

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



**Avaliação da Vulnerabilidade dos Ecossistemas Intermareais e
Avifauna do Estuário do Tejo devido à Subida do Nível Médio
do Mar**

Vanessa Alexandra Conceição Ferreira

Mestrado em Engenharia Geoespacial

Dissertação orientada por:
Professor Doutor Carlos Manuel Correia Antunes e
Professora Doutora Cristina Maria Sousa Catita

Aos meus Pais, pelo vosso amor e apoio.

À minha Irmã, por ser o exemplo.

Agradecimentos

Serve o presente texto como nota de agradecimento a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a elaboração desta dissertação.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer todo o apoio e incentivo dos meus orientadores. Ao Professor Carlos Antunes estou grata não só pela sugestão deste tema de dissertação como pela confiança depositada. À Professora Cristina Catita agradeço por todo o seu positivismo e boa disposição, que em muitos momentos foram essenciais para encarar este desafio. A ambos agradeço ainda pela constante disponibilidade para me auxiliar ao longo desta dissertação.

Um agradecimento a todos os professores de Engenharia Geoespacial por todo o conhecimento partilhado ao longo destes anos. Agradeço também à Carolina pela hospitalidade e companheirismo com que me acolheu no grupo de trabalho, estando sempre presente e disposta a ajudar.

Quero agradecer ao Miguel, por ser o meu companheiro diário de trabalho, por ter acompanhado e auxiliado na minha dissertação sempre que necessitei, mas acima de tudo por ser um excelente amigo com quem dividi, pausas para café, almoços no C8, jogos de futebol, enfim tudo o que fosse um escape desta dissertação. Aos restantes membros dos “Geoespeciais”, Francisco, Rafael e Vinicius obrigada pela vossa amizade, companheirismo e bons momentos que passámos ao longo destes últimos 6 anos.

Aos meus “irmãos” do Conselho de Pastranos por me terem acolhido tão bem e terem tornado a experiência que é a faculdade inesquecível do primeiro ao último dia, tendo por um lado incentivado o término desta dissertação e por outro desejado o seu atraso para que este ciclo não termine e possamos continuar juntos.

Um profundo agradecimento aos meus amigos mais próximos, Diana, David e Marta, por serem tão pacientes comigo ao longo de tantos anos. Por me conhecerem melhor que ninguém e mesmo assim serem meus amigos, aliás os meus melhores amigos. Por serem a minha companhia nos planos mais épicos e simplesmente por me quererem bem.

Por fim, quero agradecer aos meus pilares, às pessoas que mais me apoiaram ao longo de todos estes anos e que me ajudaram em tudo o que foi possível para concluir os meus estudos. À minha mãe Maria, por ser uma das pessoas que mais admiro, por todo o apoio e palavras certas no momento certo, por tudo o que sempre fez e faz por mim pondo-me sempre em primeiro plano. Ao meu pai José, que também é uma das pessoas que mais admiro neste mundo, por todos os sacrifícios que fez pela minha educação, por toda a força e boa disposição que sempre me transmitiu e por tornar até os dias menos bons melhores. À minha irmã Vânia por ser um exemplo, por ser uma motivação para querer sempre mais e melhor, por ser sempre um ombro amigo disponível para ajudar, por reconhecer o meu valor mesmo quando eu não o faço e por me proporcionar momentos únicos na vida. Ao meu *brother-in-law* João por ser como um irmão para mim e por me tratar como uma irmã, estando sempre presente na minha vida e disponível para me auxiliar e para aderir aos meus planos sejam eles quais forem. À minha restante família, os que me querem bem, obrigada por isso, por me apoiarem e me quererem ver vencer. Espero que todos tenham orgulho em mim.

A todos, o meu sincero muito obrigada por estes últimos meses, nem sempre foi fácil, mas vocês fizeram com que esta difícil jornada fosse mais simples de superar.

Resumo

Atualmente, não existem dúvidas sobre o aumento do Nível Médio do Mar (NMM), provocado pelo aquecimento global do nosso planeta. A questão será determinar a escala deste aumento e os impactos dele decorrentes.

Este estudo, visa avaliar a vulnerabilidade dos Ecossistemas Intermareais (EI) e Avifauna do Estuário do Tejo para quatro cenários de subida do NMM: 0.5 m, 1.0 m, 1.5 m e 2.0 m em relação ao NMM de 2000. Analisa-se ainda a influência da preservação de áreas agrícolas e artificializadas e a implementação de um regime de sedimentação na vulnerabilidade destes ecossistemas. A metodologia proposta consiste na determinação de um Modelo Topo-Batimétrico a partir do qual, tendo como base valores pré-estabelecidos de corte do nível da maré no Estuário do Tejo, serão determinados os EI. Para tal, serão utilizados dados batimétricos de acesso público, complementados com dados extraídos de imagens de satélite, e dados altimétricos disponibilizados pela Direção Geral do Território.

A informação gerada e os modelos considerados foram integradas numa base de dados geoespaciais, de modo a serem produzidos mapas temáticos de vulnerabilidade dos EI e de três espécies de aves, *Pluvialis squatarola*, *Limosa limosa* e *Tringa totanus*, para cada cenário de subida do NMM.

Os resultados obtidos evidenciam a vulnerabilidade destes ecossistemas à subida do NMM, traduzida na perda percentual de área de raso de maré, baixo sapal e alto sapal. No caso da avifauna é notório que a subida do NMM provocará grandes alterações aos habitats localizados em áreas intermareais.

A metodologia proposta nesta dissertação e os respetivos resultados nas áreas de estudo constituem um contributo para a identificação de vulnerabilidades dos EI e da Avifauna. Os produtos cartográficos são elementos de elevada importância no suporte à tomada de decisão relacionada com a gestão e ordenamento do Estuário do Tejo face à subida do NMM.

PALAVRAS CHAVE: Vulnerabilidade, Ecossistemas Intermareais, Avifauna, Subida do Nível Médio do Mar, Modelo Topo-Batimétrico.

Abstract

Today, there is no doubt about the increase in the Mean Sea Level (MSL) caused by the global warming of our planet. The question will be to determine the scale of this increase and the resulting impacts.

This study aims to evaluate the vulnerability of the Intertidal Ecosystems (IE) and Birdlife of the Tagus Estuary for four scenarios of MSL rise: 0.5 m, 1.0 m, 1.5 m and 2.0 m in relation to the 2000 MSL. The influence of the preservation of agricultural and artificialized areas and the implementation of a sedimentation regime on the vulnerability of these ecosystems is also analyzed. The proposed methodology consists in the determination of a Topo-Bathymetric Model from which, based on pre-established cut-off values, related to the tidal level in the Tagus Estuary, the IE will be determined. To this end, publicly available bathymetric data will be used, complemented with data extracted from satellite images, and altimetric data provided by Direção Geral do Território.

The information generated and the models considered were integrated into a geospatial database to produce thematic maps of vulnerability of IE and three wader species, *Pluvialis squatarola*, *Limosa limosa* and *Tringa totanus*, for each MSL rise scenario.

The results obtained show the vulnerability of these ecosystems to MSL rise, translated in the percentage area loss of tidal shallow, low marsh, and high marsh. In the case of birdlife, the rise of MSL will cause major changes to habitats located in intertidal areas.

The methodology proposed in this dissertation and the respective results in the study areas constitute a contribution to the identification of vulnerabilities of IE and birdlife. The cartographic products are elements of high importance in supporting the decision making related to the management and planning of the Tagus Estuary in face of the MSL increase.

KEYWORDS: Vulnerability, Intertidal Ecosystems, Birdlife, Rising Mean Sea Level, Topo-Bathymetric Model.

Índice

| | |
|--|------------|
| AGRADECIMENTOS | IV |
| RESUMO | V |
| ABSTRACT | VI |
| ÍNDICE | VII |
| LISTA DE TABELAS | X |
| LISTA DE FIGURAS | XII |
| ACRÓNIMOS | XV |
| CAPÍTULO 1 | |
| INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA..... | 1 |
| 1.2 OBJETIVOS | 2 |
| 1.3 MOTIVAÇÃO | 2 |
| 1.4 METODOLOGIA | 3 |
| 1.4.1 <i>Modelo Topo-Batimétrico</i> | 3 |
| 1.4.2 <i>Classificação e Quantificação dos Ecossistemas Intermareais</i> | 3 |
| 1.5 CONTRIBUIÇÃO CIENTÍFICA | 4 |
| 1.6 ESTRUTURA DA TESE..... | 4 |
| CAPÍTULO 2 | |
| ESTADO DO CONHECIMENTO ATUAL | 5 |
| 2.1 CONCEITOS E DEFINIÇÕES TEÓRICAS..... | 5 |
| 2.1.1 <i>Maré e Variação do Nível Médio do Mar</i> | 5 |
| 2.1.2 <i>Agitação Marítima</i> | 7 |
| 2.1.3 <i>Estuários Fluviais</i> | 7 |
| 2.1.4 <i>Sistemas de Referência Verticais</i> | 10 |
| 2.1.5 <i>Modelo Digital de Elevação</i> | 11 |
| 2.1.6 <i>Batimetria</i> | 13 |
| 2.1.7 <i>Normalized Difference Water Index</i> | 13 |
| 2.1.8 <i>Ecossistemas Intermareais</i> | 14 |
| 2.1.9 <i>Avifauna do Estuário do Tejo</i> | 17 |
| 2.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 18 |
| 2.2.1 <i>Variação do NMM em Portugal</i> | 18 |
| 2.2.2 <i>Processos Estuarinos</i> | 20 |
| 2.2.3 <i>Modelos Atuais de Análise dos Processos Estuarinos</i> | 21 |
| 2.2.4 <i>Enquadramento Legal</i> | 22 |
| CAPÍTULO 3 | |
| METODOLOGIA E RESULTADOS | 25 |
| 3.1 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUÁRIO DO TEJO | 25 |
| 3.1.1 <i>Caracterização Física e Geográfica</i> | 25 |
| 3.1.2 <i>Clima</i> | 27 |

