifícios, constituídos por arquitetos e engenheiros, e a logística associada à montagem de campos de desalojados são tarefas que devem ser devidamente planeadas.

No Gráfico 2 são apresentados os dados da Tabela 17 referentes aos danos expectáveis nos edifícios de Olhão para cada um dos cenários e por níveis de danos.



**Gráfico 2:** Representação dos danos expectáveis nos edifícios de Olhão para cada um dos cenários e por níveis de danos no concelho de Olhão.

A idade dos edifícios é um fator que pode influenciar a vulnerabilidade destas estruturas. De acordo com os autores Alberico et al. (2015), os edifícios construídos antes de 1919 são considerados mais vulneráveis face à ação de tsunamis e menos vulneráveis os edifícios mais recentes construídos depois de 1982. No concelho de Olhão, cerca de metade dos edifícios foram construídos até ao ano de 1980. De acordo com os censos de 2011 (INE 2012) eram 7% os edifícios de Olhão (1 076 edifícios) que segundo Alberico et al. (2015) podem ser considerados mais vulneráveis (Tabela 18). De acordo com a Tabela 18, até ao ano de 1980 foram construídos 62% dos edifícios que existem atualmente no concelho. Isto significa que, mais de metade dos edifícios existentes em Olhão têm mais de quarenta anos, sendo que os mais antigos, são anteriores a 1919, num total de 1 076. No caso concreto da Ilha de Armona, apurou-se que 767 dos edifícios foram construídos entre os anos de 1971 e 1980 o que corresponde a 99% do seu edificado.

**Tabela 18:** Nº de edifícios de Olhão distribuídos por ano de construção. Fonte: INE (2012).

| Ano             | < 1919 | 1919-45 | 1946-60 | 1961-70 | 1971-80 | 1981-90 | 1991-95 | 1996-2000 | 2001-05 | 2006-11 |
|-----------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|---------|---------|
| Nº de edifícios | 1 076  | 2 189   | 2 357   | 1 233   | 2 591   | 1 977   | 881     | 932       | 1 134   | 883     |
| Percentagens    | 7%     | 14%     | 16%     | 8%      | 17%     | 13%     | 6%      | 6%        | 7%      | 6%      |
| Total           | 15 253 |         |         |         |         |         |         |           |         |         |

### 4.3. Vulnerabilidade humana

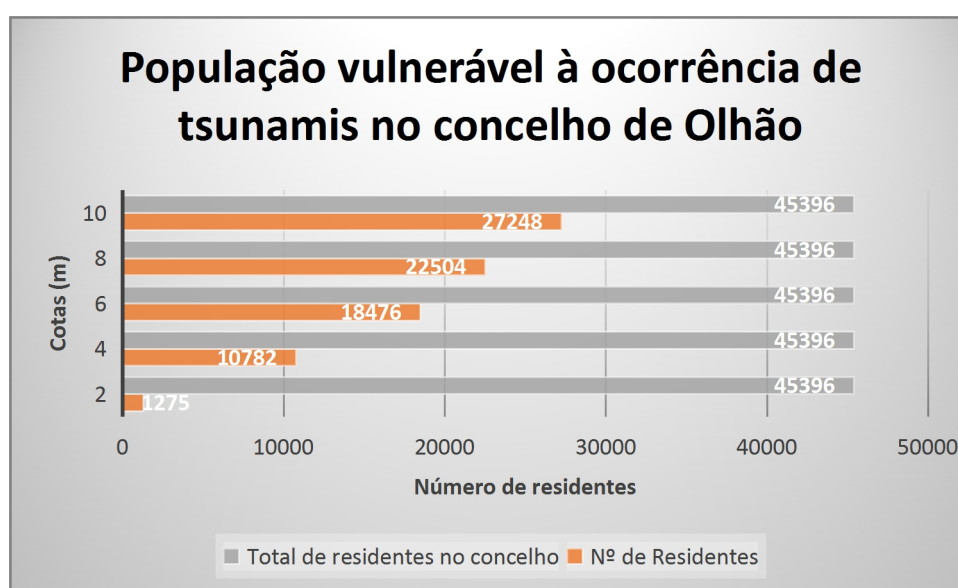
O número total de pessoas que residiam no concelho de Olhão em 2011 era de 45 396 (INE 2012). Pretende-se estimar o número de residentes que poderão ser vulneráveis à progressão de tsunamis no concelho de Olhão para os cenários considerados. Apesar de se ter estimado anteriormente o número de desalojados de curta e longa duração, com base nos impactos no edificado, a análise das vulnerabilidades humanas vai ser realizada de acordo com a metodologia já apresentada anteriormente (Página 41). Esta consiste na identificação do número de residentes localizados nas áreas suscetíveis de serem inundadas para cada cenário. Ao contrário das estimativas apresentadas com base nos danos em edifícios (Tabela 17), aqui essa estimativa será realizada utilizando-se os resultados dos censos (número de residentes desagregados ao nível do quarteirão). Será ainda considerada a idade dos residentes uma vez que este último indicador pode ser representativo da capacidade de uma pessoa proceder a uma evacuação de forma autónoma e célere.

A Tabela 19 apresenta para cada um dos cenários o número e percentagens do total de residentes localizados em área de inundação e que podem ser vulneráveis a este tipo de perigo. Para o cenário de 10 m foram identificados 27 248 residentes em área de inundação, mais de metade da população do concelho de Olhão, valor que representa 60% da população (Tabela 19). Este conjunto de residentes poderá sofrer impactos de gravidade variável em função de vários fatores (e.g. tipologia dos edifícios de habitação, pisos em que residem, faixas etárias). São diversos os acidentes que podem acontecer na sequência de um tsunami, colocando em risco a vida humana: arrastamento pelas fortes correntes da água, afogamento, objetos empalados, soterrados, traumatismos, etc.

**Tabela 19:** Número e percentagens de residentes identificados dentro das áreas suscetíveis de serem inundadas para cada cenário.

| Cotas atingidas pelo tsunami (m) | Número total de residentes localizados em área de inundação | Percentagem (%) de residentes localizados em área de inundação |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| 2                                | 1 275                                                       | 3%                                                             |
| 4                                | 10 782                                                      | 24%                                                            |
| 6                                | 18 476                                                      | 41%                                                            |
| 8                                | 22 504                                                      | 50%                                                            |
| 10                               | 27 248                                                      | 60%                                                            |

Verifica-se que para o cenário de 8 m, 50% da população residente no concelho de Olhão se localiza em área de inundação (Tabela 19). Os maiores aumentos do número de residentes localizados em áreas potencialmente inundadas, ocorrem entre as cotas de 2 e 4 m e as cotas de 4 e 6 m. Estas estimativas mostram a importância que a informação pública deverá ter na mitigação do risco de tsunamis no concelho de Olhão. Essa informação deverá ser concebida para alcançar um universo de quase 30 000 residentes e deverá permitir que essa população possa adquirir os necessários conhecimentos de auto salvamento. O Gráfico 3 representa o número de pessoas residentes localizados em áreas inundadas e a sua proporção relativamente ao número total de residentes no concelho, na medida em que as cotas atingidas vão aumentando.



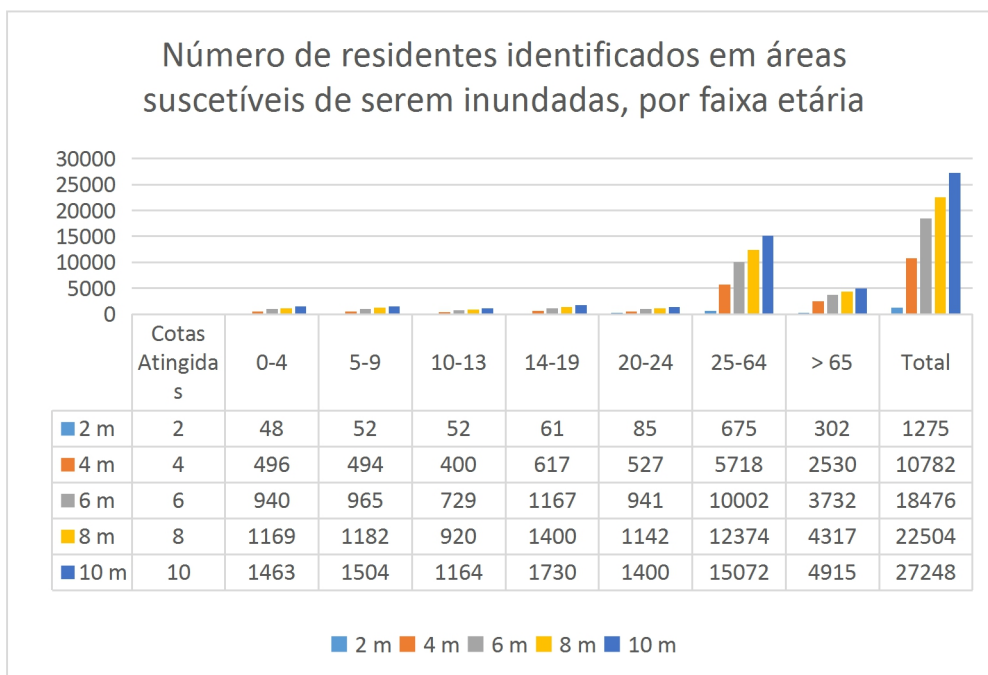
**Gráfico 3:** Representação do número de residentes localizados em área de inundação por tsunami para cada um dos cenários.

Para além do número de residentes localizados em área de inundação é importante discriminar este conjunto populacional em função das suas faixas etárias. Esta discriminação permitirá definir grupos mais vulneráveis à ação de um tsunami.

Existem faixas etárias que podem apresentar constrangimentos em realizar uma evacuação de forma autónoma e imediata. As pessoas com mais de 65 anos tendem a apresentar um declínio na sua mobilidade, dificuldades de audição e, nalguns casos, perda de memória, o que pode afetar as suas capacidades de reconhecer a gravidade de uma situação e de reação. Todos estes aspetos podem dificultar ou impedir a sua evacuação sem a ajuda de terceiros. Quanto às faixas etárias mais jovens, as crianças entre os 0 e os 4 anos, estão em pleno processo de desenvolvimento da motricidade e da cognição, pelo que não controlam perfeitamente os seus movimentos e apresentam dificuldades de perceção e de reação, que ainda estão a desenvolver-se, pelo que, garantidamente, precisam de ser transportados por adultos. No Gráfico 4 apresenta-se a distribuição das faixas etárias da população localizada em área de inundação para cada um dos cenários. As faixas etárias consideradas foram as que constam da BGRI que são distribuídas por faixas etárias segundo os seguintes grupos:

- população residente dos 0 aos 4 anos;
- população residente dos 5 aos 9 anos;
- população residente dos 10 aos 13 anos;
- população residente dos 14 aos 19 anos;
- população residente dos 20 aos 24 anos;
- população residente dos 25 aos 64 anos;
- população residente com mais de 65 anos.

Verifica-se que a faixa etária entre os 25 e os 64 anos é a que assume a maior representatividade em todos os cenários, seguindo-se a faixa correspondente aos residentes com mais de 65 anos (Gráfico 4).



**Gráfico 4:** Caracterização das faixas etárias da população suscetível à inundação por tsunami para cada um dos cenários considerados.

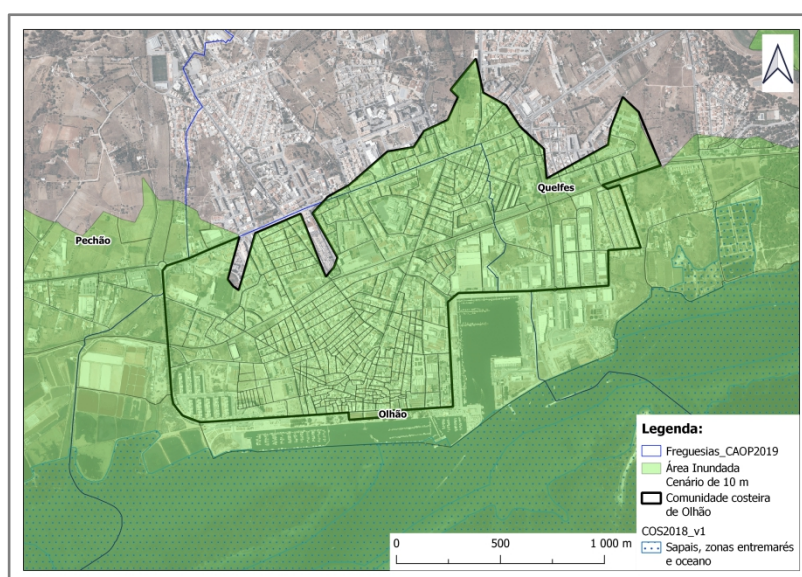
Para o cenário de 10 m (Gráfico 4), verificou-se que existem 27 248 pessoas suscetíveis a inundação por tsunami e que destas: (i) 55% têm uma idade compreendida entre os 25 e os 64 anos, sendo que esta classe se pode considerar como uma das menos vulneráveis, conjuntamente com a faixa dos 10 aos 24 (16%), que engloba os adultos em idade ativa, adolescentes e pré adolescentes que já possuem uma independência motora, capazes de perceber situações de perigo e reagir de forma autónoma; (ii) existem 2 967 crianças, entre os 0 e os 9 anos e 4 915 idosos. Neste sentido, pode assumir-se que cerca de 7 882 pessoas podem apresentar dificuldades em realizar uma evacuação rápida e independente para este cenário. Constata-se que, para o cenário de 4 m, existem cerca de 3 026 pessoas que podem apresentar dificuldades em processos de evacuação. Deverão ser estabelecidos mecanismos ao nível local que assegurem a este conjunto populacional ajudas de terceiros em caso de necessidade de uma evacuação rápida. Por exemplo, deverão ser georreferenciadas e constar dos manuais de operações do grupo responsável por este processo de evacuação no concelho de Olhão face à ocorrência de tsunamis. Antes da fase de resposta, deverão ser alvo de ações de informação e sensibilização de modo a adquirirem, quando possível, os comportamentos necessários com vista à sua evacuação dos locais mais perigosos. No cenário de 2 m, as faixas etárias mais jovens

têm uma representatividade muito baixa, sendo que 77% da população localizada em área de inundação tem idades superiores a 25 anos.

Os resultados relativos às vulnerabilidades humanas já apresentados, referem-se ao concelho como um todo. Porém, existem duas zonas que se destacam por possuírem uma elevada concentração demográfica e de edifícios, pelo facto de se situarem muito próximas da linha de costa. Deste modo, estas comunidades costeiras constituem uma maior preocupação devido à sua elevada densidade populacional. Assim, analisam-se com maior pormenor as vulnerabilidades estruturais e humanas da localidade de Olhão, com uma densidade populacional, superior a 1 000 residentes por km<sup>2</sup> e a localidade da Fuseta pela sua grande concentração de edificado localizado nas áreas suscetíveis a inundação. Apesar da Ilha de Armona apresentar uma ocupação sazonal também foi considerada nesta análise devido ao elevado número de edifícios que possui.

#### 4.4. Análises efetuadas para as comunidades de Olhão, Ilha de Armona e da Fuseta

Na Figura 29 apresentam-se os quarteirões da BGRI que se localizam na comunidade costeira de Olhão e a área de inundação para o cenário de 10 m. Esta é indubitavelmente a comunidade do concelho de Olhão que apresenta a maior concentração de edifícios.



**Figura 29:** Representação dos quarteirões da BGRI relativos à área edificada da cidade de Olhão e da área de inundação para um Tsunami que se desloca até à cota de 10 m.

Para esta zona optou-se por realizar uma análise de vulnerabilidades apenas para o cenário de 10 m. Foram identificados 4 902 edifícios, localizados dentro das áreas suscetíveis de serem inundadas (Tabela 20). Este valor representa 58% do número total de edifícios possivelmente afetados em todo o concelho, considerando o mesmo cenário. Quanto ao número de pisos, apuraram-se 3 786 edifícios com 1 ou 2 pisos, 683 com 3 ou 4 pisos e 433 com 5 ou mais pisos.