| | | |
|--|---|-----------|
| 3.1.3 | Caracterização Socioeconómica..... | 28 |
| 3.1.4 | Caracterização Biológica..... | 29 |
| 3.2 | PROCESSO METODOLÓGICO | 29 |
| 3.3 | DADOS | 31 |
| 3.4 | MODELO TOPO-BATIMÉTRICO | 31 |
| 3.4.1 | Modelo Digital do Terreno..... | 31 |
| 3.4.2 | Batimetria..... | 33 |
| 3.4.3 | Modelo Topo-Batimétrico | 40 |
| 3.5 | CENÁRIOS DE SUBIDA DO NÍVEL MÉDIO DO MAR | 45 |
| 3.5.1 | Cenários Sem Assoreamento | 46 |
| 3.5.2 | Cenários Com Assoreamento | 55 |
| 3.6 | VULNERABILIDADE DA AVIFAUNA À SUBIDA DO NÍVEL MÉDIO DO MAR..... | 60 |
| CAPÍTULO 4 | | |
| | DISCUSSÃO DE RESULTADOS | 68 |
| 4.1 | ANÁLISE DA VULNERABILIDADE DOS CENÁRIOS SEM ASSOREAMENTO..... | 68 |
| 4.2 | ANÁLISE DA VULNERABILIDADE DOS CENÁRIOS COM ASSOREAMENTO | 70 |
| 4.3 | ANÁLISE DA VULNERABILIDADE DOS CENÁRIOS DA AVIFAUNA..... | 73 |
| 4.3.1 | <i>Pluvialis squatarola</i> | 74 |
| 4.3.2 | <i>Limosa limosa</i> | 75 |
| 4.3.3 | <i>Tringa totanus</i> | 76 |
| CAPÍTULO 5 | | |
| | CONCLUSÕES | 78 |
| 5.1 | CONCLUSÕES..... | 78 |
| 5.2 | RECOMENDAÇÕES FUTURAS | 80 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | | |
| 81 | | |
| ANEXOS | | |
| 85 | | |
| A. POLÍGONOS DOS EI PARA OS VÁRIOS CENÁRIOS DE SUBIDA DO NMM SEM ASSOREAMENTO..... | | |
| 85 | | |
| I. | CENÁRIOS COM PRESERVAÇÃO DAS ÁREAS AGRÍCOLAS..... | 85 |
| B. POLÍGONOS DOS EI PARA OS VÁRIOS CENÁRIOS DE SUBIDA DO NMM COM ASSOREAMENTO | | |
| 89 | | |
| I. | CENÁRIOS COM PRESERVAÇÃO DAS ÁREAS ARTIFICIALIZADAS | 89 |
| C. POLÍGONOS DOS EI DA AVIFAUNA PARA OS VÁRIOS CENÁRIOS DE SUBIDA DO NMM | | |
| 93 | | |
| I. | <i>PLUVIALIS SQUATAROLA</i> | 93 |
| a. | Classificação em EI da Core Area (50%)..... | 93 |
| b. | Classificação em EI do Home Range (95%)..... | 101 |
| II. | <i>LIMOSA LIMOSA</i> | 105 |
| a. | Classificação em EI da Core Area (50%)..... | 105 |
| a. | Classificação em EI do Home Range (95%)..... | 114 |
| III. | <i>TRINGA TOTANUS</i> | 123 |
| a. | Classificação em EI da Core Area (50%)..... | 123 |

| | |
|--|------------|
| <i>b. Classificação em EI do Home Range (95%)</i> | 132 |
| D. EVOLUÇÃO DA ÁREA DOS EI DA AVIFAUNA PARA OS VÁRIOS CENÁRIOS DE SUBIDA DO NMM | 141 |
| I. <i>PLUVIALIS SQUATAROLA</i> | 141 |
| <i>a. Evolução da área dos EI da Core Area (50%)</i> | 141 |
| <i>b. Evolução da área dos EI do Home Range (95%)</i> | 142 |
| II. <i>LIMOSA LIMOSA</i> | 143 |
| <i>a. Evolução da área dos EI da Core Area (50%)</i> | 143 |
| <i>b. Evolução da área dos EI do Home Range (95%)</i> | 144 |
| III. <i>TRINGA TOTANUS</i> | 146 |
| <i>a. Evolução da área dos EI da Core Area (50%)</i> | 146 |
| <i>b. Evolução da área dos EI do Home Range (95%)</i> | 147 |

Lista de Tabelas

| | |
|--|----|
| Tabela 3-1- Principais Características Físicas do Estuário do Tejo | 26 |
| Tabela 3-2-Dados utilizados com a respetiva fonte, data de aquisição e observações..... | 31 |
| Tabela 3-3 - Alturas de Maré do Porto de Lisboa, às 11:21 UTM, para as 9 Datas das Imagens do Sentinel-2 | 33 |
| Tabela 3-4 - Valores de Concordância entre o Porto de Lisboa e Pontos de Concordância espalhados pelo Estuário do Tejo | 34 |
| Tabela 3-5 - Excel de transformação de maré em Lisboa para a maré dos pontos de concordância do dia 21 de março de 2018 | 35 |
| Tabela 3-6 - Valores de Elevação de Maré obtidos em cada data para os Pontos de Concordância..... | 36 |
| Tabela 3-7 - Coordenadas de Corte para o Substet das Imagens de Satélite..... | 37 |
| Tabela 3-8 - Valores de Threshold delimitadores do Raso de Maré para as datas em estudo (valores do NDWI de -1 a 1)..... | 39 |
| Tabela 3-9 - Locais de Medição de Pontos Coordenados Topograficamente e número de pontos obtido | 42 |
| Tabela 3-10 - Média e Desvio Padrão do Resíduos dos Pontos Coordenados Topograficamente..... | 42 |
| Tabela 3-11 - Simplificação dos 16 cenários de subida do NMM no Estuário do Tejo abordados neste subcapítulo | 45 |
| Tabela 3-12 - Valores de Altura de Maré correspondentes aos limites dos Ecossistemas Intermareais (relativos ao ZH) | 46 |
| Tabela 3-13 - Valores de Elevação de Maré para os 21 Pontos de Concordância no Estuário do Tejo tendo como base o valor de Maré no Terreiro do Paço..... | 46 |
| Tabela 3-14 - Valores de Elevação de Maré para os 21 Pontos de Concordância no Estuário do Tejo para uma subida do NMM de 50 cm face ao período de referência (subida do NMM de 65 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) | 49 |
| Tabela 3-15 - Valores de Elevação de Maré para os 21 Pontos de Concordância no Estuário do Tejo para uma subida do NMM de 100 cm face ao período de referência (subida do NMM de 115 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais)..... | 49 |
| Tabela 3-16 - Valores de Elevação de Maré para os 21 Pontos de Concordância no Estuário do Tejo para uma subida do NMM de 150 cm face ao período de referência (subida do NMM de 165 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais)..... | 50 |
| Tabela 3-17 - Valores de Elevação de Maré para os 21 Pontos de Concordância no Estuário do Tejo para uma subida do NMM de 200 cm face ao período de referência (subida do NMM de 215 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais)..... | 50 |
| Tabela 4-1 - Evolução da Área de Raso de Maré face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas agrícolas sem assoreamento..... | 68 |
| Tabela 4-2 - Evolução da Área de Raso de Maré face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas agrícolas e artificializadas sem assoreamento..... | 68 |
| Tabela 4-3 -Evolução da Área de Baixo Sapal face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas agrícolas sem assoreamento..... | 69 |
| Tabela 4-4 - Evolução da Área de Baixo Sapal face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas agrícolas e artificializadas sem assoreamento..... | 69 |
| Tabela 4-5 - Evolução da Área de Alto Sapal face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas agrícolas sem assoreamento..... | 70 |

| | |
|---|----|
| Tabela 4-6 - Evolução da Área de Alto Sapal face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas agrícolas e artificializadas sem assoreamento..... | 70 |
| Tabela 4-7 - Evolução da Área de Raso de Maré face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas artificializadas com assoreamento | 71 |
| Tabela 4-8 - Evolução da Área de Raso de Maré face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas artificializadas e agrícolas com assoreamento | 71 |
| Tabela 4-9 - Evolução da Área de Baixo Sapal face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas artificializadas com assoreamento | 72 |
| Tabela 4-10 - Evolução da Área de Baixo Sapal face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas artificializadas e agrícolas com assoreamento | 72 |
| Tabela 4-11 - Evolução da Área de Alto Sapal face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas artificializadas com assoreamento | 73 |
| Tabela 4-12 - Evolução da Área de Raso de Maré face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas artificializadas e agrícolas com assoreamento | 73 |
| Tabela 4-13 - Evolução da área de Raso de Maré do Home Range (95%) da Espécie <i>Pluvialis squatarola</i> face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas artificializadas e agrícolas..... | 74 |
| Tabela 4-14 - Evolução da área de Baixo Sapal do Home Range (95%) da Espécie <i>Pluvialis squatarola</i> face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas artificializadas e agrícolas..... | 74 |
| Tabela 4-15 - Evolução da área de Alto Sapal do Home Range (95%) da Espécie <i>Pluvialis squatarola</i> face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas artificializadas e agrícolas..... | 74 |
| Tabela 4-16 - Evolução da área de Raso de Maré do Home Range (95%) da Espécie <i>Limosa limosa</i> face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas artificializadas e agrícolas | 75 |
| Tabela 4-17 - Evolução da área de Baixo Sapal do Home Range (95%) da Espécie <i>Limosa limosa</i> face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas artificializadas e agrícolas | 75 |
| Tabela 4-18 - Evolução da área de Alto Sapal do Home Range (95%) da Espécie <i>Limosa limosa</i> face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas artificializadas e agrícolas..... | 75 |
| Tabela 4-19 - Evolução da área de Raso de Maré do Home Range (95%) da Espécie <i>Tringa totanus</i> face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas artificializadas e agrícolas | 76 |
| Tabela 4-20 - Evolução da área de Baixo Sapal do Home Range (95%) da Espécie <i>Tringa totanus</i> face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas artificializadas e agrícolas | 76 |
| Tabela 4-21 - Evolução da área de Alto Sapal do Home Range (95%) da Espécie <i>Tringa totanus</i> face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas artificializadas e agrícolas..... | 77 |

Lista de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 2-1 - Maré Anual de Lisboa para 2021. [Extraído de Antunes (2007)] | 6 |
| Figura 2-2 - Representação Esquemática de um Estuário e dos seus Setores [Extraído de Silva (2000)] | 8 |
| Figura 2-3 - Critérios de Classificação de um Estuário [Adaptado de Silva (2000)] | 9 |
| Figura 2-4 - A) - A representação do terreno através de B) um MDS e um MDT. [Adaptado de Guth et al. (2021)] | 11 |
| Figura 2-5 - Procedimento para a Geração de um Modelo TIN [Adaptado de Redweik (2021)] | 12 |
| Figura 2-6 - Procedimento para a Geração de um Modelo Grid [Adaptado de Redweik (2021)]..... | 12 |
| Figura 2-7 - Segmentação da Zona Intermareal (Extraído de: https://www.ecoshape.org/en/concepts/growing-salt-marshes/hydrosphere-salt-marshes/ a 16/09/2022) | 14 |
| Figura 2-8 - Bloco 3D com estrutura do baixo e alto sapal cortado por canais [Extraído de Inácio (2017)] | 16 |
| Figura 2-9 - Variação Secular do Nível Médio do Mar em CASCAIS (Série de médias mensais). [Extraído de Antunes (2007)]..... | 19 |
| Figura 2-10 - Diagrama Conceptual dos Fatores de Influência da Hidrodinâmica Estuarina [Adaptado de Khojasteh et al., (2021)]. | 20 |
| Figura 2-11 - Diagrama Conceptual da Hierarquia dos Processos Estuarinos [Extraído de Khojasteh et al., (2021)]. | 21 |
| Figura 2-12 - Estrutura funcional da ENAAC 2020 (Extraído de https://www.icnf.pt/biodiversidade/uniaoeuropeiaeambitointernacional/adaptacaoalteracoesclimaticas) | 23 |
| Figura 3-1-Enquadramento geográfico do Estuário do Tejo [Sistema de coordenadas: PTM06-ETRS89; Parcialmente Extraído de Azevêdo et al. (2004)]..... | 27 |
| Figura 3-2- Fluxo de processo da metodologia para a obtenção da cartografia de vulnerabilidade dos EI face à subida do NNM..... | 30 |
| Figura 3-3- Fluxograma do processo de transformação para o Modelo Digital de Terreno | 32 |
| Figura 3-4 - Modelo Digital de Terreno do Estuário do Tejo, com resolução espacial de 4 m..... | 32 |
| Figura 3-5 - Localização dos Pontos de Concordância no Estuário do Tejo..... | 34 |
| Figura 3-6 -Gráfico mensal da maré de Lisboa, relativo a março de 2018. [Extraído de Antunes (2007)] | 35 |
| Figura 3-7 - Resultados do Substet para as Imagens de Satélite das 9 datas em estudo | 37 |
| Figura 3-8 - Fluxograma do processo de extração da área de raso de maré da imagem do NDWI com recurso a um programa em Python..... | 38 |
| Figura 3-9- Resultados Binários da Delimitação do Raso de Maré para as Imagens de Satélite das 9 datas em estudo com base nos valores do NDWI..... | 38 |
| Figura 3-10 - Fluxograma do processo de transformação para a obtenção dos pontos do limite inferior do raso de maré | 39 |
| Figura 3-11 - Pontos do Nível de Maré às 11:21 (UTC) de uma pequena zona do Estuário do Tejo para as 9 datas em estudo | 40 |
| Figura 3-12 - Modelo Topo-Batimétrico do Estuário do Tejo | 41 |
| Figura 3-13 - Localização dos pontos coordenados por Topografia, com recurso a um recetor GPS e uma estação total topográfica | 43 |
| Figura 3-14 - Representação Esquemática do Problema de Coerência entre o MDT e a Batimetria | 44 |