**Tabela 20:** Número de edifícios e residentes localizados dentro das áreas suscetíveis de serem inundadas na comunidade costeira de Olhão para o cenário de 10 m.

| Cota atingida (m) | Nº de Edifícios |           |           |           |       |               |               | População        |
|-------------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|-------|---------------|---------------|------------------|
|                   | Total           | 1_2 Pisos | 3_4 Pisos | ≥ 5 pisos | Betão | Alvenaria com | Alvenaria sem | Nº de Residentes |
| 10                | 4 902           | 3 786     | 683       | 433       | 2 395 | 1 623         | 557           | 22 381           |

O tipo de construção predominante na área de inundação para o cenário de 10 m corresponde à estrutura mais resistente, em betão armado (E1), num total de 2 395 edifícios (Tabela 20). Dos restantes, 1 623 correspondem a estruturas de alvenaria com placa (C1) e 557 a alvenaria sem placa (B1). Relativamente aos restantes tipos de estruturas, construídos com outro tipo de materiais (e.g. adobe) e menos resistentes, foram identificados 327. No que diz respeito à idade média do edificado da cidade de Olhão, verificou-se que mais de 50% dos edifícios foram construídos até ao ano de 1960, num total de 2 587, pelo que se considera que estes edifícios poderão ser os mais vulneráveis. Os mais recentes, construídos após 1982 e que por isso deverão ser menos vulneráveis correspondem a 1 493 edifícios. Quanto à população residente na cidade de Olhão e que se localiza na área de inundação para o cenário de 10 m, foram identificadas 22 381 pessoas o que corresponde a 82% do total de pessoas que residem em áreas de inundação. Assim, para o cenário de 10 m verifica-se que esta área tem uma grande vulnerabilidade estrutural e humana face à ocorrência de tsunamis. Para este cenário prevê-se que a inundação possa progredir até uma distância de 1 762 m desde a linha de costa na direção norte (Anexo 9).

A Ilha de Armona localiza-se mais a sul, separada da localidade de Olhão por um canal de água, a Ria Formosa, como já referido no ponto 2.4., do capítulo 2 (Anexo 6). Tal como para a cidade de Olhão realizou-se uma análise de vulnerabilidades para esta

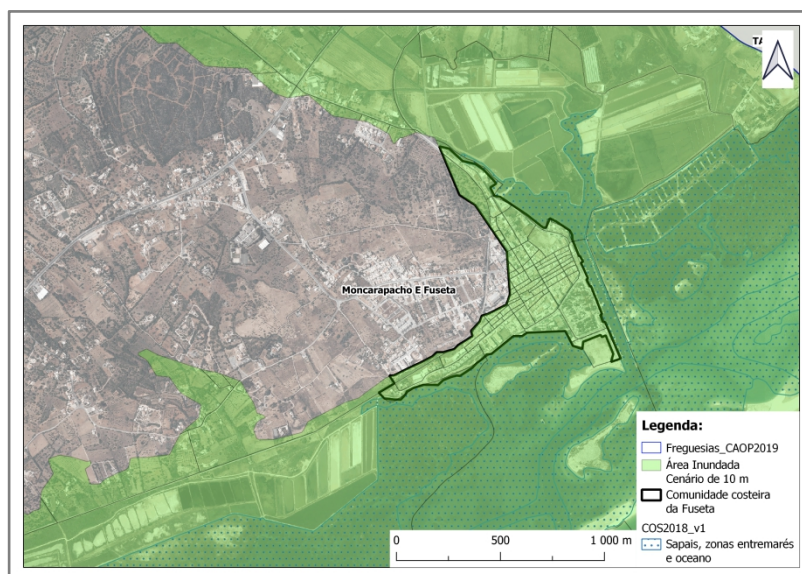
ilha apenas para o cenário de 10 m. Na Ilha de Armona foram apurados 773 edifícios, todos eles localizados dentro das áreas suscetíveis de inundação, com apenas 1 ou 2 pisos. Destes 773 edifícios (Tabela 21), 767 foram construídos na década dos anos 70. O tipo de construção predominante corresponde a estruturas em paredes de alvenaria sem placa, num total de 684 casas (B1), o que equivale a 88% do edificado. Das restantes, apenas 2 apresentam uma estrutura resistente, em betão armado (E1) e 30 correspondem à estrutura de paredes de alvenaria com placa (C1).

**Tabela 21:** Número de edifícios e residentes localizados dentro das áreas suscetíveis de serem inundadas na Ilha de Armona.

| Cota atingida (m) | Nº de Edifícios |           |           |           |       |               |               | População        |
|-------------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|-------|---------------|---------------|------------------|
|                   | Total           | 1_2 Pisos | 3_4 Pisos | ≥ 5 pisos | Betão | Alvenaria com | Alvenaria sem | Nº de Residentes |
| 10                | 773             | 773       | 0         | 0         | 2     | 684           | 30            | 40               |

Apesar do elevado número de edifícios existentes, a população residente corresponde a apenas 40 pessoas, o que demonstra que não se tratam de casas de habitação permanente e que o número de residentes apurado não é representativo da ocupação que a ilha pode ter durante a época balnear. Este número reduzido de residentes é positivo em termos de potenciais fatalidades. No entanto, durante a época balnear a elevada ocupação da ilha poderá representar um problema, principalmente pela dificuldade existente na evacuação dos seus ocupantes pois não existem locais de refúgio suficientes. Assim, pode afirma-se que a vulnerabilidade da Ilha de Armona é muito variável ao longo do ano, aumentando significativamente nos meses de verão, principalmente durante o período diurno (quando a sua ocupação é máxima).

Na Figura 30 apresentam-se os quarteirões da BGRI que se localizam na Fuseta e a área de inundação para o cenário de 10 m.



**Figura 30:** Representação dos quarteirões da BGRI relativos à área edificada da Fuseta e da área de inundação para um Tsunami que se desloca até à cota de 10 m.

Nesta área foram apurados 968 edifícios localizados dentro das áreas suscetíveis de inundação (Tabela 22), dos quais 869 possuem 1 ou 2 pisos, 77 têm 3 ou 4 pisos e apenas 22 têm 5 ou mais pisos.

**Tabela 22:** Número de edifícios e residentes apurados dentro das áreas suscetíveis de serem inundadas, na comunidade costeira da Fuseta.

| Cota atingida (m) | Nº de Edifícios |           |           |           |       |               |               | População        |
|-------------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|-------|---------------|---------------|------------------|
|                   | Total           | 1_2 Pisos | 3_4 Pisos | ≥ 5 pisos | Betão | Alvenaria com | Alvenaria sem | Nº de Residentes |
| 10                | 968             | 869       | 77        | 22        | 322   | 484           | 155           | 2 134            |

A população residente nesta área corresponde a 2 134 pessoas. Todavia, à semelhança do que acontece em toda a região do Algarve, este número aumenta durante os meses de verão.

No que concerne aos tipos de construção existentes, a maioria corresponde a edifícios em estrutura de alvenaria com placa (C1), num total de 484 (Tabela 22), seguindo-se os edifícios em estrutura de betão armado (E1), com 322 e as estruturas em alvenaria sem placa (B1), com 155. Tratam-se de construções antigas, sendo que 702 edifícios foram construídos antes do ano de 1982, o que corresponde a 73% do total do edificado apurado dentro das áreas potencialmente afetadas nesta comunidade costeira. Isto significa que, nesta área, a grande maioria do edificado

poderá ser muito vulnerável à ação de tsunamis, no que respeita ao parâmetro da idade.

Na Fuseta, prevê-se que a inundação possa atingir uma distância de 664 m desde a linha de costa e em linha reta no sentido sul/norte (Anexo 10).

Das três áreas analisadas, a comunidade costeira de Olhão poderá ser a mais vulnerável, devido ao seu elevado número de residentes que se localizam na áreas suscetíveis de inundação para um cenário de 10 m e ao elevado número de edifícios que possui. Apesar destes apresentarem tipologias de construção, na sua maioria, resistentes (C1 e E1), tratam-se de construções antigas. Comparativamente à totalidade do concelho, só nesta área, residem 22 381 do número total de pessoas suscetíveis à inundação por tsunami (27 248). Quanto à Ilha de Armona e às suas características específicas, é essencial definirem-se estratégias que garantam a proteção e o salvamento dos seus ocupantes, em caso de catástrofe, caso esta ocorra durante um período crítico.

#### **4.5. Pontos sensíveis**

Tal como referido na metodologia (Página 41), consideram-se ponto sensíveis, os edifícios destinados às seguintes ocupações: hospitais, lares de idosos, creches, infantários, escolas, edifícios de armazenamento ou processamento de substâncias perigosas, quartéis de bombeiros, proteção civil, forças de segurança, delegações da Cruz Vermelha Portuguesa e outros locais onde existam grandes concentrações de objetos que se possam tornar flutuantes, como é o caso de parques de estacionamento ou marinas.

Na presente análise identificam-se os pontos sensíveis e estuda-se a sua relação com as áreas de inundação para os cenários de cotas de 2 e 4 m. O único caso em que se utilizaram cenários diferentes foi para as áreas destinadas à indústria, uma vez que se tratam de extensas áreas, algumas delas distantes da linha de costa e cujos efeitos da inundação só acontecem a partir do cenário de 4 m. Para a apresentação dos resultados desta análise e de modo a facilitar a leitura e interpretação dos mesmos, optou-se pela utilização de tabelas ou imagens consoante o tipo de ponto sensível ou do número de elementos em perigo. As tabelas contêm a descrição dos elementos suscetíveis de serem inundados, bem como a identificação do número total de pontos

sensíveis existentes para cada cenário. Estes resultados incluem os elementos expostos nas cotas anteriores, uma vez que os elementos que estão localizados em áreas suscetíveis de inundação à cota de 2 m, vão repetir-se em todos os cenários seguintes e assim sucessivamente.

No caso das imagens, procedeu-se à sobreposição das áreas suscetíveis de serem inundadas com os ortofotomapas do concelho de Olhão (DGT 2019). Os pontos sensíveis foram identificados através de polígonos de cor amarela. Pretende-se, deste modo, tornar a leitura das imagens fácil e intuitiva, utilizando sempre as mesmas cores, para todas as categorias. Os resultados serão apresentados para os seguintes pontos sensíveis: (i) objetos flutuantes, (ii) edifícios afetos a serviços essenciais, (iii) postos de combustíveis e áreas industriais, (iv) locais de elevada concentração humana.

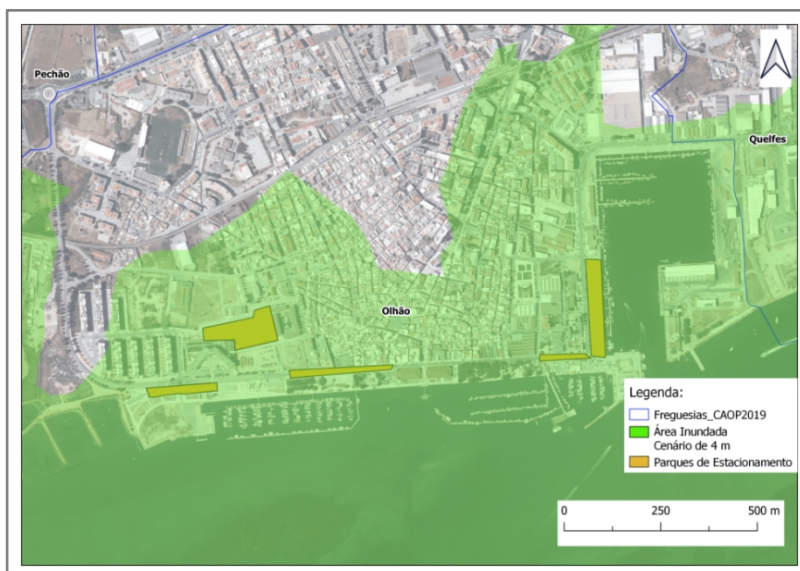
Relativamente aos objetos flutuantes que podem ser arrastados em função do fluxo dos tsunamis, foram identificados cartograficamente os parques de estacionamento de veículos terrestres e os locais de recolha de embarcações marítimas.

Nas Figuras 31 e 32 mostram-se as áreas de inundação da freguesia de Olhão, para os dois cenários menos gravosos (2 e 4 m) e a localização dos estacionamentos situados próximos da linha de costa. Para o cenário de 2 m (Figura 31), observa-se que apenas um dos parques identificados, na zona oeste, não é afetado pelos efeitos da inundação. Em todos os outros casos, verifica-se que ocorre uma inundação parcial dos parques de estacionamento, sendo que os parques localizados a este, junto ao porto de pesca, são os mais afetados. Nestas situações as viaturas estacionadas podem ser transportadas pelo fluxo de tsunamis.



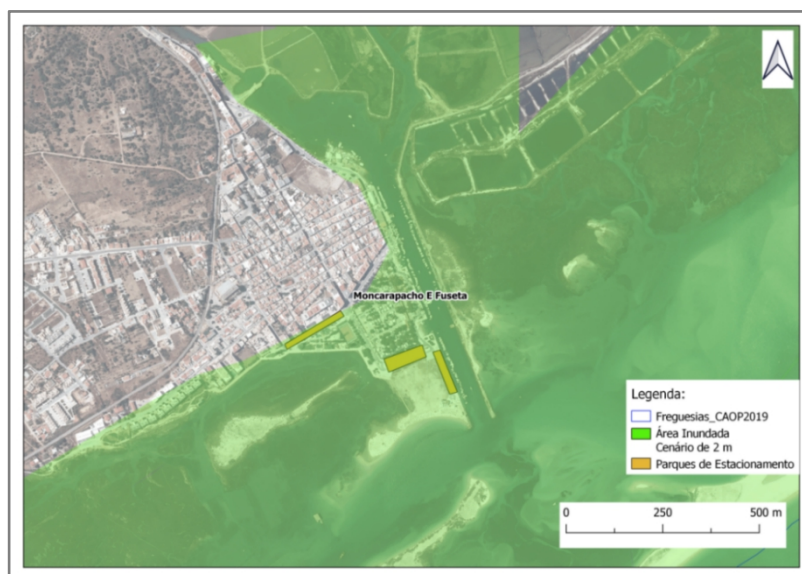
**Figura 31:** Área inundada para o cenário de 2 m e localização dos locais destinados ao estacionamento de viaturas na freguesia de Olhão.

Para o cenário de 4 m (Figura 32) observa-se que a água atinge a altura suficiente para inundar totalmente todos os parques, pelo que existe a possibilidade das viaturas que se encontrem estacionadas ou em circulação nestas vias serem arrastadas e constituírem-se projéteis.



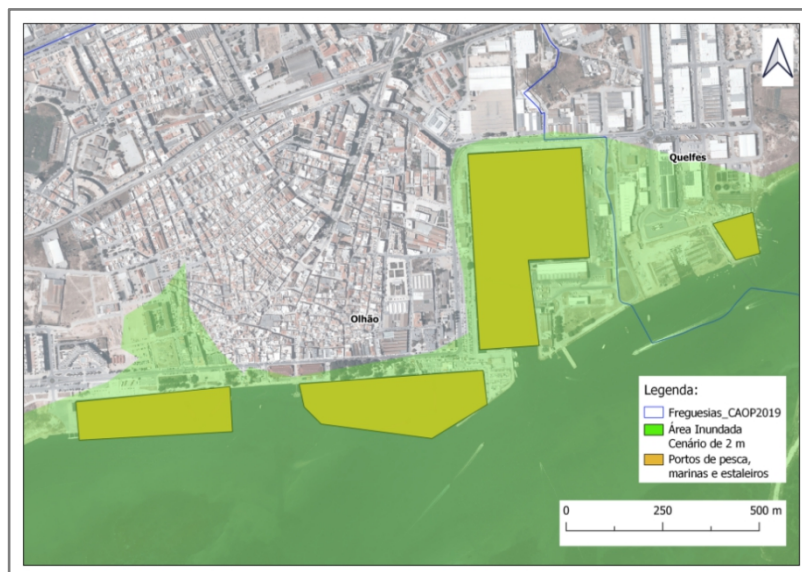
**Figura 32:** Área inundada para o cenário de 4 m e localização dos locais destinados ao estacionamento de viaturas na freguesia de Olhão.

Na Figura 33 apresentam-se os estacionamento que ficam inundados para o cenário de 2 m, na Fuseta, situados junto à linha de costa. Se a inundação atingir a cota de 2 m os parques de estacionamento ficam totalmente inundados.



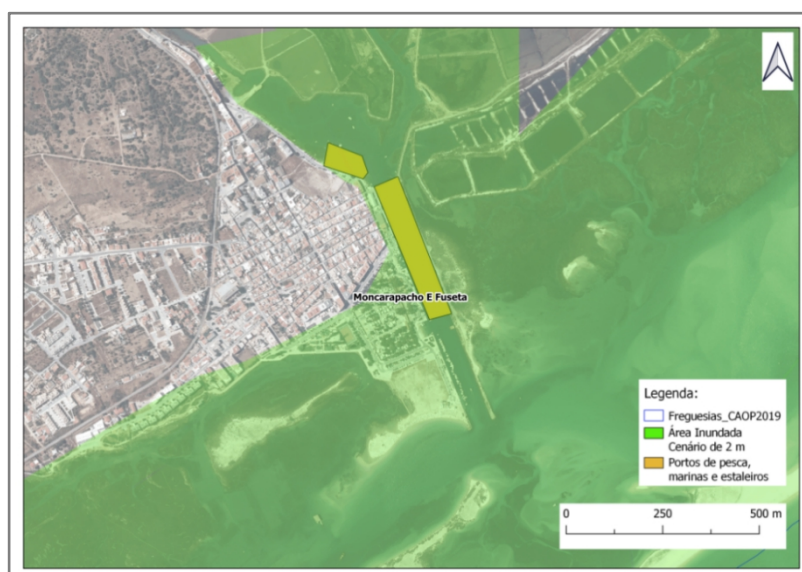
**Figura 33:** Área inundada para o cenário de 2 m e localização dos locais destinados ao estacionamento de viaturas na Fusetã.

Nas Figuras 34 e 35 observam-se os locais destinados ao abrigo e recolha de embarcações marítimas existentes no concelho de Olhão e as áreas de inundação para o cenário de 2 m. Embora os estaleiros navais sejam os únicos locais cujas embarca es se encontram maioritariamente em terra, a curta distância a que se encontram da água coloca-os, igualmente, numa posição vulnerável para este cenário de 2 m. Como é natural, esta distância não pode ser maior, uma vez que é nestes locais que se procede à subida das grandes embarca es para terra, i ando-as para efeitos de recolha ou manutenção. Na Figura 34 são apresentados os locais correspondentes à marina, ao porto de pesca, ao grupo naval e ao estaleiro naval, em Olhão, que ficam totalmente submersos.



**Figura 34:** Porto de pesca, marina, grupo naval e estaleiro identificados na freguesia de Olhão e áreas inundadas para o cenário de 2 m.

Na Figura 35 são apresentados os locais correspondentes ao porto de pesca e ao estaleiro naval existentes na localidade da Fuseta.



**Figura 35:** Portos de pesca, marinas e estaleiros identificados na Fuseta e áreas inundadas para o cenário de 2 m.

No que concerne aos locais onde pode existir uma grande concentração de objetos com capacidade flutuante, todos os objetos localizados dentro de água são totalmente afetados e são os primeiros a sofrer as consequências de um tsunami. Relativamente aos parques de estacionamento, observou-se que no caso da freguesia de Olhão, só ficam completamente inundados se a água atingir a cota de 4 m, o que

não acontece na Fuseta, onde todos os parques junto à linha de costa ficam submersos no cenário de menos gravidade, de 2 m.

Relativamente aos edifícios afetos aos serviços essenciais é fundamental identificar as estruturas vulneráveis, de modo a serem planeadas e implementadas as medidas necessárias que permitam o funcionamento das estruturas de operações de proteção e socorro à população. O facto de algumas destas estruturas poderem ser inundadas, pode aumentar o tempo de resposta dos agentes de proteção civil e mesmo comprometer a sua capacidade de atuação. De acordo com a metodologia definida (Página 42), procedeu-se à identificação dos serviços essenciais e que podem ficar inundados para cada um dos cenários considerados neste estudo (Tabela 23).

**Tabela 23:** Edifícios afetos a serviços essenciais que podem ficar inundados para cada cenário considerado.

| Cotas atingidas pelo tsunami (m) | Entidades                                 | Número total de elementos expostos |
|----------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------|
| 2                                | Esquadra da PSP                           | 3                                  |
|                                  | Farmácia Progresso                        |                                    |
|                                  | Comando Local da Polícia Marítima         |                                    |
| 4                                | CMO - Paços do Concelho                   | 12                                 |
|                                  | Polícia Municipal                         |                                    |
|                                  | GNR - Destacamento de Controlo Costeiro   |                                    |
|                                  | Delegação Marítima da Fuseta              |                                    |
|                                  | Farmácia Rocha                            |                                    |
|                                  | Farmácia Brito                            |                                    |
|                                  | Centro de Atendimento a Toxicodependentes |                                    |
|                                  | Farmácia da Fuseta                        |                                    |
| 6                                | Posto de Socorros da CVP - Fuseta         | 16                                 |
|                                  | Junta de Freguesia de Olhão               |                                    |
|                                  | Segurança Social de Olhão                 |                                    |
|                                  | Farmácia Pacheco                          |                                    |
| 8                                | Bombeiros de Olhão                        | 17                                 |
|                                  | Clinica de S. Cristovão                   |                                    |
| 10                               | Estabelecimento Prisional                 | 21                                 |
|                                  | CVP - Sede da Delegação de Olhão          |                                    |
|                                  | Farmácia Algarve Outlet                   |                                    |
|                                  | Junta de Freguesia de Quelfes             |                                    |

Verifica-se que algumas das estruturas fundamentais na fase de reposta (PSP e Polícia Marítima) poderão ser inundadas para o cenário de 2 m, podendo ficar por essa razão inoperacionais. No entanto parte da resposta operacional poderá ainda ser assegurada pelos agentes de proteção civil cujas estruturas não deverão ser inundadas (e.g. GNR, Polícia Municipal). Porém, para o cenário de 4 m, juntam-se outras estruturas que poderão ficar igualmente inundadas (Paços do Concelho, Polícia Municipal, GNR e CVP). Nesse sentido, para um cenário de inundações até à cota de 4 m, a coordenação e gestão da emergência do Município de Olhão poderá ficar comprometida já que a Câmara Municipal poderá ficar inundada. Por outro lado, a GNR e a CVP, agentes fundamentais na resposta a catástrofes poderão ficar com as suas instalações comprometidas. Considera-se que, para um cenário de 4 m, a capacidade local de coordenação e resposta ficará quase comprometida, pelo que deverá ser assegurado pelo nível superior (distrital). No entanto, sublinha-se que para um cenário de um tsunami que se desloque até à cota de 4 m no concelho de Olhão, os impactos na região do Algarve deverão ser de grande dimensão. Assim, a coordenação ao nível distrital poderá ser complexa e demorada. Os bombeiros de Olhão podem manter-se operacionais para este cenário de 4 m mas para um cenário mais gravoso (6 m) poderão ficar igualmente inoperacionais. Relativamente aos serviços afetos à saúde, é de salientar que o Centro de Saúde de Olhão não é atingido em nenhum dos cenários propostos, o que constitui um aspeto positivo na capacidade de prestação de cuidados pré-hospitalares e hospitalares na fase de resposta. Este fato permite ainda a instalação neste local de um posto de triagem para a realização de uma primeira avaliação do estado de saúde das vítimas e respetivo encaminhamento para outras unidades hospitalares próximas de acordo com as prioridades apuradas.

No que diz respeito aos postos de combustíveis, solicitou-se ao SMPC de Olhão a identificação do número total de depósitos instalados e informação referente à capacidade máxima de armazenamento de combustível destes depósitos. É o SMPC de Olhão que efetua uma atualização anual deste tipo de dados que constam no PMEPC (2011). Na Tabela 24 são apresentados os postos de combustíveis localizados dentro das áreas suscetíveis de serem inundadas para cada cenário e respetivas capacidades de armazenamento.

**Tabela 24:** Postos de abastecimento, de armazenamento e de distribuição de combustíveis identificados em áreas suscetíveis de inundação. Tipos de combustível: G1 - Gasolina; G2 - Gasóleo e GPL - Gás Liquefeito de Petróleo.

| Cotas atingidas pelo tsunami (m) | Elementos expostos   | Tipo de Combustível | Quantidade (litros) | Nº de Depósitos | Número total de elementos expostos |
|----------------------------------|----------------------|---------------------|---------------------|-----------------|------------------------------------|
| 2                                | Grupo Naval de Olhão | G1                  | 7 000               | 1               | 3                                  |
|                                  | Porto de Pesca       | G2                  | 120 000             | 4               |                                    |
|                                  | Marina de Olhão      | G1 e G2             | 50 000              | 3               |                                    |
| 4                                | Cepsa Doca           | G1 e G2             | 60 000              | 4               | 4                                  |
| 6                                | -                    | -                   | -                   | -               | 4                                  |
| 8                                | Repsol (EN 125)      | G1, G2 e GPL        | 137 480             | 6               | 7                                  |
|                                  | Intermarché          | G1 e G2             | 100 000             | 4               |                                    |
|                                  | Repsol - Alfandanga  | G1 e G2             | 78 000              | 7               |                                    |
| 10                               | BP (EN 125)          | G1 e G2             | 120 000             | 5               | 9                                  |
|                                  | Galp (EN 125)        | G1 e G2             | 108 000             | 5               |                                    |

Verificou-se que para o cenário de 2 m são inundados todos os postos localizados junto à linha de costa e destinados ao abastecimento das embarcações marítimas. A quantidade de combustível existente nestes locais, pode atingir os 177 000 l, caso estejam na sua capacidade máxima. Todo este combustível, em caso da rutura dos depósitos, será derramado diretamente no mar. Se a altura da água atingir a cota dos 10 m são afetados no total 9 postos de combustíveis, cuja capacidade máxima corresponde a 780 480 l. Esta quantidade de combustível derramado poderá causar consequências para o meio ambiente e ainda ser responsável por incêndios e explosões. No concelho de Olhão existe uma Unidade Autónoma de Gás Natural Liquefeito (UAG), construída no ano de 2000, explorada pela empresa Medigás, que assegura a distribuição de gás natural nas cidades de Olhão e Faro. As atividades desenvolvidas na UAG são: descarga de Gás Natural Liquefeito (GNL) de Veículo Cisterna para um Reservatório, armazenagem de GNL, regaseificação do GNL através de vaporizadores atmosféricos e permutador de água quente para posterior redução da pressão, odorização e injeção na Rede de Distribuição de Gás Natural da cidade (Medigás 2018). As substâncias presentes no estabelecimento podem representar perigos físicos ou ambientais de acordo com a (Figura 36).

| <b>Substâncias perigosas presentes no estabelecimento</b>                                                                                                  |                                                                                                         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Substâncias incluídas na Parte 1 do anexo I do Decreto-Lei n.º 150/2015, de 5 de agosto</b>                                                             | <b>Advertências de perigo</b>                                                                           |
| <b>Secção «P» – PERIGOS FÍSICOS</b>                                                                                                                        |                                                                                                         |
| P5c Líquidos Inflamáveis                                                                                                                                   | Líquido inflamável, Categoria 2, H225                                                                   |
| <b>Secção «E» – PERIGOS PARA O AMBIENTE</b>                                                                                                                |                                                                                                         |
| E2 Perigoso para o ambiente aquático                                                                                                                       | Toxicidade crónica para o ambiente aquático, Categoria 2, H411                                          |
| <b>Substâncias incluídas na Parte 2 do anexo I do Decreto-Lei n.º 150/2015, de 5 de agosto</b>                                                             | <b>Advertências de perigo</b>                                                                           |
| Gases inflamáveis liquefeitos, categoria 1 ou 2 (incluindo GPL) e gás natural                                                                              | Gás Extremamente Inflamável, Categoria 1, H220                                                          |
| Produtos petrolíferos e combustíveis alternativos<br>c) Gasóleos (incluindo combustíveis para motores diesel, fuelóleos domésticos e gasóleos de mistura). | Líquido inflamável, Categoria 3, H226<br>Toxicidade crónica para o ambiente aquático, Categoria 2, H411 |

**Figura 36:** Descrição das substâncias perigosas existentes na UAG de Olhão. Fonte: Medigas (2018).

A UAG possui 2 depósitos (Figura 37) cujas capacidades são de 80 000 l e de 59 000 l, totalizando 139 000 l (139 m<sup>3</sup>) de gás natural. Segundo o PMEPC (2011) de Olhão, a UAG possui um plano de emergência interno, em vigor desde 2009, que contempla os planos de atuação e procedimentos de intervenção, em caso de acidente grave ou catástrofe (PMEPC 2011). Todavia, não foi possível apurar se este plano contempla especificamente o risco de tsunamis. A localização destes depósitos na Zona Industrial de Olhão é muito próximo do mar o que pode potenciar a possibilidade de serem atingidos por embarcações de pesca arrastadas por tsunamis.



**Figura 37:** Unidade Autónoma de Gás Natural Liquefeito de Olhão (UAG). Fonte: Medigás (2018).

Para o cenário de 2 m a água não deverá atingir a UAG de Olhão, mas para o cenário de 4 m esta infraestrutura deverá ficar completamente submersa (Figura 38) podendo existir então efeitos nocivos para o ambiente.



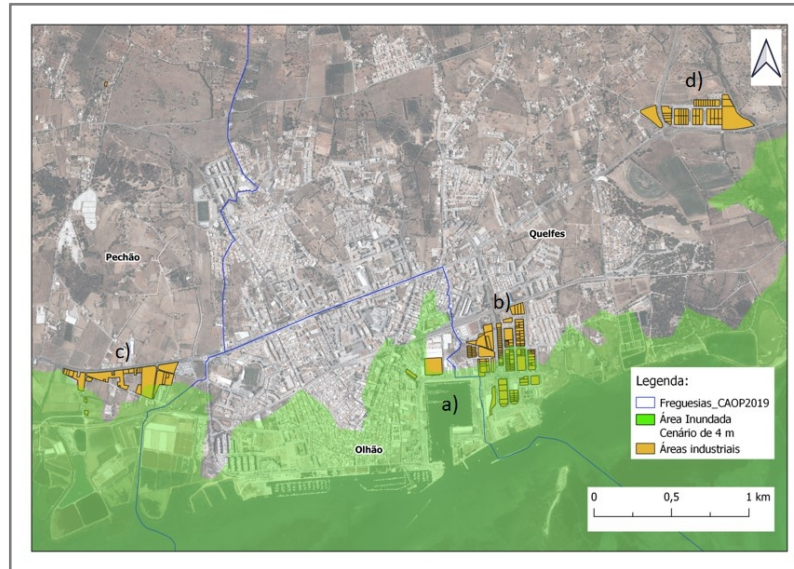
**Figura 38:** Localização da UAG de Olhão, dentro das áreas suscetíveis de inundação para o cenário de 4 m.

Relativamente às áreas destinadas à indústria no concelho de Olhão, foram identificados três grandes polígonos:

- Zona Industrial de Olhão (junto à Ria Formosa);
- Área empresarial de Marim - na saída este de Olhão (Quelfes);
- Área Industrial e Comercial no Sítio de Belmonte de Baixo/Torrejão (Pechão).

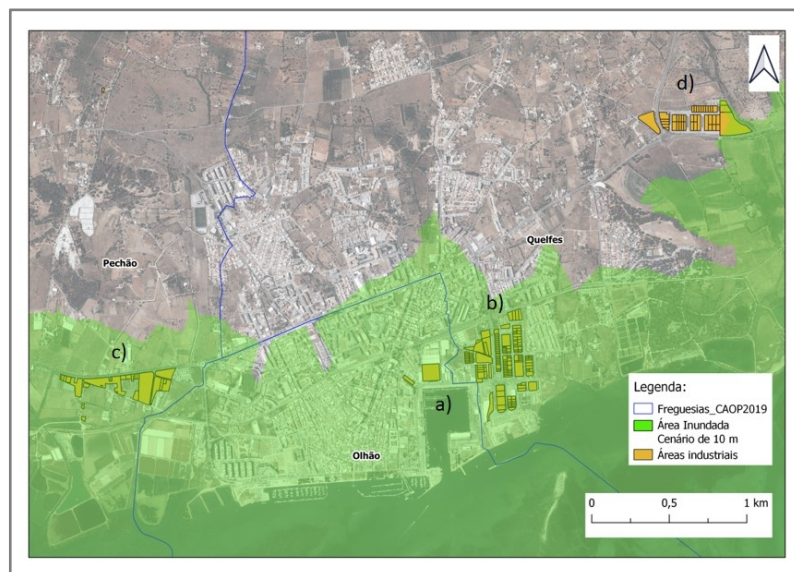
Todas as áreas identificadas abrangem atividades em diversas áreas: oficinas de auto, centro de inspeções auto, estabelecimentos de produção e depuração de bivalves, comércio de materiais e serviços de construção civil, comércio de brindes publicitários personalizados. A única área onde se verifica efetivamente produção industrial, é na Zona Industrial de Olhão, onde está localizada a Conserveira do Sul, que se dedica à produção tradicional de conservas e patés de peixe. O cenário de 4 m é o primeiro que poderá inundar estas estruturas pelo que se analisam os impactos decorrentes deste cenário e do mais gravoso, Figuras 39 e 40 respetivamente. Quando a água atinge a cota de 4 m (Figura 39) a zona industrial, localizada junto ao Porto de Pesca, poderá ficar parcialmente submersa. Contudo, devido à sua grande extensão, os

edifícios mais a norte não sofrem quaisquer danos. Ainda neste cenário, a inundação atinge os limites a sul do polígono industrial situado no Sítio de Belmonte de Baixo e a área empresarial de Marim, localizada a norte, não deverá ficar inundada.



**Figura 39:** Áreas industriais identificadas em Olhão e áreas inundadas para o cenário de 4 m. a) Porto de Pesca de Olhão; b) Zona Industrial de Olhão; c) Área industrial e comercial de Belmonte de Baixo; d) Área Empresarial de Marim.

Para o cenário de maior gravidade (Figura 40) a área empresarial de Marim deverá sofrer uma inundação parcial na sua extremidade este. Quanto às restantes áreas industriais do concelho, verifica-se que estas ficam totalmente submersas.



**Figura 40:** Áreas industriais identificadas em Olhão e áreas inundadas para o cenário de 10 m. a) Porto de Pesca de Olhão; b) Zona Industrial de Olhão; c) Área industrial e comercial de Belmonte de Baixo; d) Área Empresarial de Marim.