| | |
|--|----|
| Figura 3-15 - Distribuição dos Resíduos entre a Batimetria do IH e a Batimetria determinada a partir de imagens de satélite..... | 44 |
| Figura 3-16 - Fluxo de processos condicionais para obtenção das superfícies dos Ecossistemas Intermareais..... | 47 |
| Figura 3-17- Polígonos dos Ecossistemas Intermareais para o Período de Referência..... | 48 |
| Figura 3-18 - Polígonos dos Ecossistemas Intermareais para uma subida do NMM de 50 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 65 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) e com preservação das áreas agrícolas e artificializadas..... | 51 |
| Figura 3-19 - Polígonos dos Ecossistemas Intermareais para uma subida do NMM de 100 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 115 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) e com preservação das áreas agrícolas e artificializadas..... | 52 |
| Figura 3-20- Polígonos dos Ecossistemas Intermareais para uma subida do NMM de 150 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 165 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) e com preservação das áreas agrícolas e artificializadas..... | 53 |
| Figura 3-21- Polígonos dos Ecossistemas Intermareais para uma subida do NMM de 200 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 215 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) e com preservação das áreas agrícolas e artificializadas..... | 54 |
| Figura 3-22 – Percentagem da Taxa de Assoreamento a Aplicar às diferentes cotas dos Ecossistemas Intermareais..... | 55 |
| Figura 3-23 - Fluxograma do processo de transformação para obtenção do MTB com Assoreamento | 56 |
| Figura 3-24 - Polígonos dos Ecossistemas Intermareais para uma subida do NMM de 50 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 65 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) e com preservação das áreas agrícolas e artificializadas - Com Assoreamento..... | 56 |
| Figura 3-25 - Polígonos dos Ecossistemas Intermareais para uma subida do NMM de 100 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 115 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) e com preservação das áreas agrícolas e artificializadas - Com Assoreamento..... | 57 |
| Figura 3-26 - Polígonos dos Ecossistemas Intermareais para uma subida do NMM de 150 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 165 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) e com preservação das áreas agrícolas e artificializadas - Com Assoreamento..... | 58 |
| Figura 3-27 - Polígonos dos Ecossistemas Intermareais para uma subida do NMM de 200 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 215 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) e com preservação das áreas agrícolas e artificializadas - Com Assoreamento..... | 59 |
| Figura 3-28 - Home Range (95%) e Core Area (50%) da Espécie <i>Limosa limosa</i> | 60 |
| Figura 3-29 - Home Range (95%) e Core Area (50%) da Espécie <i>Pluvialis squatarola</i> | 61 |
| Figura 3-30 - Home Range (95%) e Core Area (50%) da Espécie <i>Tringa totanus</i> | 62 |
| Figura 3-31 - Classificação em Ecossistemas Intermareais do Home Range (95%) da Espécie <i>Pluvialis squatarola</i> para o Período de Referência (15 cm NMM)..... | 63 |
| Figura 3-32 - Classificação em Ecossistemas Intermareais do Home Range (95%) da Espécie <i>Pluvialis squatarola</i> para uma subida do NMM de 50 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 65 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) com preservação de áreas agrícolas e artificializadas..... | 64 |
| Figura 3-33 - Classificação em Ecossistemas Intermareais do Home Range (95%) da Espécie <i>Pluvialis squatarola</i> para uma subida do NMM de 100 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 115 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) com preservação de áreas agrícolas e artificializadas..... | 65 |
| Figura 3-34 - Classificação em Ecossistemas Intermareais do Home Range (95%) da Espécie <i>Pluvialis squatarola</i> para uma subida do NMM de 150 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 165 | |

| | |
|---|----|
| cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) com preservação de áreas agrícolas e artificializadas | 66 |
| Figura 3-35 - Classificação em Ecossistemas Intermareais do Home Range (95%) da Espécie <i>Pluvialis squatarola</i> para uma subida do NMM de 200 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 215 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) com preservação de áreas agrícolas e artificializadas | 67 |

Acrónimos

| | |
|-----------------------|---|
| AIE | Áreas de Intervenção Específica |
| AM | Águas-Mortas |
| ARH | Administração da Região Hidrográfica |
| AV | Águas-Vivas |
| APA | Agência Portuguesa do Ambiente |
| BM | Baixa-Mar |
| BMAM | Baixa-Mar de Águas-Mortas |
| BMAV | Baixa-Mar de Águas-Vivas |
| BMmin | Baixa-Mar mínima |
| CAC | Comissão para as Alterações Climáticas |
| CIGeoE | Centro de Informação Geoespacial do Exército |
| CNRI | Comissão Nacional de Gestão de Riscos de Inundações |
| COS | Carta de Ocupação do Solo |
| DGT | Direção Geral do Território |
| EI | Ecossistemas Intermareais |
| ENAAAC | Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas |
| ESA | <i>European Space Agency</i> |
| ETRS89/PT-TM06 | <i>European Terrestrial Reference System 1989</i> |
| FCUL | Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa |
| GPS RTK | <i>Global Positioning System Real Time Kinematic</i> |
| GTL | Grupo de Trabalho do Litoral |
| ICNF | Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas |
| IH | Instituto Hidrográfico |
| InSAR | Interferometric Synthetic Aperture Radar |
| IUCN | <i>International Union for Conservation of Nature</i> |
| IPCC | <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> |
| IPMA | Instituto Português do Mar e da Atmosfera |
| LiDAR | <i>Light Detection and Ranging</i> |
| MDE | Modelo Digital de Elevação |
| MDS | Modelo Digital de Superfície |
| MDT | Modelo Digital de Terreno |
| MM | Marés-Mortas |
| MV | Marés-Vivas |
| MTB | Modelo Topo-Batimétrico |
| NDWI | <i>Normalized Difference Water Index</i> |
| NIR | <i>Near Infrared</i> |
| NMM | Nível Médio do Mar |
| OMM | Organização Meteorológica Mundial |

| | |
|--------------|---|
| PM | Preia-mar |
| PMAM | Preia-Mar de Águas-Mortas |
| PMAV | Preia-Mar de Águas-Vivas |
| PMMed | Preia-Mar Média |
| POAP | Plano de Ordenamento de Áreas Protegidas |
| ROV | Remotely Operated Vehicle |
| SIAM | <i>Scenarios, Impacts and Adaptation Measures</i> |
| SIG | Sistemas de Informação Geográfica |
| SM | Sobrelevação Meteorológica |
| TIN | <i>Triangulated Irregular Network</i> |
| ZH | Zero Hidrográfico |
| ZPE | Zona de Proteção Especial |

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização do Problema

“A hidrodinâmica estuarina tem implicações significativas na dinâmica morfológica e sedimentar, qualidade da água, navegabilidade e inundação das margens. A subida do nível médio do mar, associada às alterações climáticas, assim como as tendências atuais e futuras de acreção, terão necessariamente consequências nesta hidrodinâmica que é conveniente antecipar.” (Guerreiro et al., 2012)

As alterações climáticas, segundo a Agência Europeia do Ambiente, são já uma realidade e é de esperar que estas prossigam e se tornem cada vez mais intensas e perigosas. O aquecimento global é, de acordo com o consenso alargado da comunidade científica, inquestionável e, desde os anos 60, têm vindo a ser observados valores de emissões de gases de efeito de estufa nunca verificados. Como consequência, as temperaturas estão a aumentar, os padrões da precipitação estão a mudar, os glaciares e a neve estão a derreter, os oceanos estão a aquecer e o nível médio das águas do mar está a subir. De facto, segundo o Quinto Relatório de Avaliação (AR5) do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), a temperatura da superfície da Terra poderá, ao longo do século XXI, aumentar entre 2.6 °C e 4.8 °C sendo que os oceanos estão a ficar mais quentes, particularmente a camada de água mais superficial. Esta variação de temperatura implicará que o nível dos oceanos venha a subir entre 52 e 82 cm. A nível continental, este relatório evidencia o aumento contínuo da temperatura na Europa com valores superiores a 1 °C para o período entre 2002 e 2011, acima da média entre 1850 e 1899. Já o NMM poderá variar entre 0.55 e 1.15 m entre 2081 e 2100 comparativamente a 1986-2005. Em Portugal, estudos recentes mostram que, ao longo do período de 1920-2000 o NMM em Cascais aumentou, a um ritmo de cerca de 1.9 mm/ano (Antunes, 2011) e (Antunes e Taborda, 2009) e, segundo Taborda e Ribeiro (2015) em média 1.6 mm/ano. Antunes (2019), refere uma taxa de 2.2 mm/ano entre 1992 e 2004 e uma taxa de 4.1 mm/ano entre 2005 e 2016.

O projeto "*Climate Change in Portugal - Scenarios, Impacts and Adaptation Measures*" (SIAM) (Santos e Forbes, 2002) desenvolvido em duas fases (tendo a última sido concluída em 2006) identificou, a nível nacional, as vulnerabilidades climáticas. A partir desse estudo, ficou claro que seria necessário proceder à avaliação destas vulnerabilidades à escala nacional e regional visando garantir a resiliência socioecológica dos territórios nos diferentes níveis de planeamento e gestão. Os Cadernos Técnicos do PROCIV de 2010 (Ribeiro, 2010), destacam que a subida do NMM, devido às condições meteorológicas, particularmente o aumento da temperatura, potencia a dimensão da sobrelevação das águas (*storm surge*) e o encurtamento do período de retorno das tempestades mais violentas. Além disso, será, principalmente, junto à foz que aumentarão as inundações, devido à elevação da água nos rios e nos estuários, o que dificulta a drenagem. Mais concretamente, as previsões deste relatório para o período de 1980-2100 indicam:

- aumento da erosão costeira natural;
- aumento do assoreamento nas zonas estuarinas e lagunares (com redução significativa dos materiais exportados para a costa e entrada de maiores volumes de areias transportadas em deriva litoral com eventual redução do trânsito sedimentar costeiro nalguns troços);

- aumento da perda de áreas de sapal (precisamente as zonas de terra onde a produtividade biológica é maior).

Os estuários, devido à sua localização, possuem características geológicas e hidrodinâmicas únicas tendo por isso um papel importante no ciclo de vida de um grande número de espécies a nível de fauna e flora. Além disso, estas zonas têm, geralmente, um grande potencial socioeconómico proveniente de atividades agrícolas e piscícolas. Todos estes fatores, juntamente com o facto de as zonas húmidas serem as mais afetadas, uma vez que se formam em zonas intermareais (Gornitz et al., 1991), tornam estes locais extremamente sensíveis e merecedores de grande atenção face à mais que provável subida do NMM. A Diretiva Europeia 2007/60/CE (Diretiva 2007/60/CE) define que as inundações podem provocar a perda de vidas e prejudicar gravemente o desenvolvimento económico de uma região, e exige para todos os estados-membros uma avaliação das potenciais consequências para a saúde humana, o ambiente, o património cultural e as atividades económicas. Contudo, devido à dinâmica e imprevisibilidade dos estuários, não existem métodos específicos de análise de vulnerabilidade destas áreas e dos seus EI.