Os locais de elevada concentração demográfica considerados foram os lares de idosos, centros de dia, escolas e creches, os hotéis, pensões e parques de campismo. Na Tabela 25 apresentam-se os lares de idosos e centros de dia que deverão ser inundados para cada um dos cenários.

**Tabela 25:** Lares para idosos e centros de dia identificados em áreas suscetíveis de inundação para cada um dos cenários.

| Cotas atingidas pelo tsunami (m) | Lares de Idosos                     | Nº máximo de utentes | Nº total de elementos expostos |
|----------------------------------|-------------------------------------|----------------------|--------------------------------|
| 2                                | -                                   | -                    | 0                              |
| 4                                | Centro de Dia Dr. Ayres de Mendonça | 120                  | 1                              |
| 6                                | Centro Social N.ª. Sra. do Carmo    | 30                   | 2                              |
| 8                                | Centro de dia N.ª. Sra. do Carmo    | 27                   | 3                              |
| 10                               | -                                   | -                    | 3                              |

Para o cenário menos gravoso não se prevê que nenhum lar de idosos possa vir a ser inundado mas verifica-se que para o cenário de 4 m o centro de dia Dr. Ayres de Mendonça poderá ficar inundado. O plano de segurança interno deste centro deve considerar as ações a desenvolver face à ocorrência de tsunamis de modo a contemplar os procedimentos a adotar pelos seus funcionários e ocupantes. Os utentes deste tipo de serviço, costumam ter mais de 65 anos, pelo que podem apresentar dificuldades na sua mobilidade, o que resulta no aumento do tempo de evacuação. Todavia, não está prevista a existência de pessoas acamadas nestes centros, o que só acontece em lares residenciais, como é o caso do Centro Social N.ª. Sra. Do Carmo, na Fuseta, que apresenta uma capacidade máxima de 30 utentes e pode ficar inundado se a inundação atingir a cota dos 6 m. Para o cenário de 8 m, existem cerca de 180 pessoas que terão de ser evacuadas, das quais 30 podem estar na condição de acamadas. A movimentação de pessoas acamadas, para outros edifícios ou pisos superiores, pressupõe uma logística mais complexa, que exige meios de transporte adequados e o reforço dos recursos humanos envolvidos, pelo que deve ser muito bem planeada relativamente à possibilidade de ocorrência de tsunamis.

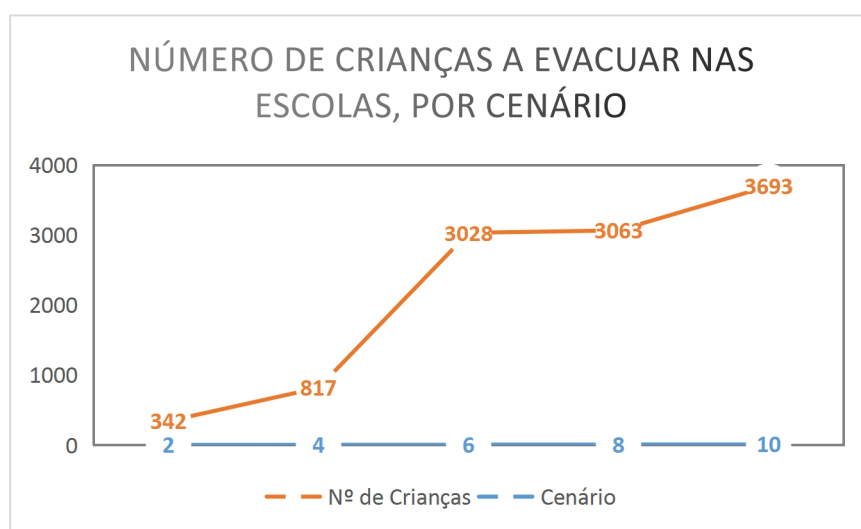
Na Tabela 26 apresentam-se os estabelecimentos escolares que podem ficar inundados para cada um dos cenários. Estes estabelecimentos são os edifícios pertencentes a creches, pré-escolares, escolas de 1º ciclo, escolas de 2º e 3º ciclo e escola de ensino secundário.

**Tabela 26:** Escolas, Creches e Jardins de Infância identificados em áreas suscetíveis de inundação para cada cenário. JI - Jardim de Infância; EB1 – Escola Básica de 1º Ciclo; EB2,3 – Escola Básica de 2º e 3º Ciclo.

| Cotas atingidas pelo tsunami (m) | Escolas                                                                      | Nº total de elementos expostos | Nº de alunos matriculados (2019/2020) |
|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|
| 2                                | EB1/JI nº 1                                                                  | 1                              | 342                                   |
| 4                                | Centro de atividades de tempos livres da SCMO - Praça João de Deus           | 4                              | 63                                    |
|                                  | EB1/JI da Cavalinha                                                          |                                | 262                                   |
|                                  | Ji e Centro de atividades de tempos livres da CVP de Olhão - Rua da Olivença |                                | 150                                   |
| 6                                | EB 2,3 Dr. Alberto Iria                                                      | 8                              | 501                                   |
|                                  | Creche "A Minha Casinha" - Rua General Humberto Delgado                      |                                | S/ informação                         |
|                                  | Escola Secundária Dr. Francisco Fernandes Lopes                              |                                | 1200                                  |
|                                  | EB 2,3 João da Rosa                                                          |                                | 510                                   |
| 8                                | Jardim da Celeste CVP de Olhão - Urbanização J. Marcelino e Rosa             | 9                              | 35                                    |
| 10                               | Creche a Joaquina - CVP Delegação Moncarapacho/Fuseta                        | 13                             | 35                                    |
|                                  | EB1/JI nº 6                                                                  |                                | 302                                   |
|                                  | EB1/JI nº 4                                                                  |                                | 214                                   |
|                                  | Ji "As Luzinhas"                                                             |                                | 79                                    |

Para o cenário de 2 m existe uma escola primária com pré-escolar integrado, em área de inundação, cujo número de alunos matriculados é de 342 (Tabela 26). Todas estas crianças têm idades compreendidas entre os 3 e os 10 anos. Estas faixas etárias, como já referido (Página 69), representam grupos de grande vulnerabilidade, uma vez que ainda se encontram em fase de desenvolvimento e não são capazes de participarem nos procedimentos de evacuação de forma autónoma, necessitando da orientação, acompanhamento e supervisão dos adultos.

Considerando o cenário mais gravoso foram identificados 13 estabelecimentos de ensino que se localizam em área de inundação. No Gráfico 5 apresentam-se as estimativas do número de alunos que necessitam de ser evacuados para cada um dos cenários estudados. Verifica-se que, se um tsunami inundar o concelho de Olhão até à cota de 10 m, durante o período em que decorrem as atividades letivas, será necessário proceder à evacuação de 3 693 alunos. Mesmo para o cenário menos gravoso, poderá ser necessário evacuar 342 crianças em tempo útil, o que se poderá traduzir numa tarefa complexa.



**Gráfico 5:** Número de crianças a evacuar para cada um dos cenários considerados.

No caso das escolas que podem ser inundadas, é fundamental que se proceda à elaboração de um planeamento de emergência que contemple os procedimentos em caso de tsunami. Depois dos procedimentos serem definidos, é de extrema importância a realização de exercícios, com o objetivo de rotinar os comportamentos preventivos em toda a comunidade escolar, desde as idades mais jovens, de modo a aumentar a sua resiliência. Embora este tipo de exercícios ocorra atualmente com

grande frequência, a sua execução está principalmente orientada para o treino dos procedimentos a executar em caso de sismo. Assim, apesar de já haver um trabalho desenvolvido pelas escolas, no que concerne à evacuação ordenada dos seus edifícios, remetendo todos os seus usuários para um ponto de encontro no exterior, não é contemplada a necessidade de as pessoas se dirigirem para um ponto elevado, de cota superior à profundidade que a inundação pode atingir, em caso de tsunami.

Na Tabela 27 apresentam-se os hotéis, pensões e parques de campismo, destinados ao alojamento temporário de turistas, que podem ficar inundados para cada um dos cenários. O caso dos parques de campismo é onde se verifica uma maior vulnerabilidade dos seus ocupantes, devido à falta de resistência que as suas estruturas apresentam: tendas, bungalows e autocaravanas.

**Tabela 27:** Pensões, Hotéis e Parques de Campismo que podem ficar inundados para cada um dos cenários.

| Cotas atingidas pelo tsunami (m) | Pensões, Hotéis e Parques de Campismo | Nº total de elementos expostos | Lotação máxima |
|----------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|----------------|
| 2                                | Orbitur - Armona                      | 1                              | 2 000          |
| 4                                | Parque de Campismo da Fuseta          | 5                              | 450            |
|                                  | Hotel Real Marina & Spa 5*            |                                | S/ informação  |
|                                  | Pensão Bela Vista                     |                                | S/ informação  |
|                                  | Pensão Bicular                        |                                | S/ informação  |
| 6                                | Hotel Cidade de Olhão                 | 6                              | S/ informação  |
| 8                                | -                                     | 6                              | -              |
| 10                               | Parque de Campismo de Olhão           | 7                              | 2 000          |

No cenário de 2 m, o parque de campismo da Orbitur está localizado em área de inundação e enquadra-se no conjunto de estruturas mais vulneráveis. Situa-se na Ilha de Armona, onde os turistas ficam alojados em bungalows. A sua maior ocupação ocorre durante o período da época balnear, à semelhança do que acontece em toda a ilha. Para o cenário de 4 m, poderão existir mais 4 estruturas inundadas: Parque de Campismo da Fuseta, Hotel Real Marina & Spa 5\*, Pensão Bela Vista e Pensão Bicular (Tabela 27). O Parque de Campismo da Fuseta, trata-se de um local muito procurado ao longo de todo o ano, principalmente por turistas estrangeiros e deverá ser uma estrutura muito vulnerável à inundação por um tsunami. O hotel Real Marina & Spa é

um edifício de construção recente em betão, mais resistente e com 5 pisos, menos vulnerável do que o parque de campismo, pelo que terá a capacidade de albergar os seus ocupantes no último piso. Para o cenário de 10 m, foram identificados 7 estruturas localizadas em áreas de inundação. No que concerne às lotações máximas destas estruturas, não foi possível apurar esta informação para todas elas devido à atual situação epidemiológica associada à Covid-19, o que obrigou ao encerramento destes locais durante um longo período de tempo. É de realçar que a ocupação máxima dos dois parques de campismo é no seu conjunto de 4 000 pessoas. Metade (2 000) deverão ser evacuadas antes da chegada de um tsunami que atinja a cota dos 2 m. Este procedimento necessita de um planeamento prévio e a definição dos locais de destino bem como dos percursos a serem utilizados durante uma possível evacuação. Para o cenário mais gravoso a complexidade será maior e há a considerar que uma parte significativa dos ocupantes destas estruturas serão estrangeiros.

#### **4.6. Identificação de locais que podem ser utilizados como Zonas de Refúgio (ZR) e de Zonas de Concentração e Apoio à População (ZCAP)**

As Zonas de Refúgio (ZR) e as Zonas de Concentração e Apoio à População (ZCAP), constituem locais mais seguros destinados ao abrigo temporário da população, em caso de ocorrência de catástrofe. Em caso de tsunami, devem ser considerados os locais cuja elevação seja superior à cota atingida pela inundação provocada por um tsunami. Este é o critério que se impõe na identificação de infraestruturas para este fim, que é abrigar e proteger a população. Relativamente a possíveis locais para ZR e ZCAP, foram apuradas as infraestruturas que constam na Tabela 28, cuja localização é fora das áreas que poderão ser inundadas, se um tsunami se deslocar até à cota de 10 m. Assim, foram identificadas 4 ZR, com uma capacidade para 1 170 pessoas e 6 ZCAP com capacidade para 540 pessoas.

**Tabela 28:** Identificação das zonas de refúgio e das zonas de concentração e apoio à população localizadas acima da cota dos 10 m. ZR – zonas de refúgio, ZCAP – zonas de concentração e apoio à população.

| Locais destinados a zonas de refúgio ou ZCAP localizadas acima dos 10 m de elevação |           |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|------------|
| Descrição                                                                           | Tipologia | Capacidade |
| Estádio Municipal                                                                   | ZR        | 860        |
| Polidesportivo da EB 2,3 Prof. Paula Nogueira                                       | ZR        | 120        |
| Polidesportivo da EB 2,3 José Carlos da Maia                                        | ZR        | 130        |
| Polidesportivo da EB 1 da Fuseta                                                    | ZR        | 60         |
| Pavilhão Municipal                                                                  | ZCAP      | 80         |
| Pavilhão da EB 2,3 Prof. Paula Nogueira                                             | ZCAP      | 50         |
| Pavilhão da EB 2,3 José Carlos da Maia                                              | ZCAP      | 75         |
| Pavilhão Gimnodesportivo GCO                                                        | ZCAP      | 80         |
| Pavilhão da EB 2,3 Dr. António João Eusébio                                         | ZCAP      | 145        |
| Pavilhão da EB 2,3 Dr. João Lúcio                                                   | ZCAP      | 110        |

Se ocorrer um tsunami que se desloque até à cota de 4 m, o número de desalojados de longa duração e temporários poderá ser de 9 225 pessoas (Página 64). Neste caso a capacidade das ZCAP (540 pessoas) e das ZR (1 170 pessoas) será insuficiente, pelo que será necessário o apoio de nível distrital, ou mesmo nacional, na disponibilização de infraestruturas para realojamento. Relativamente às ZR, podem ser definidos outros tipos de locais que possam abrigar a população antes da chegada de um tsunami, como por exemplo edifícios com 4 ou mais pisos.

## 5. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

De acordo com os autores M. Papathoma e D. Dominey-Howes (2003), a pesquisa do histórico da ocorrência de tsunamis num determinado local e a identificação da altura da maior onda registada, possibilitam determinar o limite das áreas alcançadas pelas inundações provocadas e, deste modo, identificar as vulnerabilidades existentes. Com base neste pressuposto, os referidos autores desenvolveram um estudo de vulnerabilidade no Golfo do Corinto, na Grécia, onde fatores como a direção da onda, a batimetria, a configuração costeira, a geomorfologia e os processos hidrodinâmicos durante a inundação, não foram considerados à semelhança da metodologia aplicada nesta dissertação. Outro estudo que utiliza a altura atingida pela água, que ilustra a profundidade da inundação, para avaliar a vulnerabilidade face à ocorrência de tsunami, foi desenvolvido na Cidade de Alexandria, Egipto (Eckert et al. 2009). Os autores basearam-se em parâmetros como, a altura de onda, o tipo de construções existentes, o número de pisos e a distância relativamente à linha de costa, considerando diferentes cenários, tal como acontece neste estudo. O Manual de Cenários de Risco e Danos de Tsunami (Tinti et al. 2011), também propõe a criação de cenários baseados em dados já existentes, para o estudo da vulnerabilidade local. Todavia, neste caso, foram *“realizadas simulações numéricas do tsunami”* (Tinti et al. 2011) em todos os locais escolhidos para a aplicação do estudo. O projeto envolveu casos de estudo completamente distintos, em diversos locais expostos ao risco de tsunami, de modo a validar a sua aplicação em locais com diferentes características. Um dos locais escolhidos, foi a cidade de Setúbal, em que o acontecimento de referência escolhido foi o sismo de 1755. A utilização de modelos numéricos de tsunami permite simular a sua propagação considerando fatores como a batimetria, a propagação das ondas aquáticas, a velocidade do fluxo e a influência dos processos físicos, biogeoquímicos e dos sistemas. Neste sentido, o Manual de Cenários de Risco e Danos de Tsunami (Tinti et al. 2011) não considera que um tsunami se desloque uniformemente até uma determinada cota. Assim, a metodologia que se aplicou na presente dissertação aproxima-se do método utilizado na Cidade de Alexandria, no sentido em que se procedeu à identificação das áreas suscetíveis de serem inundadas, na sequência de um tsunami, considerando a cota máxima atingida

pelo nível da água, de acordo com o histórico de acontecimentos ocorridos no passado. Porém, a aplicação deste tipo de metodologia pressupõe que a distribuição de uma onda é uniforme ao longo da linha de costa, o que não se verifica. A distribuição de uma onda não é uniforme ao longo da linha de costa (Camfield 1994).

Normalmente existe uma variação da sua altura, diretamente relacionada com diversos fatores, designadamente, litologia, geomorfologia, declive, batimetria, configuração da linha de costa e caracterização das marés locais (Martínez-Graña et al, 2016; Tinti et al., 2011). No entanto, os autores do estudo do Golfo do Corinto (Papathoma e Dominey-Howes 2003) defendem que, a análise local da vulnerabilidade, baseada na identificação das áreas suscetíveis de inundação e na vulnerabilidade dos edifícios contidos nestas áreas, é um método simples, flexível, e aplicável em qualquer local. Os autores referem, ainda, que o facto de não se considerar a batimetria ou a fonte de origem do tsunami, alarga o espectro de utilização deste método, a diferentes tipos de utilizador, tornando-o fácil, simples e realista.

No que concerne ao estudo da vulnerabilidade da costa algarvia, face à ocorrência de tsunamis, procedeu-se à pesquisa de estudos já realizados na região, principalmente os que incidem na sua zona central, onde se insere o concelho de Olhão. O objetivo foi comprovar a elevada vulnerabilidade existente nesta área, que abrange o concelho de Olhão. Os autores Nunes, Ferreira e Luís (2009) identificaram as zonas costeiras algarvias que apresentam os níveis mais elevados de vulnerabilidade, considerando as suas características morfológicas, de modo a apurar de que maneira as áreas urbanas podem ser afetadas. Os autores utilizaram o Modelo Digital de Terreno, da costa algarvia e definiram três cenários, para alturas de onda de 3 m, 5 m e 7 m. Estas alturas correspondem à altura da onda, acrescida de um metro por conta da subida do nível da água do mar durante a preia-mar. Os objetivos foram delimitar as zonas potencialmente afetadas, compreender quais são as áreas urbanas mais vulneráveis e avaliar a dimensão dos potenciais danos nas comunidades costeiras. Os resultados obtidos demonstraram que existem diferenças significativas de vulnerabilidade entre a zona oeste, do Cabo de São Vicente até Vilamoura, onde predominam as falésias rochosas, e a zona este, de Vilamoura até Vila Real de Santo António, onde se insere o concelho de Olhão. Neste caso, a morfologia muda para cotas baixas, constituída por costas arenosas e sistemas lagunares (Ria Formosa), o

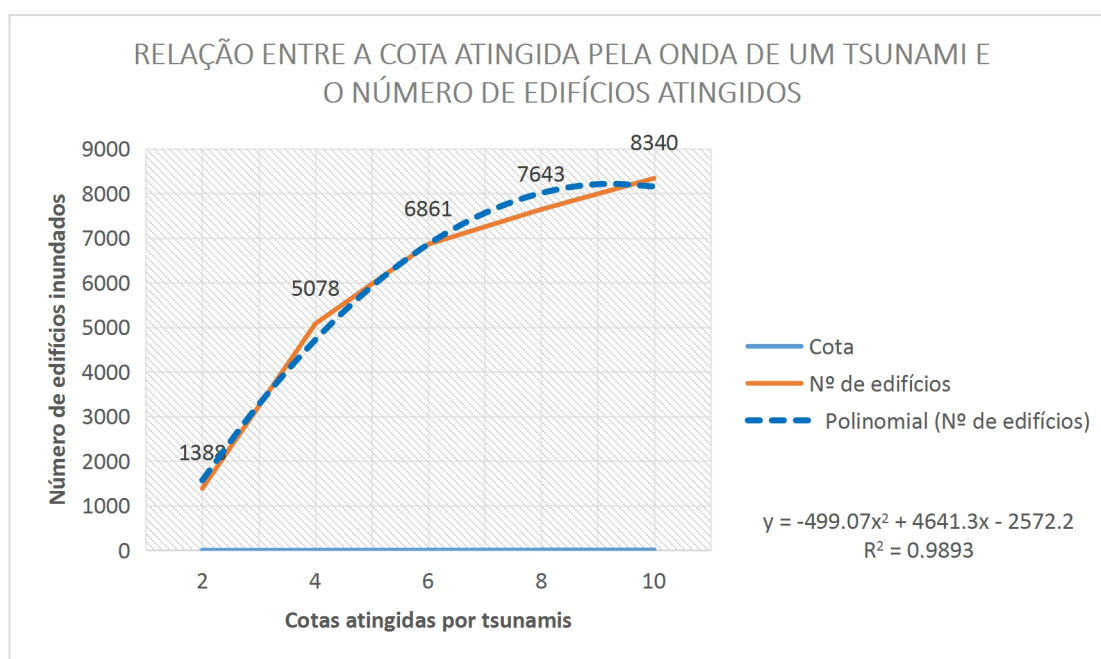
que faz com que este seja o setor que apresenta uma maior vulnerabilidade relativamente à ocorrência de tsunamis. Os autores referem ainda que a vulnerabilidade aumenta drasticamente no caso das ilhas barreira, onde se inclui a Ilha de Armona, cujas características potenciam a entrada da água e o seu avanço pela linha de costa, devido às suas cotas muito baixas e à sua forma aplanada, que facilita a progressão da água do mar. Este facto vem de encontro à preocupação demonstrada no capítulo dos resultados (Página 73), tendo sido apurados 773 edifícios localizados na ilha, cujas características são consideradas muito vulneráveis. É fundamental e imprescindível um planeamento para este local, de medidas com vista a reduzir as consequências de um tsunami e a autoproteção dos seus ocupantes.

No cenário de 3 m, os autores constataram que a vulnerabilidade da localidade da Fuseta é acrescida devido à existência da barra mencionada no ponto da caracterização do PNRF (Página 29). O lado este da Ria Formosa é inundado em todos os cenários apresentados pelos autores, alcançando a comunidade costeira da Fuseta, onde foram apurados 2 134 residentes dentro das áreas suscetíveis de inundação no presente estudo (Página 74). No que concerne, concretamente, às áreas urbanas da costa algarvia, os autores procederam à análise da sua vulnerabilidade, face a inundação por tsunami, por setores. Assim, a área compreendida entre as localidades de Vilamoura e Vila Real de Santo António é a que apresenta maior vulnerabilidade, tendo sido apurado que 77% das áreas urbanas localizadas a uma distância de 100 m da linha de costa, poderão ser potencialmente afetadas, considerando um cenário em que o nível da água atinja uma altura de 7 m. Ainda segundo Nunes, Ferreira e Luís (2009) e considerando que o nível da água atinge uma altura de 3 m, no referido setor, as áreas suscetíveis identificadas correspondem a 22%, sendo que 17% destes representam a área referente à ocupação urbana e o restante a praias, às ilhas barreira e a marinas. Considerando o cenário de 5 m (Figura 41) a percentagem de áreas urbanas suscetíveis de serem inundadas sobe, consideravelmente, para os 63%. É de salientar que os referidos autores apresentam dois tipos de percentagens, para cada setor: (i) a percentagem da área costeira algarvia atingida, por setores, na sequência de inundação por tsunami (WISC); (ii) a percentagem da área urbana atingida na sequência de inundação por tsunami, de acordo com a altura atingida pelo nível da água (UARS).

|     |      | Table 1: Percentages of urban area reached by tsunami height scenarios (UARS) and width of inland scenario incursion (WISC) according to coastal sectors. |             |                  |                      |                  |
|-----|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------|----------------------|------------------|
|     |      | Odeceixe - SVC                                                                                                                                            | SVC - Lagos | Lagos - Portimão | Portimão - Vilamoura | Vilamoura - VRSA |
| 3 m | UARS | -                                                                                                                                                         | 6           | 14               | 4                    | 17               |
|     | WISC | 2                                                                                                                                                         | 2           | 8                | 1                    | 22               |
| 5 m | UARS | 1                                                                                                                                                         | 18          | 34               | 9                    | 63               |
|     | WISC | 5                                                                                                                                                         | 4           | 18               | 5                    | 76               |
| 7 m | UARS | 1                                                                                                                                                         | 23          | 44               | 14                   | 77               |
|     | WISC | 6                                                                                                                                                         | 4           | 47               | 9                    | 91               |

**Figura 41:** Percentagem do edificado atingido pela altura da água na sequência de tsunami (UARS) e percentagem da distância percorrida pela inundação (WISC) na região do Algarve Fonte: Nunes, Ferreira e Luís (2009).

No sentido de se compararem os resultados apresentados na Figura 41, de Nunes, Ferreira e Luís (2009), com os valores obtidos para a área urbana do concelho de Olhão, procedeu-se ao cálculo do Gráfico 6. Neste, estabelece-se a relação entre a cota atingida pela inundação, na sequência da ocorrência de um tsunami, e o número de edifícios localizados dentro das áreas inundadas no concelho de Olhão. Através de uma interpolação polinomial, com um coeficiente de correlação de Pearson ( $R^2$ ) de 0.9893, foi possível estimar o número de edifícios que podem ser inundados para qualquer valor de cota atingido por um tsunami.



**Gráfico 6:** Relação entre a cota alcançada por tsunamis e o número de edifícios suscetíveis de serem inundados no concelho de Olhão.

Esta correlação permite estimar o número de edifícios que podem ficar inundados no concelho de Olhão para os cenários considerados por Nunes, Ferreira e Luís (2009) (3, 5 e 7 m) (Tabela 29).

**Tabela 29:** Número e percentagem de edifícios localizados em áreas suscetíveis de serem inundadas no concelho de Olhão para os cenários de 3, 5 e 7 m e os resultados obtidos por Nunes, Ferreira e Luís (2009).

| Cotas atingidas pelo tsunami (m) | Nº de edifícios inundados no presente estudo | Percentagem do número de edifícios inundados estimados no presente estudo (%) | Percentagem do número de edifícios inundados (UARS) apresentados por Nunes, Ferreira e Luís (2009) (%) |
|----------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3                                | 3 233                                        | 21                                                                            | 17                                                                                                     |
| 5                                | 5 970                                        | 39                                                                            | 63                                                                                                     |
| 7                                | 7 252                                        | 48                                                                            | 77                                                                                                     |

As percentagens dos edifícios localizados em área de inundação foram calculadas com base no número total de edifícios existentes no concelho de Olhão (15 253 edifícios). Os valores estimados no presente estudo que mais se aproximam dos resultados apresentados por Nunes, Ferreira e Luís (2009) são os referentes à cota de 3 m com uma diferença de 4%. Relativamente às cotas de 5 e 7 m, as percentagens calculadas para concelho de Olhão são inferiores. Contudo, os dados utilizados pelos autores são demasiado abrangentes, sendo que as percentagens apresentadas são referentes à totalidade das áreas urbanas costeiras do sotavento algarvio, compreendido entre o concelho de Lou  e o concelho de Vila Real de Santo Ant nio e reportam-se   década de 1990, disponibilizados pelo Centro Nacional de Informação Geográfica (CNIG 1995) pelo que, podem não servir de referência quando aplicados a nível local, no caso concreto do concelho de Olhão e   data atual, como   o caso. As discrepâncias apuradas ilustram a importância de se proceder à avaliação das vulnerabilidades caso a caso. O caso em  n lise considerou que o setor compreendido entre Vilamoura e Vila Real de Santo Ant nio é o que apresenta maior vulnerabilidade na costa algarvia, contudo,   necessário proceder-se a uma  n lise individual das diferentes localidades, em virtude dos valores gerais apurados não refletirem a realidade de cada uma das localidades abrangidas.

## 6. CONCLUSÕES E PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo são apresentadas as principais conclusões deste estudo e sugerem-se a implementação de algumas medidas com vista à redução dos impactos decorrentes da inundação do concelho de Olhão por tsunamis. Os objetivos da presente dissertação foram: (i) identificar os elementos em perigo perante a possibilidade de ocorrerem tsunamis; (ii) estudar as vulnerabilidades do edificado; (iii) a vulnerabilidade humana e a (iv) identificação de pontos sensíveis, localizados em área de inundação, para os cinco cenários considerados.

Para o cenário menos grave (2 m) e para o pior cenário (10 m) foram identificados 1 388 edifícios e 8 340 edifícios localizados em das áreas de inundação por tsunamis. Os edifícios com 1 e 2 pisos apresentam em média uma altura de 3 e 6 m, pelo que podem ficar totalmente submersos a partir dos cenários correspondentes às cotas de 4 m e 6 m. Por exemplo, para o cenário de 2 m estima-se que existam 1305 edifícios suscetíveis de ficarem parcialmente submersos, com 1 ou 2 pisos e por essa razão poderão por em perigo os seus residentes. Estes edifícios correspondem essencialmente a edifícios em alvenaria pelo que deverão ser os mais vulneráveis aos fluxos impostos pela inundação de tsunamis. Nesse sentido, estas estruturas poderão originar entulho que será transportado e depois depositado em zonas de menos fluxo. Para além dos edifícios que poderão ser destruídos, há a considerar aqueles que terão de ser demolidos e os que terão de ser alvo de inspeções técnicas com o objetivo de se verificar a sua estabilidade estrutural. Por exemplo, para o cenário de 4 m estima-se que possam existir 1 322 edifícios em alvenaria sem placa que necessitem de serem demolidos e 1 753 edifícios em alvenaria com placa que têm de ser alvo de inspeções técnicas e de obras de reparação antes da sua ocupação. Ou seja, para este cenário podem existir 3 075 edifícios cujos residentes serão desalojados de longa duração. Para o cenário (10 m) estima-se que 4 320 edifícios colapsem totalmente e 3 540 apresentem danos graves na sua estrutura, o que poderá originar 23 580 desalojados de longa duração. A remoção de entulho, o estabelecimento de grupos de avaliação da estabilidade dos edifícios com danos, constituídos por arquitetos e engenheiros e a logística associada à montagem de campos de desalojados são tarefas que devem ser devidamente planeadas e articuladas entre os vários níveis de proteção civil.

Estima-se que, para os cenários de 2 m e de 10 m, possam existir 1 275 e 27 248 residentes localizados em áreas suscetíveis de inundação por tsunamis. A evacuação em tempo útil de conjuntos tão alargados de população, exigirá um planeamento prévio e a instalação e funcionamento de um sistema de alerta e aviso às populações. Estes resultados mostram a importância que a informação pública deverá ter na mitigação de danos no concelho de Olhão, face à ocorrência de tsunamis. Essa informação deverá ser concebida para alcançar um universo de quase 30 000 residentes.

Os processos de evacuação necessitam de um planeamento prévio e a definição dos locais de destino, bem como dos percursos a serem utilizados durante uma possível evacuação. Para o cenário de 6 m estimam-se que possam existir mais de 19 000 desalojados, sendo mais de 10 000 de longa duração. A necessidade de se montarem campos de desalojados e a logística associada, necessita de um planeamento atempado de modo a possibilitar uma resposta rápida. As dificuldades de alguns residentes no procedimento de evacuação, poderão dificultar este processo. Consta-se que, para o cenário de 4 m, possam existir cerca de 3 000 pessoas com dificuldades em processos de evacuação. Deverão ser estabelecidos mecanismos que assegurem, a este conjunto populacional, ajudas por terceiros em caso de necessidade de uma evacuação rápida. Estes residentes deverão ser georreferenciados e constar dos manuais de operação de um plano de evacuação para o concelho de Olhão, face à ocorrência de tsunamis.

Para um cenário de inundação até à cota de 4 m, a coordenação e gestão da emergência do Município de Olhão poderá ficar comprometida, já que a Câmara Municipal poderá ficar inundada. Por outro lado, a GNR (Destacamento de Controlo Costeiro) e a CVP, agentes fundamentais na resposta a catástrofes, poderão ficar com as suas instalações comprometidas. Os bombeiros de Olhão deverão manter-se operacionais para este cenário de 4 m mas, num cenário mais gravoso (6 m) poderão ficar igualmente inoperacionais. Este facto demonstra que a capacidade local de coordenação e resposta poderá ficar quase comprometida para os cenários de 4 m e 6 m, pelo que deverá ser assegurado pelo nível superior (distrital ou regional). A realocização das infraestruturas dos agentes de proteção civil e demais entidades públicas, para zonas que não sejam inundadas por tsunamis, pode ser uma solução a

equacionar, por forma a garantir a capacidade operacional local, face à ocorrência de um tsunami. Salienta-se que o comprometimento destes serviços resulta no aumento do tempo de resposta e no comprometimento do socorro e da segurança da população.

Relativamente aos serviços afetos à saúde, é de salientar que o Centro de Saúde de Olhão não deverá ser inundado em nenhum dos cenários estudados, o que constitui um aspeto positivo na capacidade de prestação de cuidados pré-hospitalares e hospitalares, de forma imediata, bem como a possibilidade de se instalar, neste local, um posto de triagem a nível municipal, para a realização de uma primeira avaliação do estado de saúde das vítimas e respetivo encaminhamento para outras unidades hospitalares.