1.2 Objetivos

Este estudo visa avaliar a vulnerabilidade dos EI e avifauna do Estuário do Tejo para diferentes cenários de subida do NMM. Para o efeito, propõe-se a criação de uma metodologia que permita determinar e cartografar a vulnerabilidade à subida do NMM das zonas estuarinas naturais e respetivos impactos ambientais. Para tal, são propostos três objetivos específicos:

1. obter um modelo topo-batimétrico rigoroso do Estuário do Tejo;
2. obter uma cartografia temática da vulnerabilidade à subida do NMM dos EI;
3. obter uma cartografia temática da vulnerabilidade à subida do NMM da Avifauna do Estuário do Tejo.

O modelo topo-batimétrico para o Estuário do Tejo será obtido pela combinação de um modelo digital do terreno e de um modelo batimétrico da área de estudo. A cartografia temática da vulnerabilidade à subida do NMM dos EI provirá da identificação dos diferentes EI (raso de maré, baixo sapal e alto sapal) seguida da implementação dos vários cenários de subida do NMM. No caso da cartografia temática da vulnerabilidade à subida do NMM da avifauna do Estuário do Tejo, esta será determinada confrontando a cartografia temática previamente obtida (cartografia temática da vulnerabilidade à subida do NMM dos EI) com as áreas conhecidas de distribuição da avifauna.

1.3 Motivação

Perante as previsões de subida do NMM apresentadas na subsecção 1.1 e, face ao impacto que o ritmo dessa subida terá nos EI e avifauna, existe a necessidade urgente de se efetuarem estudos que contribuam para uma melhoria do planeamento destes ambientes intermareais. De facto, sendo estes sistemas tão dependentes das marés é inegável que serão impactados por estas alterações, em geral, e pela subida do NMM em particular. Além disso, possuem uma grande importância socioeconómica devido às inúmeras atividades praticadas nestas áreas que servem, por exemplo, de sustento para vários agregados familiares. A biodiversidade destes ecossistemas vive num equilíbrio dinâmico com o meio onde se encontra inserido, quando se está perante uma fase de equilíbrio climático. A fauna distribui-se de acordo com a altitude e a salinidade do terreno e privilegiando a existência de alimento e espaços de refúgio. Contudo, todos estes fatores estão dependentes do nível do mar e a sua subida implicará uma diminuição ou adaptação das espécies que dele dependem, que por sua vez terá impacto nas atividades económicas praticadas pelo homem. Assim, e tendo em consideração tudo o que foi previamente mencionado, esta dissertação pretende contribuir com elementos necessários ao apoio na tomada de

decisões, por parte das entidades responsáveis pela salvaguarda dos EI como, para a adoção de medidas de adaptação. O planeamento de uma resposta ao crescente impacte das alterações climáticas e consequente aumento do NMM, minimizará possíveis danos e poderá reduzir o impacto na biodiversidade, em particular na avifauna do Estuário do Tejo.

1.4 Metodologia

A metodologia aplicada neste estudo pode ser dividida em duas fases subsequentes: i) a geração de um modelo topo-batimétrico e, ii) a classificação e quantificação dos EI.

1.4.1 Modelo Topo-Batimétrico

A criação do Modelo Topo-Batimétrico (MTB) comporta duas partes distintas: a elaboração do Modelo Digital do Terreno (MDT) e a criação de um modelo batimétrico do Estuário do Tejo. No caso do MDT os dados usados foram disponibilizados pela Direção Geral do Território (DGT) que realizou um levantamento aerofotogramétrico em 2014 e 2015 para a zona costeira de Portugal Continental, no âmbito de um projeto em parceria com a Agência Portuguesa do Ambiente (APA). Estes dados consistem em pontos cotados usados então num processo de interpolação espacial com a qual se produziu um MDT do Estuário do Tejo, com 4 m de resolução espacial.

O processo de obtenção da batimetria da área de estudo incluiu duas etapas e fontes de dados distintas. Neste caso, foram utilizados dados batimétricos, disponibilizados pelo Instituto Hidrográfico (IH), e dados obtidos por deteção remota, os quais foram processados juntamente com dados de maré para poderem constituir informação útil para a produção do modelo batimétrico. Os dados do IH não requerem qualquer tipo de processamento uma vez que já têm como referência vertical o NMM. No caso dos dados de deteção remota, usaram-se as imagens do satélite Sentinel-2, da área de estudo nas datas 21 de março, 5 e 15 de maio, 19 de junho, 29 de julho, 3 e 13 de agosto, 27 de setembro e 27 de outubro de 2018, para identificação da zona de raso de maré através do indicador *Normalized Difference Water Index* (NDWI). Seguidamente, de acordo com os dados e especificidades de maré, a interseção dos limites da maré identificadas nas imagens com as superfícies de maré permitiu a atribuição da elevação aos pontos dessa linha de transição e a identificação da área de emersão/imersão. A conjugação dos dois conjuntos de dados, batimetria até à altitude -2 m e os pontos cotados no raso de maré por deteção remota, seguida de uma interpolação com resolução espacial de 10 m permitiu criar então a batimetria total do Estuário do Tejo.

Por fim, procedeu-se à combinação dos modelos de terreno com altitudes acima dos 0 m e com valores batimétricos até aos 0 m, tal como se descreveu anteriormente, de modo a gerar o MTB, de elevada precisão, da área de estudo.

1.4.2 Classificação e Quantificação dos Ecossistemas Intermareais

À semelhança do processo anterior, esta etapa divide-se em duas fases: a classificação e, após aplicação dos cenários de inundação, a quantificação, da área geográfica, dos EI.

A classificação dos EI, mais concretamente, raso de maré, baixo sapal e alto sapal, foi efetuada com base na relação existente entre os limites destes ecossistemas e as elevações de maré quer de preia-mar quer de baixa-mar. A interseção do modelo topo-batimétrico com as distintas superfícies de maré dos vários limites, inferiores e superiores, vai produzir as superfícies do período de referência temporal dos três ecossistemas. O processo de classificação destas zonas será repetido para os diferentes cenários de subida do NMM existindo apenas alterações na determinação das superfícies de maré que passarão a ter em conta a subida, em elevação, dos limites dos ecossistemas.

A quantificação dos EI foi feita com recurso ao cálculo da área total de raso de maré, baixo sapal e alto sapal existente quer no período de referência quer nos vários cenários de subida do NMM. A análise das áreas totais permitiu, então, quantificar a evolução destes ecossistemas face à subida do NMM.

1.5 Contribuição Científica

A temática abordada nesta dissertação é de extrema importância para os decisores públicos e privados com responsabilidade na gestão e preservação dos territórios estuarinos do país. Como tal, o desenvolvimento de uma metodologia robusta e flexível, capaz de identificar e avaliar a vulnerabilidade de EI, assim como os produtos resultantes da implementação dessa metodologia, tais como a cartografia de vulnerabilidade à subida do NMM dos EI e da avifauna, são um instrumento fundamental para a gestão do território, e apoio à decisão de medidas de proteção e adaptação no Estuário do Tejo.

Da pesquisa realizada sobre os trabalhos desenvolvidos nesta temática e para zonas estuarinas, a metodologia e os resultados aqui apresentados mostram uma melhoria na avaliação da vulnerabilidade dos EI, utilizando um modelo híbrido, ou seja, conciliando um modelo de “banheira” (Williams e Lück-Vogel, 2020) com dados dinâmicos de maré. Mais concretamente, estes dados dinâmicos correspondem à superfície anómala da maré, neste caso os chamados valores de concordâncias da maré, e permitem adaptar o NMM do porto hidrográfico de Lisboa ao restante Estuário do Tejo. A incorporação de dados e modelos de maré mais rigorosos, quer na determinação da batimetria quer na delimitação do raso de maré, baixo sapal e alto sapal, permitirá obter então resultados mais precisos, comparáveis com modelos hidrodinâmicos de precisão.

1.6 Estrutura da Tese

A dissertação encontra-se estruturada em cinco capítulos: os dois primeiros relativos à introdução e revisão bibliográfica e os restantes sobre a proposta metodológica, a sua análise e as conclusões obtidas.

Na introdução foram identificados os objetivos e motivações na base desta dissertação enquanto na revisão bibliográfica estão presentes os conceitos teóricos necessários para a compreensão dos processos envolvidos neste estudo.

O terceiro capítulo, referente à metodologia e aos resultados, descreve o processo metodológico usado para a produção da cartografia de vulnerabilidade à subida do NMM dos EI no Estuário do Tejo. É feita uma descrição detalhada da área de estudo e são apresentados com algum detalhe os procedimentos implementados para a determinação da vulnerabilidade à subida do NMM em zonas estuarinas para os EI e, conseqüentemente, para a avifauna. Neste capítulo são também apresentados os resultados obtidos, nomeadamente, o MTB do Estuário do Tejo e a cartografia temática da vulnerabilidade à subida do NMM dos EI e da avifauna em zonas estuarinas.

No quarto capítulo é feita a discussão dos resultados obtidos através da metodologia descrita no capítulo 3, sendo esta baseada na análise da evolução da área dos EI face aos vários cenários de subida do NMM.

Por fim, no quinto capítulo, são apresentadas as conclusões desta dissertação, as principais limitações da metodologia adotada e algumas recomendações futuras.

Capítulo 2

ESTADO DO CONHECIMENTO ATUAL

2.1 Conceitos e Definições Teóricas

Sendo a problemática da subida do NMM um assunto complexo, com várias vertentes, conceitos e estudos envolvidos, este capítulo aborda somente os tópicos que estão diretamente relacionados com o objetivo principal desta dissertação, ou seja, a elaboração de uma metodologia para a determinação da vulnerabilidade dos EI e da avifauna face à subida do NMM.

Deste modo, este capítulo encontra-se dividido em duas partes distintas. A primeira é referente aos conceitos e definições teóricas presentes ao longo desta dissertação e a segunda parte contém a revisão bibliográfica da variação do NMM em Portugal e dos processos estuarinos com base em trabalhos publicados da especialidade. No subcapítulo da revisão bibliográfica abordam-se ainda os modelos atuais de análise do impacto da subida do NMM na hidrodinâmica estuarina e as estratégias, nacionais e internacionais, de adaptação e proteção de estuários e da sua biodiversidade.

2.1.1 Maré e Variação do Nível Médio do Mar

2.1.1.1 *Maré*

A maré astronómica (ou maré oceânica) pode ser representada matematicamente por uma série de funções harmónicas simples, que correspondem a ondas constituintes com periodicidade conhecida e exclusivamente dependentes de fatores astronómicos. Esta oscilação periódica do nível das águas do mar resulta da ação conjunta das forças de atração gravitacional da Lua e do Sol, sendo a influência da Lua consideravelmente superior dada a sua proximidade à Terra, e do efeito de rotação da Terra (IH, 2022; Pugh, 2004)

Os períodos principais da onda de maré dependem das fases da Lua definidas pelo alinhamento ou quadratura com o Sol, em relação à Terra. Nas fases de Lua Cheia ou Lua Nova, onde a Terra, o Sol e a Lua estão alinhados em oposição ou conjunção, ocorre o somatório de forças de atração gravitacional desses astros e a amplitude de marés atinge valores máximos, dando origem a Marés-Vivas (MV), ou Águas-Vivas (AV) (Rolim, 2014). Nas fases de Quarto Crescente ou Quarto Minguante da Lua dá-se o oposto, a diferença das forças de atração dos astros, já que estes, formando um ângulo reto (em oposição de fase ou em quadratura), originam a oposição das forças de atração desses astros e a amplitude da maré atinge valores mínimos, dando origem às Marés-Mortas (MM) ou Águas-Mortas (AM). Também o movimento de translação da Terra em torno do Sol causa uma variação na amplitude da maré, em fase de menor distância da Terra ao astro aumenta a amplitude da maré: no equinócio da Primavera perto de 21 de março e no de Outono perto de 22 de setembro, sendo as AV que ocorrem próximo dos equinócios denominadas de AV equinociais. As AV dos solstícios (verão e inverno), em que a Terra se encontra mais afastado do Sol, apresentam normalmente as menores amplitudes do ano (Antunes, 2012).