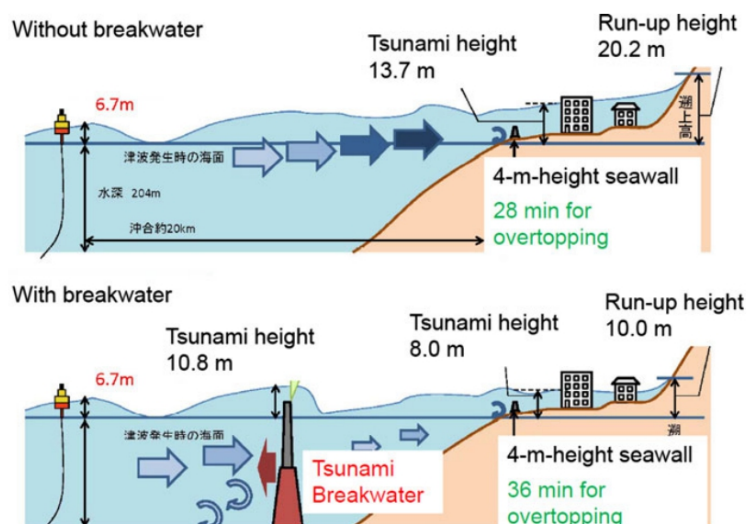
Verifica-se que, para o cenário de 4 m, o Centro de Dia Dr. Ayres de Mendonça poderá ficar inundado, pelo que os seus ocupantes terão de ser evacuados antes do tsunami. Para o cenário de 8 m, estima-se que cerca de 180 pessoas terão de ser evacuadas e destas 30 podem estar na condição de acamadas. A movimentação de pessoas acamadas pressupõe uma logística mais complexa, que exige meios de transporte adequados e o reforço dos recursos humanos envolvidos, pelo que deve ser muito bem planeada relativamente à possibilidade de ocorrência de uma catástrofe.

Para o cenário menos gravoso (2 m), existe uma escola primária em área de inundação que poderá obrigar à evacuação de 342 alunos com idades compreendidas entre os 3 e os 10 anos o que se poderá traduzir numa tarefa complexa. Verificou-se que, se um tsunami progredir até à cota de 10 m, durante o período em que decorrem as atividades letivas, será necessário proceder-se à evacuação de cerca de 3 693 crianças. No caso das escolas identificadas dentro das áreas inundadas, é fundamental que se proceda à elaboração de um planeamento de emergência que contemple os procedimentos em caso de tsunami. Depois dos procedimentos serem definidos, é de extrema importância a realização de exercícios com a população escolar, com o objetivo de rotinar os seus comportamentos preventivos, desde as idades mais jovens, de modo a aumentar a sua resiliência e a preparação para um acontecimento em situação real. É de realçar que a ocupação máxima dos dois parques de campismo existentes no concelho de Olhão é, no seu conjunto, de 4 000 pessoas. Metade (2 000) deverão ser evacuadas antes da chegada de um tsunami que atinja a cota dos 2 m.

Neste caso, há a considerar que uma parte significativa dos ocupantes destes parques serão estrangeiros. Se ocorrer um tsunami que se desloque até à cota de 4 m, o número de desalojados de longa duração e temporários poderá ser de 9 225 pessoas. Neste caso, a capacidade das zonas de concentração e apoio às populações (540 pessoas) e das zonas de refúgio (1 170) do concelho de Olhão deverão ser insuficientes. Assim, será necessário equacionar mais locais de concentração e refugio no concelho de Olhão e considerar o apoio de nível distrital ou mesmo nacional na disponibilização de infraestruturas para realojamento.

Existem 3 postos de abastecimento de combustível com uma capacidade total de 177 000 l que, para o cenário de 2 m, podem sofrer ruturas induzidas pela inundação por tsunamis e provocar um derrame direto para o mar. Existe também uma unidade de gás natural liquefeito, com uma capacidade de 139 000 l, que poderá ficar totalmente submerso no cenário de 4 m. Este gás é uma substância muito inflamável e de toxicidade crónica para o meio ambiente aquático. Estima-se que possam surgir explosões, incêndios e impactes ambientais no concelho de Olhão devido à inundação destas instalações por tsunamis que atinjam as cotas de 2 e 4 m.

Em virtude de não ser possível anular a ocorrência de tsunamis poderão equacionar-se formas de atenuar os seus efeitos e proteger as áreas que estão expostas à ação de tsunamis na zona do concelho de Olhão. As construções de estruturas de defesa, tal como já existem noutros países, por exemplo no Japão, pode ser uma solução. A construção de quebra mares, que podem diminuir as cotas a que se deslocam os tsunamis, poderá ser uma solução tal como a que foi implementada na cidade de Kamaishi, no Japão (Figura 42 e Anexo 11).



**Figura 42:** Quebra mares existentes em Kamaishi (Japão) e o seu efeito na propagação de tsunamis. (Suppasri et al. (2013).

A utilização de paredões ou muralhas poderá também ser uma solução para proteger a costa de Olhão (Anexo 12). As comportas hidráulicas (Figura 43) correspondem a portas móveis que, quando fechadas, bloqueiam a passagem da água e podem igualmente ser concebidas para o concelho de Olhão.



**Figura 43:** Comportas hidráulicas que protegeram a cidade de Fudai (Japão) do impacto do tsunami de 2011. Fonte: Suppasri et al. (2013).

A construção de estruturas para albergar pessoas, localizadas em zonas de inundação de baixas cotas e que não conseguem, em tempo útil, deslocarem-se para zonas mais elevadas (*disaster prevention buildings*), é utilizada em vários países (Figura

44). Estas estruturas podem ser uma solução para permitir evacuação da população que se localiza em locais planos do concelho de Olhão (e.g. Ilha da Armona).



**Figura 44:** Edifício destinado à evacuação da população para cotas superiores em caso de tsunami na cidade de Minami-Sanriku, em 3 de setembro de 2011 (Japão). Fonte: Suppasri et al. (2013).

A plantação de florestas, como medida preventiva, tem sido utilizada em vários países e pode ser igualmente implementada em Olhão. No entanto, tem-se verificado que esta medida é incapaz de travar ou reduzir significativamente o impacto de um tsunami (Anexo 13).

A operacionalização de um sistema de monitorização, alerta e aviso para tsunamis no concelho de Olhão é fundamental para ser possível evacuar a população residente e presente nas áreas suscetíveis de serem inundadas por tsunamis. Este sistema, em conjunto com um plano de emergência atualizado, deve garantir o desencadeamento das ações previstas em tempo útil. A deteção precoce de um tsunami, que possa atingir a região do Algarve, é da competência do IPMA e encontra-se em funcionamento. A existência de mecanismos no concelho de Olhão que visem difundir rapidamente o alerta e o aviso, são fundamentais para otimizar a gestão do tempo de que se dispõe, desde o momento da deteção. Em caso de tsunami o tempo urge e quanto mais depressa se agir mais vidas se poderão salvar. A evacuação é a medida mais eficaz, por parte da população, face à ocorrência de um tsunami. Neste sentido, é importante incentivar os cidadãos a uma evacuação rápida e autónoma e ao auto-salvamento. Aspetos como não esperar pela família ou não voltar para trás, mesmo que seja com a intenção de recolher objetos pessoais, são fulcrais para se

reduzir a perda de vidas humanas. Contudo, para o cidadão reconhecer a necessidade de evacuação tem de ser difundido um aviso, cuja mensagem contenha as principais informações sobre o evento, nomeadamente: quem é o emissor, quais são as características do evento que originou o aviso, onde e quando vai acontecer e quais são os comportamentos de autoproteção que devem ser adotados. Para que o aviso seja bem-sucedido, deve ser difundido em todas as áreas expostas ao risco, numa linguagem compreensível por todos, ainda que isso signifique a sua tradução noutras línguas. O uso de sinalética garante uma comunicação universal, mesmo para quem esteja de passagem e não conheça a cidade, que indica os locais a evitar, as direções a tomar e os locais considerados mais seguros, fora das áreas suscetíveis de inundação (zonas de refúgio e zonas de concentração e apoio à população).

Importa garantir que a população de Olhão esteja preparada, através dos princípios de formação, sensibilização e treino. A consciencialização, por parte da população, da existência de um risco a que está exposta, é o ponto de partida para o envolvimento ativo e interessado dos cidadãos, na execução das ações preventivas, definidas nos planos de emergência e no sucesso do alcance dos resultados esperados.

O processo de formação assenta numa educação orientada para o risco. Para os mais jovens, é importante a abordagem do conceito de risco e das suas consequências em contexto escolar. A aprendizagem das medidas de autoproteção desde cedo, promove o incremento de uma cultura preventiva, preparando as crianças de hoje para adultos conscientes, responsáveis e resilientes no futuro. No caso dos adultos, este efeito pode ser conseguido através da sensibilização. O objetivo é cativar o interesse e a atenção dos cidadãos de Olhão e transmitir o quanto um comportamento responsável pode reduzir as consequências provocadas por uma catástrofe e ajudar a salvar vidas. A proteção e a segurança são uma responsabilidade comum, onde toda a população de Olhão tem o dever de uma participação ativa. Para o efeito, é necessário que os serviços de proteção civil e os seus agentes procedam à divulgação de informação essencial relativa ao risco. Devem ser esclarecidas questões como: (i) vivo numa área suscetível de ficar inundada por tsunamis? (ii) o que devo fazer em caso de tsunami, (iii) para onde devo dirigir-me? e (iv) Em quanto tempo? É igualmente importante sensibilizar a população do que não se deve fazer.

O concelho de Olhão deverá ter em conta os resultados obtidos no presente estudo no ordenamento do seu território. Este poderá ponderar o modo como se ocupam as áreas suscetíveis a inundações por tsunamis. Se for opção a ocupação destas áreas, devem ser impostas em sede dos Planos Municipais de Ordenamento do Território regras de baixa densidade demográfica e a proibição de construção de determinados tipos de estruturas nessas áreas tais como: escolas, hospitais, centros de saúde, bombeiros, proteção civil, forças de segurança ou outros que desempenhem um papel importante nas ações de segurança, proteção e socorro da população.

Os exercícios constituem o momento em que se simula a execução das ações planeadas, de modo a testar a sua eficiência e a detetar possíveis melhoramentos. A prática frequente de exercícios no concelho de Olhão, estimula a capacidade de ação-reação. Quanto mais se praticar, maior será o grau de prontidão, o que diminui o tempo de resposta e aumenta a confiança no desempenho das ações realizadas.

Os resultados apresentados na presente dissertação devem ser complementados com estudos em que sejam contemplados modelos hidrodinâmicos, de modo a se estimarem velocidades de escoamento. Esta variável é importante para se estudar capacidade de transporte de materiais por inundação por tsunamis e para a estimativa de danos. As vulnerabilidades estruturais e humanas estimadas no presente estudo e os meios que serão necessários para uma resposta indicam que a capacidade local não será suficiente e o escalão regional, nacional e mesmo internacional serão necessários.

A propósito do tsunami de 1755, deverá ser equacionado um dia em cada ano para a realização de um exercício no concelho de Olhão, que tenha por cenário a ocorrência de um tsunami. Relembrar acontecimentos ocorridos no passado é uma forma de antecipar eventos futuros e prepararmo-nos para eles.

Em termos de trabalhos futuros, seria interessante dar-se continuidade ao estudo desenvolvido na presente dissertação com o objetivo de definir rotas de evacuação e de locais de abrigo, considerando os critérios da elevação e do percurso mais curto. Para o planeamento dos acessos viáveis, será de se considerar a identificação de ruas sem saída, a estimativa da localização dos edifícios colapsados, por forma a garantir a acessibilidades das vias escolhidas para evacuação. A identificação individualizada dos edifícios com 4 pisos ou mais, dentro das zonas

inundadas, com vista ao auto-salvamento da população dentro das áreas inundadas afigura-se-nos uma tarefa importante.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alberico, Ines, Vincenzo Di Fiore, Roberta Iavarone, Paola Petrosino, Luigi Piemontese, Daniela Tarallo, Michele Punzo, and Ennio Marsella. 2015. "The Tsunami Vulnerability Assessment of Urban Environments through Freely Available Datasets: The Case Study of Napoli City (Southern Italy)." *Journal of Marine Science and Engineering* 3 (3): 981–1005. <https://doi.org/10.3390/jmse3030981>.
- Alexander, D. 2000. *Confronting Catastrophe*, Terra Publishing, 282.
- Alfaro, Pedro, and Carlos Fernández. 2019. "¿Cuántas Placas Hay En El Planeta?" *Enseñanza de Las Ciencias de La Tierra* 27 (3): 246–56.
- Algarve Portal. 2021. Acedido a 14 de fevereiro de 2021.  
<http://pt.algarve-portal.com/detail.php?p=22&id=13>
- Alta Montanha. Alberto Ortenblad. 2019. Acedido a 08 de março de 2021.  
<https://altamontanha.com/o-que-e-o-magma/>
- Antunes do Carmo. 2000. "Tsunamis : Geração e Riscos." 2015, no. September 2000.  
<https://doi.org/10.14195/1647-7723>.
- Autoridade Nacional de Proteção Civil (ANPC). PROCIV. 2014. "Tsunamis - Sistemas de alerta e a preparação das populações". Sistema de alerta para tsunamis, Dezembro de 2014, 6–9.
- Aventuras na História(AH). 2021. Acedido a 10 de março de 2021.  
<https://aventurasnahistoria.uol.com.br/noticias/reportagem/como-foi-a-tragedia-nuclear-de-fukushima.phtml>
- Baptista, M. A., J. M. Miranda, Fernando C. Lopes, and Joaquim F. Luis. 2007. "The Source of the 1722 Algarve Earthquake: Evidence from MCS and Tsunami Data." *Journal of Seismology* 11 (4): 371–80.  
<https://doi.org/10.1007/s10950-007-9058-y>.
- Baptista, M. A., J. M. Miranda, V. Lima and J. Catalão. 2007a. "Avaliação do Risco de Tsunami na Costa do Algarve". *Instituto de Ciências da Terra e do Espaço, Universidade de Lisboa, Second Report*, 42p.
- Baptista, M. A., and J. M. Miranda. 2009. "Revision of the Portuguese Catalog of Tsunamis." *Natural Hazards and Earth System Science* 9 (1): 25–42.  
<https://doi.org/10.5194/nhess-9-25-2009>.

- Baptista M., Miranda J., Omira R., Antunes C. (2011). *Potential inundation of Lisbon downtown by a 1755-like tsunami*. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 11, 3319–3326, 2011.
- Bernardo, P, and João Alveirinho Dias. 2015. "História Da Ocupação Das Ilhas Barreira Da Ria Formosa." *4º Simposio Sobre a Margem Ibérica Atlântica*, no. 1: 189 – 90.
- Camfield, Fred. E. 1994. "Tsunami effects on coastal structures, J. Coast. Res., Special Issue Nº12, *Coastal Hazards*, 177–187.
- CAOP 2019. Direção-Geral do Território. Acedido a 05 de abril de 2020. <https://www.dgterritorio.gov.pt/Carta-Administrativa-Oficial-de-Portugal-CAOP2019>
- Castro, D. A. L. F.: História Geral de Portugal e suas conquistas, Databsase Fundo Antigo, Academia de Ciências de Lisboa, Livro 1, Capítulo IV, Manuscript 691, 21–36, 1786).
- CIGeoE (2013). Cartas militares de Portugal. 1:25 000, continente, Série M888, Folhas 607, 608, 6011 e 612. Centro de Informação Geoespacial do Exército.
- Chester, David K., and Olivia K. Chester. 2010. "The Impact of Eighteenth Century Earthquakes on the Algarve Region, Southern Portugal." *Geographical Journal* 176 (4): 350–70. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4959.2010.00367.x>.
- Clague J., Munro A. and Murty T. 2003. "Tsunami Hazard and Risk in Canada." *Natural Hazards*, 28, 433–461.
- CNIG, 1995. *Carta de Ocupação de Solo*. Lisboa, Portugal: Instituto Geográfico Português, scale 1:25 000, 10 sheets.
- Costa F. 2000. "A Pesca do Atum nas Armações da Costa Algarvia". *Editorial Bizâncio, Lisboa*.
- Decreto nº 45/78, a 2 de maio. 1978. Diário da República n.º 157/1978, Série I de 1978-07-11.
- Decreto-Lei nº 373/87, de 9 de dezembro. 1987. Diário da República n.º 282/1987, Série I de 1987-12-09.
- Decreto-Lei nº140/99, de 24 de abril. 1999. Diário da República n.º 96/1999, Série I-A de 1999-04-24.

Decreto-Lei nº 384-B/99, em 23 de setembro. 1999. Diário da República n.º 223/1999, 1º Suplemento, Série I-A de 1999-09-23.

Decreto-Lei nº 99-A/2009, de 29 de abril. 2009. Diário da República n.º 83/2009, 1º Suplemento, Série I de 2009-04-29.

Decreto-Lei nº 115/2010, de 22 de outubro. 2010. Diário da República n.º 206/2010, Série I de 2010-10-22.

Decreto de Lei nº 2/2019, de 11 de janeiro. 2019. Diário da República n.º 8/2019, Série I de 2019-01-11.

Diretiva 79/409/CEE do Conselho, de 2 de Abril de 1979, relativa à conservação das aves selvagens.

Diretiva 92/43/CEE do Conselho, de 21 de Maio de 1992, relativa à preservação dos habitats naturais e da fauna e da flora selvagens.

Eckert, S., Zeug, G., & Krausmann, E. (2009). Tsunami Vulnerability and Risk Analysis Applied to the City of Alexandria, Egypt. Building.