Podem ocorrer três tipos ou regimes de marés, marés diurnas, semidiurnas ou marés mistas. Se no mesmo dia ocorrem duas marés-altas (preia-mar) e duas marés-baixas (baixa-mar) de valores aproximadamente iguais, então a maré é designada de semidiurna, como se verifica em todo o território de Portugal. As marés diurnas apresentam apenas uma onda por dia, ou seja, apenas uma preia-mar (PM) e uma baixa-mar (BM). Já as marés do tipo misto podem alternar entre períodos com uma e duas ondas por dia. Dada a variação da posição dos astros ao longo de um mês, ocupando posições de alinhamento

e de quadratura consoante as fases da Lua, as marés apresentam variações de amplitude, ocorrendo normalmente duas fases AV e duas fases AM. As marés podem também ser classificada quanto à sua altura de onda [*ibid*]: tipo microtidal (< 2 m), mesotidal (2 – 4 m) e macrotidal (> 4 m).

A observação de maré é tradicionalmente feita por marégrafos de poço com recurso a diferentes tecnologias de medição (mecânico, pressão hidrostática, acústico ou radar), que registam o nível da superfície instantânea do mar em relação a uma marca de referência. Esta observação de nível do mar pode ser registada e convertida na forma de elevação da maré (variação do nível do mar em relação ao NMM) ou na forma de altura de maré (variação em relação ao zero hidrográfico – ZH, referencial vertical usado em Hidrografia). A altura de maré será dada pela soma da elevação de maré (relativa ao NMM) com o valor de ZH local (Antunes, 2012). Deste modo, tem-se a grandeza de elevação de maré a oscilar em torno do NMM, a menos de efeitos de subida do NMM e de efeitos de sobrelevação meteorológica, assumindo valores positivos (PM) e valores negativos (BM). Já a grandeza de altura de maré é sempre positiva, exceto em situações extremas de forçamento meteorológico negativo ou outro (vagas, seichas, tsunamis) que cause um abaixamento significativo da maré abaixo do ZH [*ibid*].

As tabelas de maré são calculadas a partir de modelos harmónicos de previsão para cada marégrafo, podendo obter-se níveis médios e extremos, de PM e BM, em AV e AM, de forma a caracterizar as amplitudes anuais de oscilação da maré respetiva. A Figura 2-1 mostra o modelo de maré astronómica anual para Lisboa para 2021. De realçar que estes valores não contemplam a componente de forçamento meteorológica da maré (sobrelevações meteorológicas), referem-se apenas a valores da maré astronómica. Com o objetivo de caracterizar a dinâmica da maré do Estuário do Tejo foram utilizadas concordâncias de maré. As concordâncias de maré são parâmetros de desfaseamento da onda de maré entre dois portos que apresentam o mesmo regime de maré, habitualmente entre um porto principal e um porto secundário existente nas imediações (IH, 2022). Estes parâmetros são usados e aplicados para a determinação das tabelas de maré nos portos secundários, ou em qualquer outro ponto onde não foi observado um ano completo de registo de maré, a partir das tabelas de maré do porto principal.

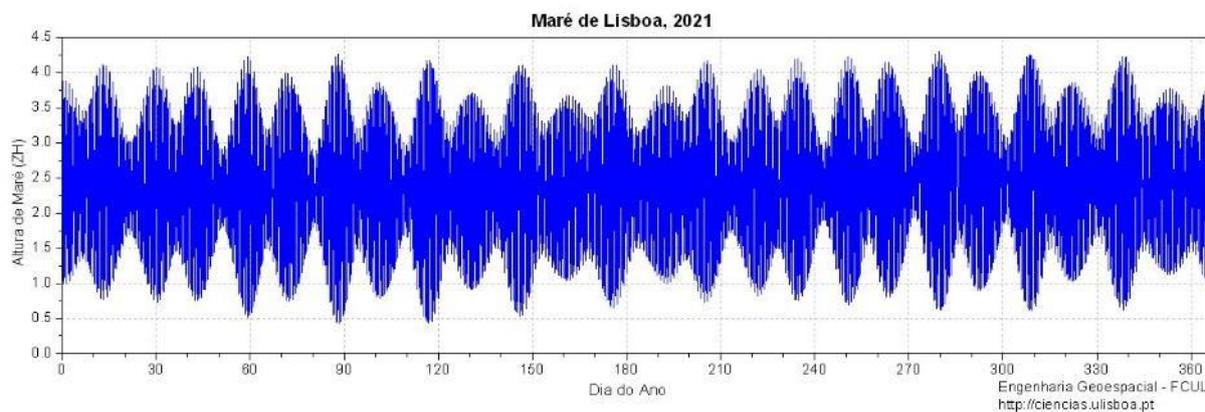


Figura 2-1 - Maré Anual de Lisboa para 2021. [Extraído de Antunes (2007)]

Sendo a maré um movimento oscilatório de elevado período das massas hídricas existentes à superfície da Terra, o estudo dos efeitos hidrodinâmicos resultantes da onda de maré num estuário podem ser representados recorrendo a teorias de ondas largas (Duarte e Vieira, 1997). Num estuário, a propagação da maré define-se como a distância que uma partícula fluida percorre ao longo do eixo principal do estuário no intervalo de tempo entre a PM e a BM (ou vice-versa). Durante a sua progressão no estuário, a amplitude da onda incidente é influenciada pela geometria da mesma, de tal modo que essa amplitude tenderá a [*ibid*]:

- aumentar, quando o estuário é convergente;

- diminuir, quando a extensão do estuário é inferior à do comprimento da onda da maré, face à reflexão continua das ondas nas margens;
- diminuir, em águas pouco profundas, face à dissipação de energia, por atrito, na fronteira sólida.

As duas forças essenciais em ação nos estuários são a força da corrente fluvial e a força das marés. A importância da corrente fluvial depende do seu próprio valor de escoamento fluvial, velocidade e concentração de carga associada (Rosa, 2010). A corrente fluvial é contrariada pela força da maré enchente sendo amortecida ao chegar ao estuário, por diminuição do declive e pela resistência oferecida pela maré, até ser nula. A maré entra ao longo do canal fluvial até distâncias variáveis, dependendo do caudal do rio e da amplitude da maré. À medida que a maré vai avançando ao longo do rio, a sua amplitude vai-se reduzindo, até desaparecer completamente. Na PM o nível do mar é mais elevado que o nível da água no rio provocando a penetração da água do mar ao longo do estuário, ou enchente. Por outro lado, na BM, o nível da água é bastante mais alto no rio que no mar, porque a água do rio se juntou a água marinha que nele penetrou durante a enchente [*ibid*].

2.1.1.2 Sobrelevação Meteorológica

A variação do nível do mar em relação à oscilação periódica previsível da maré astronómica é designada por Sobrelevação Meteorológica (*storm surge*) (SM) e corresponde a um forçamento atmosférico associado à passagem de temporais e tempestades caracterizadas por uma depressão atmosférica e ventos fortes e prolongados (Antunes, 2014). A SM pode tomar valores positivos ou negativos e variar de local para local ao longo do tempo, sendo a sua determinação, ou estimativa, efetuada através da análise harmónica dos registos horários de marés disponíveis. Mais concretamente, esta grandeza é calculada através da diferença entre a maré observada e a maré astronómica. Segundo Vieira et al. (2012), quando a Preia-Mar de Águas-Vivas (PMAV) coincide com um episódio de SM positiva podem ocorrer episódios extremos de galgamento e inundação das zonas costeiras. Este fenómeno está associado a sistemas depressionários e ciclónicos e, é tanto mais significativa quanto mais cavada for a depressão geradora de empolamento da superfície do mar ou o campo de ventos associados gerar um *setup* do nível do mar em direção à costa, devido à sua direção e intensidade.

2.1.2 Agitação Marítima

A agitação marítima junto à costa depende do estado do mar ao largo, da batimetria e da geometria dos fundos dentro da zona de propagação (Freire, 1999). Segundo Coelho (2005), ondas, vagas, seichas e tsunamis são diferentes tipos de agitação marítima. Devido à morfologia dos estuários, não é possível a entrada de ondas oceânicas para a zona interior através do canal de embocadura (Freire, 1999), devido à dissipação da sua energia. Pelo que o tipo de agitação verificado no interior destes sistemas é provocado pelo vento gerado localmente. Coelho (2005) refere a importância do regime de ventos quando se procede a uma análise do clima de agitação, pois é por ação deste agente, pelo efeito do atrito do vento sobre a superfície da água (oceano ou estuário), que se formam ondas na superfície da água, geradas ao largo ou localmente.

2.1.3 Estuários Fluviais

O conceito de estuário fluvial tem sido, ao longo os anos, um problema para a comunidade científica dado ter sido abordado por numerosos autores, variando os conceitos que estão subjacentes às respetivas definições. Cameron e Pritchard (1963) propuseram a seguinte definição de estuários, de grande generalidade, e que é frequentemente adotada:

“Estuários são corpos de água costeiros semifechados que têm uma ligação livre com o mar e nos quais a água do mar se dilui, de forma mensurável, com água doce proveniente da drenagem terrestre.”

Posteriormente, Pritchard (1971) clarificou a definição de estuário fluvial face à sua complexidade. Assim, passou a conjugar a geomorfologia e características físico-químicas de água estando esta definição assente em três aspetos fundamentais (Duarte e Vieira, 1997):

- o estuário é uma massa de água costeira semifechada;
- o estuário tem um contacto direto e permanente com o mar, verificando-se uma diluição mensurável da água salgada, que provoca um gradiente de densidade característico da circulação de água em estuários;
- o estuário está sujeito à ação de maré, que determina oscilações no volume de massa hídrica estuarina e nos respetivos teores de salinidade.

Contudo, esta definição não implica a existência de uma característica crucial dos sistemas normalmente considerados estuarinos - a presença de um rio afluente (Silva, 2000). Assim, uma definição alternativa, que colmata as deficiências notadas na definição clássica de Cameron e Pritchard (1963), é a proposta por Fairbridge (1980):

“Um estuário é uma reentrância de mar num vale fluvial, estendendo-se até ao limite da propagação da maré dinâmica, e divisível em três (Figura 2-2): a) o baixo estuário, ou zona marítima, com ligação aberta com o mar; b) o estuário médio, onde ocorre mistura intensa de água doce e salgada; e c) o estuário superior, com água doce, mas sujeito à influência da dinâmica de maré.”

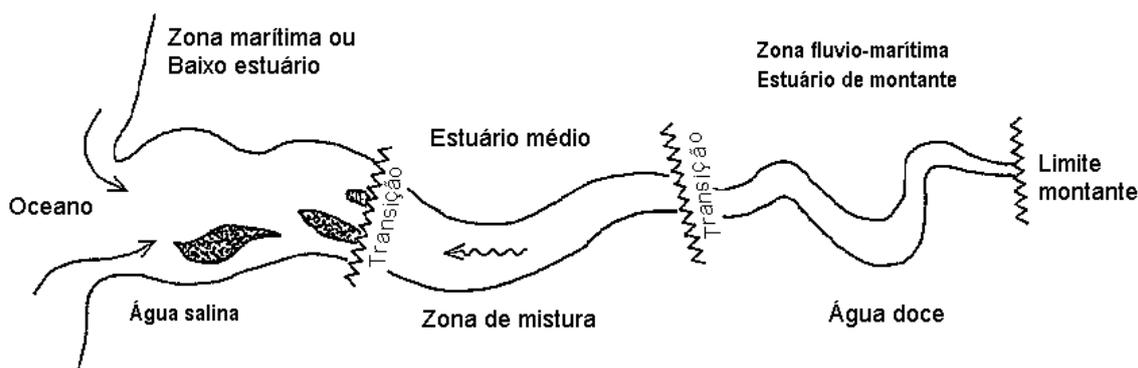


Figura 2-2 - Representação Esquemática de um Estuário e dos seus Setores [Extraído de Silva (2000)]

Mais recentemente, segundo Savenije et al. (2008), um estuário é a transição entre dois corpos de água, um rio e o mar, apresentando características que são típicas destes dois ambientes, tornando-os sistemas de grande importância económica e ambiental.

A sua localização entre rio e mar, faz com que estes sistemas tenham características hidrodinâmicas, biológicas e morfológicas distintas de outro corpo de água. Todos os estuários apresentam acumulações de sedimentos, transporte de sedimentos, inundações ocasionais, presença de água doce na zona montante e água salgada na zona mais a jusante e são influenciados pela maré [ibid].

Quanto à sua classificação, diversos autores têm proposto diferentes classificações de estuários com base em critérios morfológicos, de salinidade e hidrodinâmicos. Na figura seguinte é possível identificar e analisar os vários tipos de estuário para cada critério.

| Critério | Tipos | | Características distintivas |
|--|---------------------|---|--|
| Morfologia (adaptado de Pritchard, 1967 e Fairbridge, 1980) | Alto relevo | Fiorde | Estuários de seção em U, em geral originados por glaciares, caracterizados por grandes profundidades e estratificação. |
| | Relevo médio | Rias ou de Vale inundado | Estuários com seção em V em que a parte terminal do vale tem uma cota abaixo do nível do mar. |
| | Baixo relevo | Planície costeira | De configuração em funil, com ou sem barra na ligação com o mar. |
| | | De restinga ou <i>Bar built</i> | Estuários gerados quando uma cadeia de ilhas-barreira delimita uma zona de costa onde deságuam cursos de água doce, com restinga paralela à costa. |
| | | Cego | Com ligação ao mar temporária. |
| | Delta estuarial | | Com braços efêmeros fora do canal principal. |
| Composto | De origem tectônica | Originados por movimentos tectônicos como falhas ou subsidência local. Com canal de ligação ao mar e estuário de planície costeira no interior. | |

| Critério | Tipos | Características distintivas |
|---------------------------------|-----------|--|
| Salinidade (Pritchard, 1967) | Positivos | Onde o escoamento superficial e a precipitação excedem a evaporação, sendo a salinidade inferior à da água do mar. |
| | Inversos | Quando a evaporação excede a precipitação e o escoamento superficial de água doce, tornando-se hipersalinos. |
| | Neutros | Quando há equilíbrio entre as afluições de água doce e a evaporação. |

| Critério | Tipos | Características distintivas |
|---|--|---|
| Padrões de circulação (adaptado de Hansen and Rattray, 1966 e de Bowden, 1980) | Estratificados com cunha salina | Quando há halocline separando a camada superficial de água doce da profunda de água salgada; ocorre quando a razão entre o caudal de água doce afluyente e o prisma de maré é grande e a razão entre a largura e a profundidade é pequena. $R_T / P > 1$ |
| | Semi-estratificado ou parcialmente estratificado | Quando se observa um gradiente crescente de salinidade na vertical e para jusante. A distribuição de salinidade é governada cinematicamente pela advecção horizontal e vertical e pelo fluxo vertical não advectivo. $R_T / P \approx 0.25$ |
| | Bem misturado ou verticalmente homogêneo | Quando o gradiente de salinidade é apenas longitudinal; ocorre quando há maré muito intensa. $R_T / P < 0.1$ |

Figura 2-3 - Critérios de Classificação de um Estuário [Adaptado de Silva (2000)]

Para a Humanidade, os estuários sempre foram de extrema importância, principalmente, como fonte de alimento e transporte. Muitas das grandes cidades portuárias desenvolveram-se em zonas estuarinas por serem áreas protegidas das tempestades do mar, propícias para as atividades piscatórias, de lazer ou desportos náuticos, e por isso privilegiadas para a fixação de populações (Duarte e Vieira, 1997). Além disso, as zonas correspondentes ao leito de cheia apresentam um grande potencial para a agricultura, porque conjugado com a topografia plana, os solos são férteis e com uma fonte permanente de água doce. Por estas razões, as zonas costeiras mais populosas são as zonas próximas dos estuários, normalmente zonas portuárias, o que aumenta a fragilidade destes sistemas, de natural vulnerabilidade a alterações climáticas. Os principais fatores forçadores nos estuários são (Savenije et al., 2008):

- a maré;
- as ondas, que no interior do estuário dependem das condições meteorológicas;
- a descarga hidrológica dos rios que fornece sedimentos e água doce ao estuário;
- o transporte de sedimento ao longo da costa que pode ser o responsável pela criação de barras e restingas;

- diferença de densidades da água doce e salgada, responsável pela criação de uma corrente de fundo que transporta sedimentos de origem marinha para o interior do estuário.

Os estuários aluviais, onde se insere a região em estudo, são estuários que têm fundos dinâmicos, compostos por sedimentos de origem marinha e fluvial, nos quais existe uma quantidade mensurável de água doce a entrar no sistema. A hidrodinâmica do estuário pode resultar na erosão dos fundos, tornando o estuário mais fundo e mais largo, ou na deposição de sedimentos tornando-o mais raso e mais estreito. Logo, a forma do estuário está diretamente relacionada com a hidrodinâmica presente [*ibid*].

Segundo Taborda e Ribeiro (2015), o principal impacto da subida do NMM será a erosão e inundação das áreas pouco profundas (águas rasas), como estuários e lagunas costeiras, mas também o desenvolvimento de uma tendência para movimentos verticais da bacia hidrográfica nestas áreas, devido à carga superficial causada pelo elevado depósito sedimentar.

2.1.4 Sistemas de Referência Verticais

2.1.4.1 Datum Altimétrico de Cascais

O sistema altimétrico em Portugal continental é definido a partir de uma marca de referência, o Datum Altimétrico de Cascais de 1938, cuja altitude ortométrica foi determinada a partir da média dos registos horários do nível do antigo marégrafo de Cascais, do período entre 1882 e 1938 (DGT, 2022). Deste sistema extraiu-se o zero altimétrico de Portugal continental que corresponde ao NMM de Cascais do período de referência e designado de NMM1938 (ou NMM Cascais1938). Os registos e observações do nível do mar são referidos a uma marca de referência localizada junto ao marégrafo que serve de ponto de partida para o nivelamento geométrico estendido a toda a rede nacional de nivelamento geodésico de alta precisão e que estabelece o sistema nacional de altitudes ortométricas (Antunes, 2012). Esta marca de referência, que materializa o datum altimétrico nacional, encontra-se a uma altitude de 4.31 m em relação ao NMM de Cascais de 1938, ou seja, o NMM1938 está localizado 4.31 m abaixo desta marca de referência [*ibid*].

Um sistema de referência altimétrico pode ser definido relacionando a altitude de um qualquer ponto à superfície terrestre com a superfície de referência, medida ao longo da vertical de lugar entre a superfície de referência e o ponto à superfície topográfica [*ibid*]. O sistema nacional de referência vertical é então definido por um conjunto de altitudes ortométricas estendido a todo território nacional continental através da rede de linhas de nivelamento geométrico e da rede geodésica nacional.

2.1.4.2 Zero Hidrográfico

O ZH corresponde à superfície de referência em relação à qual são referidas as sondas hidrográficas e as linhas isobatimétricas das cartas náuticas, bem como as previsões de maré que são publicadas nas Tabelas de Marés do Instituto Hidrográfico. Em Portugal vigora a definição de ZH dada pela mais baixa das BM registadas, no mínimo, por período nodal (18.6 anos), acrescida do chamado “pé de piloto” (aproximadamente 30 cm). Ao longo da costa de Portugal Continental os ZHs em vigor são de 2.0 m abaixo do NMM1938, com a exceção dos portos hidrográficos de Cascais e Lisboa (e todo o Estuário do Tejo) de 2.08 m, e dos arquipélagos da Madeira e dos Açores, com 1.40 e 1.0 m, respetivamente.

De modo a compatibilizar profundidades ou alturas de maré com a informação altimétrica da cartografia terrestre, os valores de maré têm de ser reduzidos do ZH do respetivo porto de referência. Dado que este valor depende da amplitude de maré de cada porto hidrográfico, o ZH varia de região para região. Segundo Costa (2017) para o caso do Estuário do Tejo, existe um fator a considerar importante, o efeito e propagação da onda de maré ao longo do estuário. A onda de maré ao entrar no estuário perde velocidade e aumenta a sua amplitude, devido à conservação de energia ao longo da propagação da onda (Antunes, 2012). Segundo Antunes (2019), devido ao efeito da subida do NMM, o valor de ZH em

Lisboa situa-se, nos 2.32 m e, em Cascais, nos 2.23 m abaixo do datum vertical dado pelo NMM Cascais1938. Contudo, todos os cálculos nesta dissertação consideram os valores de ZH adotado, de 2.08 m abaixo do NMM Cascais1938.

2.1.5 Modelo Digital de Elevação

Os Modelos Digitais de Elevação (MDE), quando aplicados à produção cartográfica, descrevem o relevo da superfície terrestre. Consistem em funções contínuas, embora com representação discreta, em que a cada ponto de coordenadas planimétricas (X, Y), é associado um e um só valor da altitude correspondente. A sua computação é em geral bastante complexa e a sua concordância com o terreno real depende da qualidade e densidade da amostra de pontos cotados utilizada na sua derivação. Na literatura, coexistem vários MDEs com especificidades próprias sendo importante realçar os MDTs e os Modelos Digitais de Superfície (MDSs) - Figura 2-4. Um MDT representa a fronteira entre o limite inferior da atmosfera e a litosfera, ou seja, o relevo ao nível da superfície física do terreno enquanto um MDS representa o limite inferior da atmosfera, incluindo a litosfera, hidrosfera, criosfera, biosfera ou antroposfera (Guth et al., 2021).