EIDR - Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres. 2009. *"2009 UNISDR Terminología Sobre Reducción Del Riesgo de Desastres."* Estrategia Internacional Para La Reducción de Desastres de Las Naciones Unidas (UNISDR), 43.

Ferreira, Joana Isabel Batista. 2013. "O Terramoto de 1 de Novembro de 1755: Uma Abordagem Histórico-Geográfica Em Contexto Pedagógico," no. 140.

Freire, P, and F Sancho F S B F Oliveira. 2012. "Índice de Suscetibilidade à Ação Marítima . Aplicação à Ria Formosa," no. 1: 223–26.

Fritz, Hermann M., Catherine M. Petroff, Patricio A. Catalán, Rodrigo Cienfuegos, Patricio Winckler, Nikos Kalligeris, Robert Weiss, et al. 2011. *"Field Survey of the 27 February 2010 Chile Tsunami."* Pure and Applied Geophysics 168 (11): 1989–2010. <https://doi.org/10.1007/s00024-011-0283-5>.

Fujii, Yushiro and Kenji Satake. 2007. "Tsunami Source of the 2004 Sumatra-Andaman Earthquake Inferred from Tide Gauge and Satellite Data." *Bulletin of the Seismological Society of America* 97 (1 A SUPPL.). <https://doi.org/10.1785/0120050613>.

Google. 2021. Acedido a 03 de março de 2021. <https://www.google.com/maps/place/Olh%C3%A3o/@37.0710969,->

7.977173,31739m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0xd1aab32b7e934fb:0x14f42906  
19058992!8m2!3d37.0260416!4d-7.8423509

- Gomes, Abilio Soares. 2003. "*Ondas Marinhas*." Uff - Departamento De Biologia Marinha.
- Gutscher, M. 2004. "What caused the great Lisbon earthquake?". *Science* 27, 305 (5688), 1247–1248.
- ICNF - Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas. s.d. Acedido a 28 de fevereiro de 2021. <http://www2.icnf.pt/portal/ap/p-nat/pnrf>
- INE (2012). Censos 2011 - Resultados definitivos. Instituto Nacional de Estatística.
- Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC). UNESCO. Tsunami Programme. 2021. Acedido a 09 de março de 2021. [http://www.ioctsunami.org/index.php?option=com\\_content&view=article&id=10&Itemid=1](http://www.ioctsunami.org/index.php?option=com_content&view=article&id=10&Itemid=1)
- Lei nº 11-A/2013, de 28 de janeiro. 2013. Diário da República n.º 19/2013, 1º Suplemento, Série I de 2013-01-28.
- Lei nº 80/2015, de 3 de agosto. 2015. Diário da República n.º 149/2015, Série I de 2015-08-03.
- Lisboa, U. De, Oliveira, C. S., & Lisboa, U. De. (2021). *territorium* 28 (II), 2021, 93-114. 28(V), 93–114.
- Magalhães J. R. 1999. "A conjuntura económica (The economic environments)". In *Marques MDM O Algarve: da antiguidade aos nossos dias (elementos para a sua história)*. Edições Colibri, Lisboa: 253–62.
- Martínez-Graña, A. M., T. Boski, J. L. Goy, C. Zazo, and C. J. Dabrio. 2016. "Coastal-Flood Risk Management in Central Algarve: Vulnerability and Flood Risk Indices (South Portugal)." *Ecological Indicators* 71: 302–16.
- Massa Cinzenta - Cooperação na forma de informação. 2020. "*Após 10 anos, Japão conclui paredões contra novos tsunamis*." Acedido a 14 de março de 2021. <https://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/apos-10-anos-japao-conclui-paredoes-contranovos-tsunamis/>
- Medigás. 2018. Acedido a 08 de março de 2021. <https://www.ggnd.pt/pt-pt/Pesquisa?Search=uag>

- Mendonça J. M. 1758. *"História Universal dos Terramotos que tem havido no mundo desde que há notícia, desde a sua criação até ao século presente"*. Arq Nac da Torre de Tombo, Lisboa-Portugal (in Portuguese).
- Miranda, J. M., Carrilho, F. (2014). *45 Anos do sismo de 28 de Fevereiro de 1969*. Relatório IPMA. Lisboa, 17 p.
- Moura, Delminda, Erwan Garel, Flávio Martins, Isabel Mendes, João Janeiro, Luciano Júnior, Rita Carrasco, Ruwan Sampath, Susana Costas, and Cristina Veiga- Pires. 2019. *"Relatório Setor Zonas Costeiras e Mar: Vulnerabilidades Atuais e Futuras."* Município de Olhão. s/d. Acedido a 27 de fevereiro de 2021.  
<http://www.cm-olhao.pt/en/conhecer-olhao>
- Nunes, M., Ó Ferreira, and J. Luís. 2009. "Tsunami Vulnerability Zonation in the Algarve Coast (Portugal)." *Journal of Coastal Research*, no. SPEC. ISSUE 56: 876–80.
- Olhão Cubista. s.d. Acedido a 27 de fevereiro de 2021.  
<http://www.olhaocubista.pt/ParqueNatural.htm>
- Okal, Emile A., Hermann M. Fritz, Costas E. Synolakis, José C. Borrero, Robert Weiss, Patrick J. Lynett, Vasily V. Titov, et al. 2010. *"Field Survey of the Samoa Tsunami of 29 September 2009."* *Seismological Research Letters* 81 (4): 577–91.  
<https://doi.org/10.1785/gssrl.81.4.577>.
- Papathoma, M., and D. Dominey-Howes. 2003. "Tsunami Vulnerability Assessment and Its Implications for Coastal Hazard Analysis and Disaster Management Planning, Gulf of Corinth, Greece." *Natural Hazards and Earth System Science* 3 (6): 733–47.  
<https://doi.org/10.5194/nhess-3-733-2003>.
- Papathoma, M., D. Dominey-Howes, Y. Zong, and D. Smith. 2003. "Assessing Tsunami Vulnerability, an Example from Herakleio, Crete." *Natural Hazards and Earth System Science* 3 (5): 377–89. <https://doi.org/10.5194/nhess-3-377-2003>.
- PMEPC. 2011. Serviço Municipal de Protecção Civil de Olhão. *"Plano Municipal de Emergência de Protecção Civil de Olhão"*, Parte III, 1–82.
- PMDFCI. 2016 - Serviço Municipal de Protecção Civil de Olhão. *"Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios de Olhão"*, Caderno I, 1–69.
- PORDATA - Base de Dados Portugal Contemporâneo. 2021. Acedido a 27 de fevereiro de 2021. <https://www.pordata.pt/O+que+sao+NUTS>

PREPARA ENEM. Acedido a 03 de março de 2021.

<https://www.preparaenem.com/geografia/tsunami.htm>

QGIS.org, 2021. QGIS Geographic Information System. QGIS Association.

<http://www.qgis.org>

Ramos, L., and João A. Dias. 2000. "Atenuação Da Vulnerabilidade a Galgamentos Oceânicos No Sistema Da Ria Formosa Mediante Intervenções Suaves (Overwash Vulnerability Attenuation in Ria Formosa System through Soft Interventions)." *3rd Symposium on the Iberian Atlantic Margin*, no. June 2000: 361–62.

Resolução do Conselho de Ministros nº 160/2017, de 30 de outubro. 2017. Diário da República n.º 209/2017, Série I de 2017-10-30.

Resolução nº 1/2019, de 12 de setembro. 2019. Diário da República n.º 175/2019, Série II de 2019-09-12.

Resolução nº 2/2019, de 23 de outubro. 2019. Diário da República n.º 204/2019, Série II de 2019-10-23.

Saatcioglu, Murat, Ahmed Ghobarah, and Loan Nistor. 2005. "Effects of the December 26, 2004 Sumatra Earthquake and Tsunami on Physical Infrastructure." *ISET Journal of Earthquake Technology* 42 (4): 79–94.

Santos A., Fonseca N., Queirós M., Zêzere J., Bucho J. (2017). *Implementation of Tsunami Evacuation Maps at Setubal Municipality, Portugal*. Geosciences 2017, 7, 116; doi:10.3390/geosciences7040116

Sendai City. 2010. "Possibility of the Miyagi Sea earthquake".

<http://www.city.sendai.jp/syoubou/bousai/kakuritu/index.html>

Shibayama, T. 2005. "The december 26, 2004 Sumatra Earthquake Tsunami, Tsunami Field Survey in Banda Aceh of Indonesia", [http://www.drs.drpi.kyoto-u.ac.jp/sumatra/indonesia-ynu/indonesia\\_survey\\_ynu\\_e.html](http://www.drs.drpi.kyoto-u.ac.jp/sumatra/indonesia-ynu/indonesia_survey_ynu_e.html).

Silva Lopes J. B. 1841. "Corografia ou Memória Económica, Estadística e Topográfica do Reino do Algarve". *Na Typografia da Mesma Academia, Lisboa*.

Suppasri, Anawat, Nobuo Shuto, Fumihiko Imamura, Shunichi Koshimura, Erick Mas, and Ahmet Cevdet Yalciner. 2013. "Lessons Learned from the 2011 Great East Japan Tsunami: Performance of Tsunami Countermeasures, Coastal Buildings, and Tsunami Evacuation in Japan." *Pure and Applied Geophysics* 170 (6–8): 993–1018. <https://doi.org/10.1007/s00024-012-0511-7>.

Tinti, S, R Tonini, L Bressan, A Armigliato, A Gardi, R Guillande, N Valencia, and S Scheer.

2011. *Manual de Cenários de Risco e Danos de Tsunami*.

<https://doi.org/10.2788/22760>.

Turismo de Portugal. 2013. Acedido a 27 de fevereiro de 2021.

[http://cms.visitalgarve.pt//upload\\_files/client\\_id\\_1/website\\_id\\_1/Sobre\\_Algarve/Concelhos/Olhao/guia\\_olhao\\_pt.pdf](http://cms.visitalgarve.pt//upload_files/client_id_1/website_id_1/Sobre_Algarve/Concelhos/Olhao/guia_olhao_pt.pdf)

UNESCO.org. 2021. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.

Acedido a 08 de março de 2021.

[http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/pdf/IOC\\_MemberStates\\_Jan2018.pdf](http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/pdf/IOC_MemberStates_Jan2018.pdf)

United Nations. 2020. "Manuals and Guides 82 PREPARING FOR COMMUNITY."

*Intergovernmental Oceanographic Commission*, 298.

## **ANEXOS**

# ANEXO 1 - Estados Membro da Intergovernmental Oceanographic Comission of UNESCO

## INTERGOVERNMENTAL OCEANOGRAPHIC COMMISSION (of UNESCO)

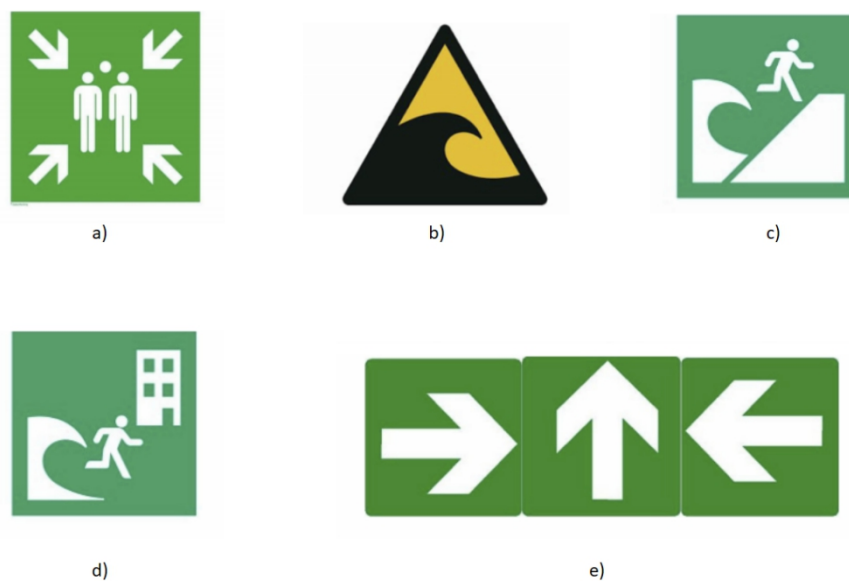
### Member States of the Commission (149) (as of 8 January 2018)

|                           |                        |                        |                        |
|---------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| AFGHANISTAN               | (11 March 1991)        | MADAGASCAR             | (Dec. 1965/Oct. 1967)  |
| ALBANIA                   | (26 January 1993)      | * MALAYSIA             | (Jul. 1964/Nov. 1965)  |
| ALGERIA                   | (Jul. 1964/Nov. 1965)  | MALDIVES               | (20 May 1987)          |
| ANGOLA                    | (26 October 1982)      | MALTA                  | (Oct. 1969/Nov. 1971)  |
| * ARGENTINA               | (Before November 1961) | MAURITANIA             | (Before November 1961) |
| * AUSTRALIA               | (Before November 1961) | MAURITIUS              | (Oct. 1969/Nov. 1971)  |
| AUSTRIA                   | (Oct. 1962/Jun. 1964)  | * MEXICO               | (Before November 1961) |
| AZERBAIJAN                | (27 January 1998)      | MONACO                 | (Before November 1961) |
| BAHAMAS                   | (29 January 1979)      | MONTENEGRO             | (04 October 2011)      |
| BANGLADESH                | (29 October 1982)      | * MOROCCO              | (Before November 1961) |
| BARBADOS                  | (18 December 1985)     | MOZAMBIQUE             | (08 April 1981)        |
| * BELGIUM                 | (Before November 1961) | MYANMAR                | (07 June 1988)         |
| BELIZE                    | (22 September 1995)    | NAMIBIA                | (25 April 2001)        |
| BENIN                     | (23 October 1986)      | NAURU                  | (11 February 2016)     |
| * BRAZIL                  | (Before November 1961) | NETHERLANDS            | (Before November 1961) |
| * BULGARIA                | (Oct. 1967/Dec. 1969)  | NEW ZEALAND            | (Nov. 1961/Sep. 1962)  |
| CABO VERDE                | (20 August 1984)       | NICARAGUA              | (17 November 1977)     |
| CAMEROON                  | (Nov. 1971/Nov. 1973)  | NIGERIA                | (Nov. 1971/Nov. 1973)  |
| * CANADA                  | (Before November 1961) | NIUE                   | (01 March 2011)        |
| * CHILE                   | (Before November 1961) | * NORWAY               | (Before November 1961) |
| * CHINA                   | (Before November 1961) | * OMAN                 | (16 November 1982)     |
| * COLOMBIA                | (Oct. 1967/Dec. 1969)  | PAKISTAN               | (Before November 1961) |
| COMOROS                   | (08 February 2000)     | * PALAU                | (24 March 2014)        |
| CONGO                     | (Nov. 1961/Sep. 1962)  | PANAMA                 | (Oct. 1967/Sep. 1969)  |
| COOK ISLANDS              | (25 Jan. 2006)         | PAPUA NEW GUINEA       | (10 April 2006)        |
| COSTA RICA                | (28 February 1975)     | * PERU                 | (Dec. 1965/Oct. 1967)  |
| * CÔTE D'IVOIRE           | (Before November 1961) | * PHILIPPINES          | (Oct. 62/Jun. 1964)    |
| CROATIA                   | (24 December 1992)     | POLAND                 | (Before November 1961) |
| CUBA                      | (Before November 1961) | * PORTUGAL             | (Oct. 1969/Nov. 1971)  |
| CYPRUS                    | (05 December 1977)     | QATAR                  | (20 July 1976)         |
| CZECHIA                   | (20 June 2005)         | * REPUBLIC OF KOREA    | (Before November 1961) |
| DEMOCRATIC PEOPLE'S       |                        | ROMANIA                | (Before November 1961) |
| REPUBLIC OF KOREA         | (31 October 1978)      | * RUSSIAN FEDERATION   | (Before Nov. 1961)     |
| DEMOCRATIC REPUBLIC       | (23 April 2010)        | SAINT KITTS AND NEVIS  | (28 June 2011)         |
| OF THE CONGO              |                        | SAINT LUCIA            | (14 September 1992)    |
| DENMARK                   | (Before November 1961) | SAINT VINCENT AND      |                        |
| DJIBOUTI                  | (6 January 2006)       | THE GRENADINES         | (21 January 2013)      |
| DOMINICA                  | (21 September 1999)    | SAMOA                  | (10 April 1978)        |
| DOMINICAN REPUBLIC        | (Before November 1961) | SAUDI ARABIA           | (14 June 1978)         |
| * ECUADOR                 | (Before November 1961) | * SENEGAL              | (Oct. 1967/Sep. 1969)  |
| * EGYPT                   | (Oct. 1969/Nov. 1971)  | SERBIA                 | (23 May 2005)          |
| EL SALVADOR               | (16 February 1993)     | SEYCHELLES             | (27 February 1979)     |
| ERITREA                   | (12 November 1993)     | SIERRA LEONE           | (19 April 1974)        |
| ESTONIA                   | (10 March 1992)        | SINGAPORE              | (Dec. 1965/Oct. 1967)  |
| ETHIOPIA                  | (05 March 1976)        | SLOVENIA               | (16 June 1994)         |
| FIJI                      | (09 July 1974)         | SOLOMON ISLANDS        | (11 May 1982)          |
| FINLAND                   | (Before November 1961) | SOMALIA                | (10 July 1974)         |
| * FRANCE                  | (Before November 1961) | * SOUTH AFRICA         | (Oct. 1967/Sep. 1969)  |
| GABON                     | (26 October 1977)      | * SPAIN                | (Before Nov. 1961)     |
| GAMBIA                    | (30 August 1985)       | SRI LANKA              | (Jun. 76/Jan. 1977)    |
| GEORGIA                   | (09 July 1993)         | SUDAN                  | (26 August 1974)       |
| * GERMANY                 | (Before November 1961) | SURINAME               | (21 January 1977)      |
| GHANA                     | (Before November 1961) | SWEDEN                 | (Jul. 1964/Nov. 1965)  |
| * GREECE                  | (Oct. 1962/Jun. 1964)  | SWITZERLAND            | (Before Nov. 1961)     |
| * GRENADA                 | (10 November 2009)     | SYRIAN ARAB REPUBLIC   | (Oct. 1969/Nov. 1971)  |
| GUATEMALA                 | (Dec. 1965/Oct. 1967)  | * THAILAND             | (Before Nov. 1961)     |
| GUINEA                    | (01 May 1982)          | TIMOR-LESTE            | (19 October 2005)      |
| GUINEA-BISSAU             | (26 January 1984)      | TOGO                   | (22 October 1975)      |
| GUYANA                    | (20 July 1977)         | TONGA                  | (03 January 1974)      |
| HAITI                     | (23 March 1976)        | TRINIDAD & TOBAGO      | (Oct. 1967/Sep. 1969)  |
| HONDURAS                  | (15 March 2012)        | TUNISIA                | (Before Nov. 1961)     |
| ICELAND                   | (Oct. 1962/Jun. 1964)  | * TURKEY               | (Nov. 1961/Sep. 1962)  |
| INDIA                     | (Before November 1961) | TURKMENISTAN           | (8 January 2018)       |
| * INDONESIA               | (Oct. 1962/Jun. 1964)  | TUVALU                 | (20 June 2011)         |
| IRAN, Islamic Republic of | (03 June 1975)         | UKRAINE                | (Nov. 1961/Sep. 1962)  |
| IRAQ                      | (Oct. 1969/Nov. 1971)  | UNITED ARAB EMIRATES   | (02 June 1976)         |
| IRELAND                   | (07 November 1978)     | UNITED KINGDOM OF      |                        |
| ISRAEL                    | (Before November 1961) | GREAT BRITAIN &        |                        |
| * ITALY                   | (Before November 1961) | NORTHERN IRELAND       | (Before Nov. 1961)     |
| JAMAICA                   | (Oct. 1967/Dec. 1969)  | * UNITED REPUBLIC OF   |                        |
| * JAPAN                   | (Before November 1961) | TANZANIA               | (Oct. 1967/Sep. 1969)  |
| JORDAN                    | (06 April 1975)        | UNITED STATES OF       |                        |
| KAZAKHSTAN                | (24 March 2005)        | AMERICA                | (Before Nov. 1961)     |
| * KENYA                   | (Nov. 1971/Nov. 1973)  | * URUGUAY              | (Before Nov. 1961)     |
| KIRIBATI                  | (10 May 2012)          | VANUATU                | (2 September 2013)     |
| * KUWAIT                  | (13 November 1974)     | VENEZUELA,             |                        |
| LEBANON                   | (Oct. 1962/Jun. 1964)  | Bolivarian Republic of | (Oct. 1962/Jun. 1964)  |
| LIBYA                     | (11 March 1974)        | VIET NAM               | (Before Nov. 1961)     |
|                           |                        | YEMEN                  | (Before Nov. 1961)     |