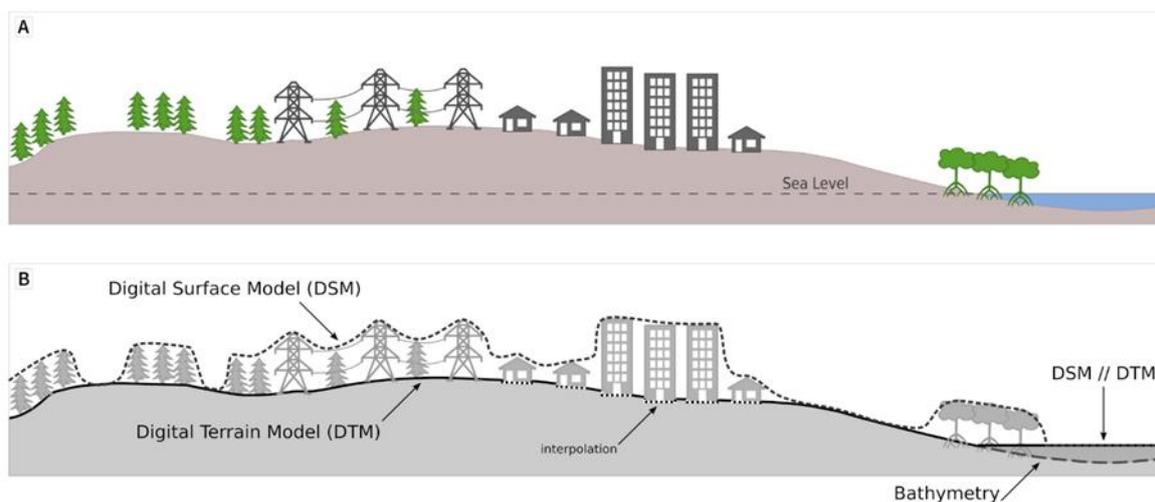


Figura 2-4 - A) - A representação do terreno através de B) um MDS e um MDT. [Adaptado de Guth et al. (2021)]

A estereofotogrametria, a correspondência automática de imagens (processamento digital de imagem), o Laser-scanning (LiDAR – *Light Detection and Ranging*) ou a Interferometria radar de abertura sintética (InSAR) constituem os diversos métodos para a recolha da amostra primária de pontos cotados necessários à elaboração de MDEs.

A representação do relevo pode ser descrita de diversas formas, tais como (e.g. Redweik, 2021):

- por curvas de nível, linhas de cota constante e orientação variável no plano (XOY);
- por perfis, linhas de orientação constante no plano (XOY) e com cota variável;
- por conjuntos de pontos cotados de distribuição regular ou irregular no plano (XOY);
- por uma superfície continua multifacetada composta por planos adjacentes (triângulos) de orientação espacial variável ou por um conjunto de superfícies de curvatura variável limitadas por figuras geométricas regulares no plano (XOY).

Segundo Rocha (2016), em todas as formas de construção de MDE existe continuidade da altitude conhecida num dado conjunto de pontos, para outros quaisquer pontos da região a integrar no modelo, realizada através de métodos de interpolação. O modelo TIN (*Triangulated Irregular Network*) e o formato GRID destacam-se como forma de estruturação dos dados nas metodologias de realização de MDE.

No caso de um modelo TIN, a sua construção baseia-se na triangulação de uma amostra de pontos cotados, amostra primária, que pode ser obtida diretamente de medições ou indiretamente de curvas de nível ou de perfis restituídos. A partir da amostra primária, é gerada uma rede de triângulos, sendo os seus vértices os pontos cotados, de acordo com determinados critérios para uma melhor adaptação à distribuição local e geral dos pontos da amostra. O método mais utilizado é a triangulação de *Delaunay* (Delaunay, 1934) onde os triângulos são definidos de tal modo que o círculo que passa pelos três vértices de qualquer um dos triângulos não contém nenhum outro ponto da amostra no seu interior [ibid]. Por fim, geram-se superfícies planas limitadas por cada um dos triângulos sendo a cota (ou altitude) de cada ponto (X, Y) determinada por interpolação no plano inclinado (triângulo) onde o ponto se encontra - Figura 2-5.

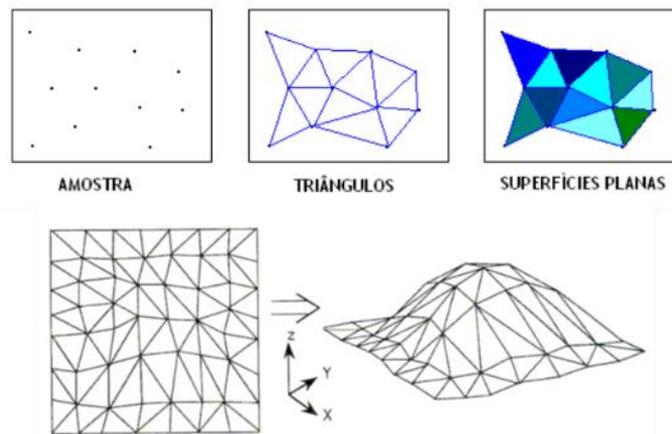


Figura 2-5 - Procedimento para a Geração de um Modelo TIN [Adaptado de Redweik (2021)]

Segundo Redweik (2021), a superfície TIN é por si mesma um MDT, mas também é um suporte habitual para a construção de modelos com outro tipo de estrutura de dados, como por exemplo os modelos matriciais, ou mais genericamente designados, modelos em grelha (GRID). Isto porque, para gerar um modelo GRID, a distribuição espacial da amostra primária de pontos influencia os procedimentos de elaboração da GRID. No caso de esta ser irregular, o primeiro passo corresponde à elaboração de um TIN a partir do qual se interpolam as cotas de pontos regularmente espaçados, denominados amostra secundária, com o qual se elabora a GRID. Se a mostra primária for regular pode ser utilizada diretamente para a produção do modelo GRID. Este modelo pode ser composto por células de cota constante, ou seja, regulares ou por uma malha, também regular, onde os nodos correspondem aos pontos da amostra com as respectivas cotas. A determinação da cota de qualquer ponto de coordenadas (X, Y) difere de acordo com o modelo. No primeiro caso, corresponde à cota da célula correspondente enquanto no segundo é efetuada uma interpolação na superfície curva que melhor se adapta às cotas dos nodos da malha onde o ponto se encontra inserido e, por vezes, de malhas vizinhas [ibid] - Figura 2-6.

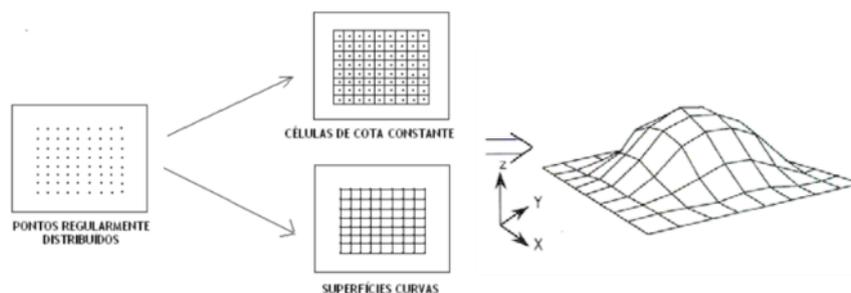


Figura 2-6 - Procedimento para a Geração de um Modelo Grid [Adaptado de Redweik (2021)]

O modelo TIN tem a vantagem de se adaptar muito facilmente a qualquer tipo de amostra primária, tendo, no entanto, a desvantagem de apresentar uma estrutura muito complexa. Em contrapartida, o modelo GRID apresenta uma estrutura muito simples, mas adapta-se dificilmente a qualquer tipo de amostra primária, obrigando à derivação de uma amostra secundária a partir de um TIN [ibib].

2.1.6 Batimetria

A batimetria, modelo numérico da superfície do fundo do mares, oceanos, rios, lagos e lagoas, é a base da hidrografia e é fundamental para a caracterização física de uma massa de água. Originalmente, o termo “batimetria” refere-se à profundidade dos oceanos em relação ao nível médio do mar, embora possa significar “topografia submarina” e formas do terreno subaquático (e.g. NOAA, 2022a). Da mesma forma que os mapas topográficos representam as características tridimensionais (ou relevo) do terreno terrestre, os mapas batimétricos ilustram a superfície que se encontra submersa. As variações no relevo do fundo do mar podem ser representadas por cores e linhas de contorno chamadas contornos de profundidade ou isóbatas (também referidas como isobatimétricas). Desde meados do século XIX que as montanhas, desfiladeiros e fossas oceânicas têm sido mapeadas com diferentes graus de precisão. Atualmente, a profundidade pode ser medida com escalas a variar entre os quilómetros e os centímetros utilizando distintas técnicas de aquisição de dados (Dierssen e Theberge, 2016). Dentro destas técnicas destacam-se sistemas sondadores de feixe simples, sistemas sondadores de multifeixe, sistemas sondadores multi-transdutores, sonar lateral, ROV (*Remote Operated Vehicle*) e o LiDAR Hidrográfico. A informação relativa a cada método de aquisição de dados batimétricos pode ser consultada no site do IH na aba Infoteca¹.

2.1.7 Normalized Difference Water Index

O NDWI é um índice de deteção remota que permite distinguir, numa imagem, entre pixéis de água e pixéis de qualquer outra classe. Para isso, este algoritmo tira partido da elevada refletância da banda verde (Green) do espetro do visível e da baixa refletância da banda de infravermelhos próximos (NIR) pela água, e a elevada refletância do NIR pelo solo seco e vegetação terrestre (Bishop-Taylor et al., 2019):

$$NDWI = \frac{(Green - NIR)}{(Green + NIR)} \quad (2.1)$$

De acordo com Xu (2006), citando McFeeters (1996), este índice foi elaborado para:

- Maximizar o valor de refletância da água utilizando comprimentos de onda correspondentes à banda verde do espetro do visível;
- Minimizar o valor de refletância da água recorrendo às características das bandas de infravermelhos próximos (NIR);
- Aproveitar a elevada refletância do solo e da vegetação para comprimentos de onda da banda NIR.

No caso do processamento de imagens multispectrais, a aplicação da equação 2.1 devolve valores positivos para pixéis correspondentes a água e valores negativos ou 0 para pixéis de solo ou vegetação. Embora simples na aplicação, a utilização da banda NIR, em conjunto com uma banda visível (Green), foi demonstrando ser particularmente eficaz para lidar com a variabilidade ambiental característica da zona intermareal (Sagar et al., 2017).

¹ Infoteca do Instituto Hidrográfico – Disponível em <https://www.hidrografico.pt/infoteca/1/1>

2.1.8 Ecossistemas Intermareais

Nesta dissertação, serão alvo de estudo dois tipos de EI distintos: raso de maré e sapal, sendo que este último será dividido em baixo e alto sapal. O raso de maré e os sapais correspondem a ambientes de transição entre o domínio marinho e o domínio terrestre e ocupam áreas intermareais (significa entremarés, também referido de intertidais por tradução direta do inglês *intertidal*). Ambos são compostos por superfícies aplanadas, cortadas por um sistema de canais que funcionam como rede de drenagem e como via de alimentação sedimentar, e apresentam um ligeiro pendor das suas superfícies para o limite marinho (Silva, 2013). Para distinguir estes ecossistemas é necessário analisar a granulometria dos sedimentos, as cotas a que se encontram e a vegetação que os coloniza (Inácio, 2017). Na Figura 2-7 encontra-se uma representação destes ecossistemas que permite identificar as características próprias de cada um. A seleção destes ambientes prende-se com a sua elevada importância ecológica uma vez que:

- São ambientes altamente produtivos funcionando como locais de alimentação, refúgio e nidificação para a avifauna;
- São áreas de acumulação sedimentar contínua podendo os seus registos sedimentares ser utilizados para analisar a evolução da zona costeira, reconhecer alterações climáticas importantes e identificar alterações do NMM (e.g. Silva, 2013);
- São barreiras naturais de proteção das margens geradas pela vegetação que dissipa a energia das ondas e das marés;
- São sumidouros de carbono, pois capturam e sequestram o carbono da atmosfera preservando-o num ambiente húmido e anaeróbio em que a decomposição da matéria orgânica é muito mais lenta. Nestas condições, o carbono presente na matéria vegetal permanece intacto, em vez de ser decomposto por micróbios e libertado de volta para a atmosfera. O carbono sequestrado nestes sistemas é por isso chamado de carbono azul (NOAA, 2022b).