MEMBERS OF THE EXECUTIVE COUNCIL ARE INDICATED WITH AN ASTERISK \*

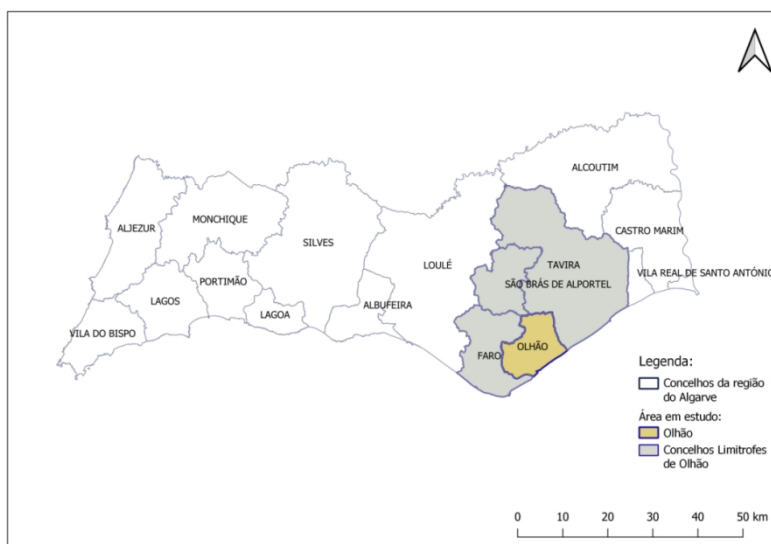
Figura 45: Estados Membro da Intergovernmental Oceanographic Comission of UNESCO. Fonte: UNESCO 2020.

## ANEXO 2 - Sinalética para áreas expostas ao risco de tsunami



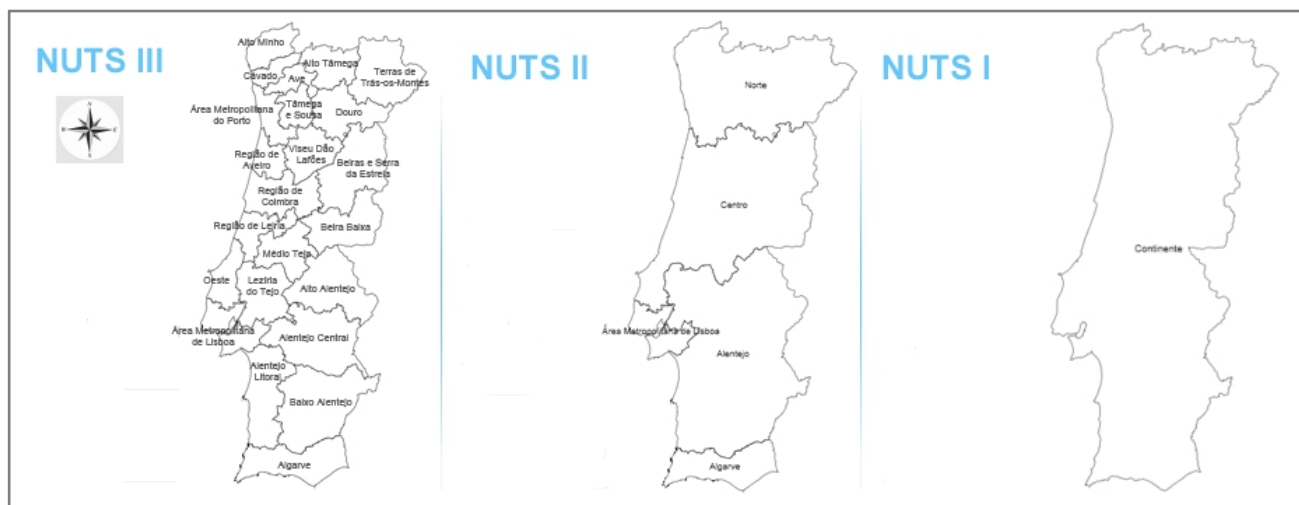
**Figura 46:** Pictogramas a utilizar em áreas expostas ao risco de tsunamis: a) Ponto de encontro; b) Zona potencialmente ameaçada por tsunamis; c) Via de evacuação para zona de refúgio; d) Via de evacuação para local de abrigo; e) Direção a seguir. Fonte: Resolução nº 1/2019, de 12 de setembro.

## ANEXO 3 - Enquadramento geográfico do concelho de Olhão



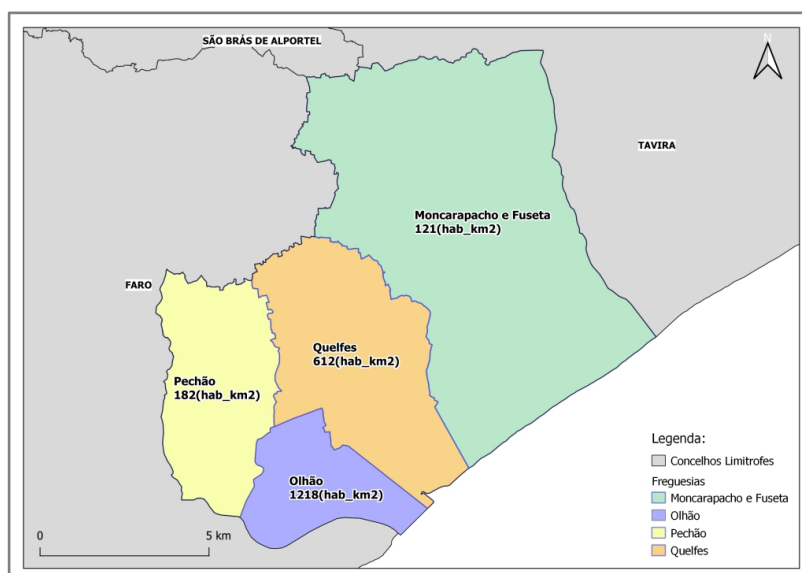
**Figura 47:** Enquadramento geográfico do concelho de Olhão. Fonte: CAOP (2019).

## ANEXO 4 - Nomenclatura de Unidades Territoriais (NUTS)



**Figura 48:** Divisão Territorial NUTS 2013. Fonte: Adaptado de PORDATA (2021).

## ANEXO 5 - Mapa de concentração demográfica por freguesia



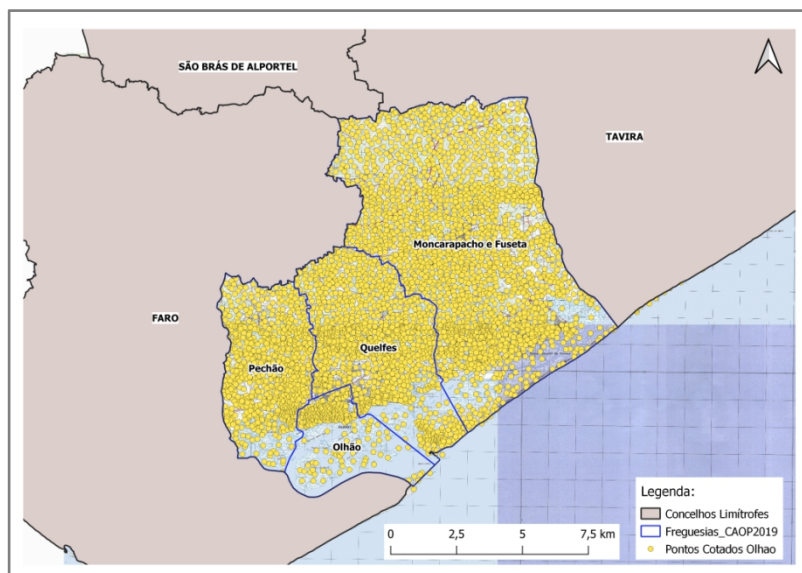
**Figura 49:** Mapa de concentração demográfica do concelho por freguesia.

**ANEXO 6 - Parque Natural da Ria Formosa: localização das penínsulas, ilhas barreira e barras de maré**



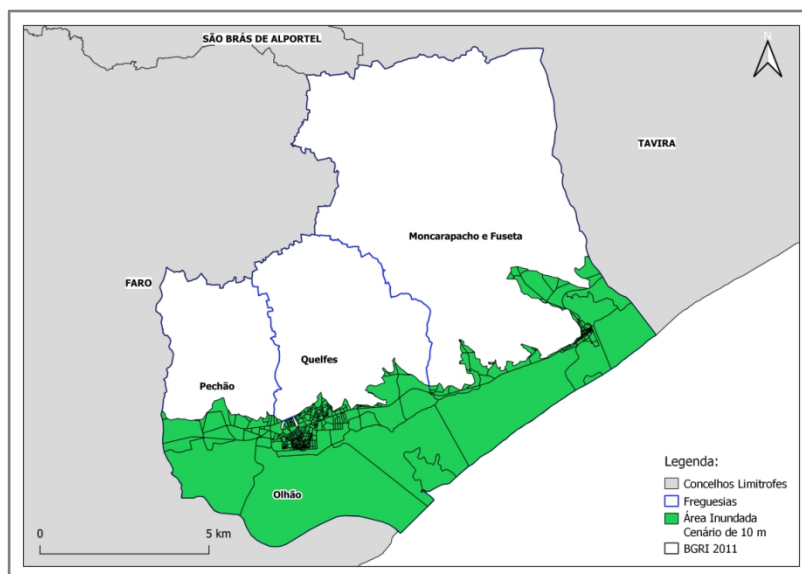
**Figura 50:** Parque Natural da Ria Formosa. Representação das ilhas barreira e das barras de maré. Fonte: Adaptado do Google Earth (2021).

**ANEXO 7 - Camada vetorial com os pontos cotados utilizados no cálculo do modelo digital do concelho de Olhão.**



**Figura 51:** Pontos cotados do concelho de Olhão utilizados no cálculo do MDT.

**ANEXO 8** - Camada vetorial resultante da interseção da área inundada no Cenário de 10 m com a da BGRI.



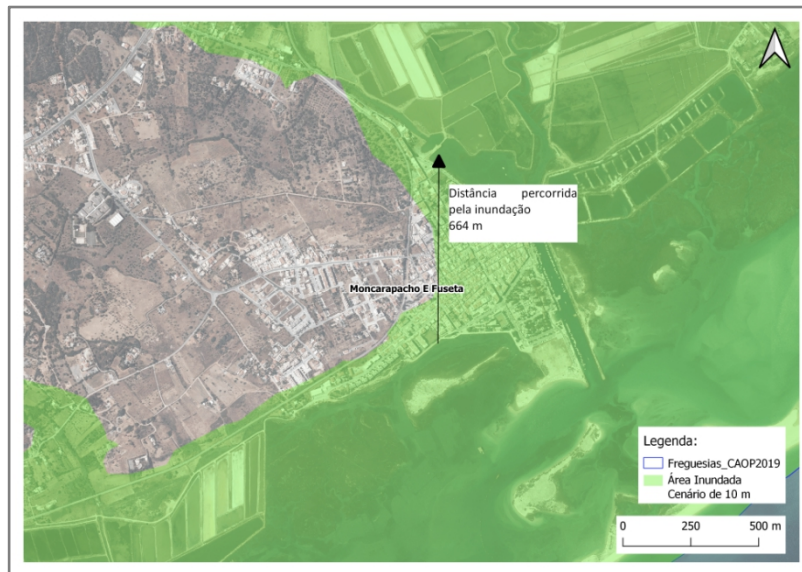
**Figura 52:** Identificação dos quarteirões localizados dentro da área suscetível de ser inundada, no caso do cenário de 10 m.

**ANEXO 9** - Distância máxima alcançada pela inundação (1 762 m), no cenário de 10 m, na comunidade costeira de Olhão



**Figura 53:** Representação da distância máxima alcançada pela inundação expectável no cenário de 10 m, na comunidade costeira de Olhão, medida em linha reta, no sentido sul/norte, a partir do Cais de Embarque de Olhão.

**ANEXO 10** - Distância máxima alcançada pela inundação (664 m), no cenário de 10 m, na comunidade costeira da Fuseta



**Figura 54:** Representação da distância máxima alcançada pela inundação expectável no cenário de 10 m, na comunidade costeira de Fuseta, medida em linha reta, no sentido sul/norte, a partir da Avenida 25 de Abril da Fuseta.

**ANEXO 11** - Quebra-mares (breakwaters)



**Figura 55:** Quebra mar de Kamaishi (japão), antes do tsunami de 2011. Fonte: Suppasri et al. (2013).

## ANEXO 12 - Paredões (seawalls)



**Figura 56:** Paredões erguidos ao longo da costa Norte do Japão, após o tsunami de 2011. Fonte: Massa Cinzenta (2020). Acedido a 13 de março de 2021.

## ANEXO 13 - Florestas controladas



**Figura 57:** Exemplo de florestas para mitigar os efeitos de tsunamis na baía de Sendai antes do Tsunami de 2011. Fonte: Google Earth (2021).



**Figura 58:** Exemplo de florestas para mitigar os efeitos de tsunamis na baía de Sendai, depois do Tsunami de 2011. Fonte: Google Earth (2021).