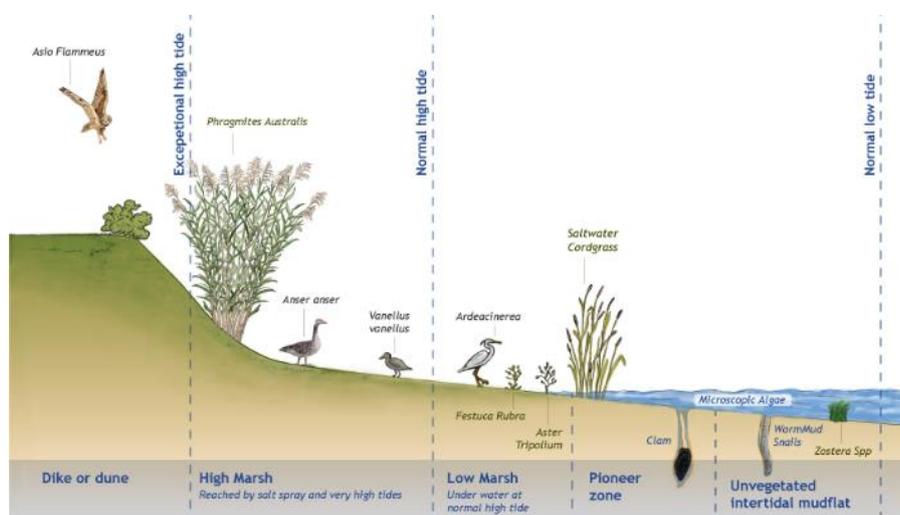


Figura 2-7 - Segmentação da Zona Intermareal (Extraído de: <https://www.ecoshape.org/en/concepts/growing-salt-marshes/hydrosphere-salt-marshes/> a 16/09/2022)

2.1.8.1 Raso de Maré

Rasos de maré são ambientes intermareais (expostos em fase de BM) não vegetados e que podem ser descritos como ambientes sedimentares de acumulação. Localizam-se em margens de baías, estuários, lagunas, barreiras e deltas, em locais de fraca corrente, podendo também ser encontrados em litoral oceânico quando estes estão associados a baixa energia e expostos a uma fraca energia das ondas, formando terraços de BM (Inácio, 2017). São superfícies rasas, quase planas, com um baixo gradiente altimétrico e têm como principal fator forçador a maré, ainda que a ondulação possa ter importância em

certas situações. Efetivamente, a subida e descida do plano de água por efeito da variação da maré faz com que uma massa de água seja forçada a entrar no estuário durante a enchente e a sair durante a vazante, formando correntes que podem ir desde alguns centímetros até um metro por segundo (Davis e Dalrymple, 2012). A extensão destas superfícies depende da amplitude de maré, da morfologia do local e da disponibilidade sedimentar. Quanto maior for a amplitude de maré, maior deverá ser a extensão do raso de maré, atingindo o seu máximo em condições macrotidais. Por outro lado, um gradiente baixo poderá também significar uma maior extensão, sendo esta relação direta válida também para a disponibilidade sedimentar, que está associada a uma extensão maior para uma disponibilidade maior de sedimento. As fontes sedimentares podem ser fluviais, marinhas, erosão de arribas ou ressuspensão de sedimentos do próprio sistema. O raso de maré sofre acreção vertical até à cota do Preia-Mar de Águas-Mortas (PMAM) média local, a uma altitude acima do NMM e a partir da qual tende a ser colonizado por vegetação, formando assim áreas de sapal (Allen, 2000). A superfície que compõe um raso de maré encontra-se cortada por uma série de canais meandriformes, cuja distribuição se assemelha à de uma rede fluvial, com a particularidade do movimento de água no canal ocorrer nos dois sentidos: para terra durante a enchente, para o mar durante a vazante.

2.1.8.2 *Sapal*

Os sapais podem ser definidos como zonas intermareais de sedimentos finos transportados por água e estabilizados por vegetação tolerante à salinidade da água dos ambientes em que se inserem. Fazem parte de sistemas estuarinos, costeiros e por vezes lagunares sendo típicos das latitudes médias. Os sapais estendem-se desde as zonas polares até às zonas subtropicais, onde são substituídos por mangais (entre 30° N e 30° S) que, apesar de apresentarem vegetação diferente, são ecossistemas semelhantes na sua complexidade (Chmura, 2009). Os mangais são então definidos como zonas intermareais tropicais de sedimentos finos constituídos maioritariamente por árvores. Apesar dos tipos vegetais que dominam os sapais serem diferentes dos que caracterizam os mangais, estas duas formações apresentam características ecológicas muito semelhantes. Em ambos os casos, os estádios pioneiros são constituídos por espécies halófitas que facilitam o processo de deposição de sedimentos: as suas raízes e caules obstruem as correntes e criam condições para a deposição de sedimentos finos nestas zonas abrigadas. O solo assim formado torna-se favorável à colonização por outras espécies halófitas (Biorede, 2022).

Para a sua formação e manutenção, os sapais dependem dos processos e inputs destes sistemas maiores onde estão inseridos (Gonçalves, 2016). O sapal está entre as zonas mais produtivas da biosfera, no que respeita à produção de matéria viva ou biomassa. Os nutrientes chegam a ele naturalmente, levados pelo movimento constante de fluxo e refluxo das marés, pelos sedimentos provenientes da zona continental, pelos seres vivos que nele se fixam e, morrendo, ali se decompõem. São constituídos normalmente por substrato vasoso (silte e argila) que se encontra colonizado por plantas halófitas tolerantes a valores de salinidade típicos de água salobra, salgada e hipersalina – o substrato que compõe este ambiente é um indicador da sua afinidade com os rasos de maré vasosos (Allen, 2000). Segundo Inácio (2017), a superfície de um sapal tende a ser plana, quase horizontal e encontra-se cortada por uma série de canais que, tipicamente, são herdados do raso de maré. Nestes ambientes, podem considerar-se duas zonas separadas alto sapal e baixo sapal – Figura 2-8. A vegetação e os limites de maré local estão relacionados, pois a presença de determinadas espécies de flora é condicionada pelo tempo de submersão que o nível de maré pode proporcionar. Assim, para cotas no terreno inferiores à cota de PMAM, o tempo de submersão é demasiado elevado para permitir a manutenção de vegetação, sendo este o limite superior do raso de maré. Os níveis de maré compatíveis com vegetação característica de baixo sapal são a PMAM (inferior) e a PM Média (PMMed) (superior). Por fim, a vegetação característica de alto sapal tem como limite inferior a PMMed e como limite superior a PM máxima.

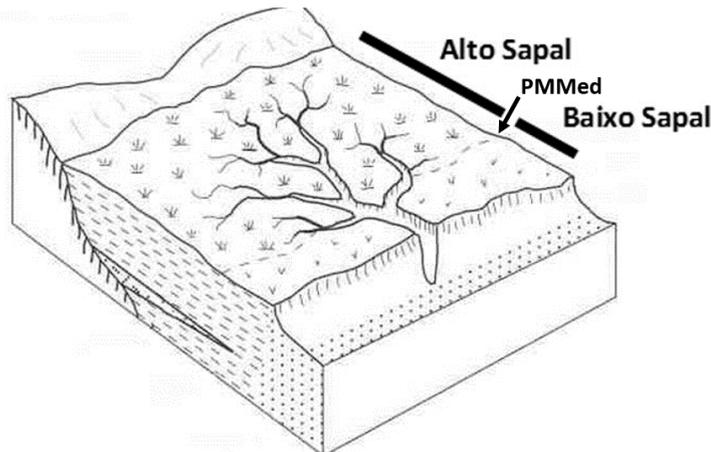


Figura 2-8 - Bloco 3D com estrutura do baixo e alto sapal cortado por canais [Extraído de Inácio (2017)]

2.1.8.2.1 Baixo Sapal

O baixo sapal é a zona de sapal que mais tempo fica submersa, cerca de 3 horas por dia, ficando apenas exposto durante a maré baixa. Nestas condições, é caracterizado pelas formações vegetais pioneiras e desenvolve-se entre o nível médio de PMAM e o nível médio de PM ou ligeiramente acima deste. A morraça (*Spartina maritima*) é a espécie vegetal mais representativa do baixo sapal suportando longos períodos de submersão, em que a *Sarcocornia perennis subsp. perennis*, *Puccinellia convoluta* e a *Salicornia ramosíssima* (também conhecida por Sal Verde ou Espargo do Mar, utilizada na culinária), também se encontram frequentemente presentes nestas formações (Gonçalves, 2016). As comunidades de *Spartina maritima* formam prados principalmente em ilhotas do interior do estuário e também no limite dos matos halófitos das suas margens (Costa, 2001). Em alguns locais do país podemos ainda encontrar algumas plantas aquáticas como o sirgo (*Zostera noltii*), a fita (*Zostera marina*) e plantas pertencentes ao género *Potamogeton* e *Ruppia* (*Ruppia maritima*), juntamente com algumas algas (Biorede, 2022). Esta associação de algas e de plantas superiores aquáticas é designada como moliço.

2.1.8.2.2 Alto Sapal

O alto sapal é composto por formações vegetais arbustivas ou arbóreo-arbustiva, geralmente com menos de 1 metro de altura, ocupando os solos emersos das plataformas de PMAV (Moreira, 1987). Durante esta fase de marés, o sapal alto fica sujeito a um período de submersão que pode durar até 2 horas diárias. É no alto sapal que ocorre a maior variação de salinidade nestes sistemas, onde as águas das chuvas baixam o teor de salinidade e as sequências de submersões e evaporações da água que por capilaridade sobe à superfície aumentam estes teores, podendo formar-se uma camada cristalina de sal à superfície do solo se sob condições climáticas mediterrânicas (Gonçalves, 2016). No sapal alto, as espécies anteriores vão sendo gradualmente substituídas pelo junco-das-esteiras (*Juncus maritimus*) que aparece em grandes extensões, atribuindo-se a designação de juncal. Segundo Biorede (2022) No juncal, onde a água salgada e doce se misturam, predominam também as ciperáceas como o triângulo (*Bolboschoenus maritimus* = *Scirpus maritimus subsp. maritimus*) frequentemente acompanhado pelo *Schoenoplectus pungens* = *Scirpus pungens* e pelo bunho (*Schoenoplectus lacustris* = *Scirpus lacustris*). Com o aumento da proporção de água doce, vão aparecendo as higrófitas características dos pauis, como o referido bunho, o caniço (*Phragmites australis*) cujos povoamentos puros denominam-se caniçal e as tabúas (*Typha latifolia*, *Typha angustifolia* e *Typha dominguensis*). A tamargueira (*Tamarix africana*) arbusto cuja altura média não ultrapassa os 6 m, ocorre na transição para o meio terrestre.

2.1.9 Avifauna do Estuário do Tejo

O Estuário do Tejo é considerado como uma das dez zonas húmidas mais importantes para as aves aquáticas migradoras da Europa e a mais importante a nível nacional (Dias e Marques, 1999). Das cerca de 200 espécies de ocorrência regular, 46 encontram-se incluídas no anexo I da Diretiva Aves (Diretiva 79/409/CEE) (Costa et al., 2003). Situa-se na rota de migração de importantes contingentes de aves invernantes que o procuram em busca de alimento, tranquilidade e refúgio, preparando-se para a época de reprodução que vai depois decorrer nas regiões mais setentrionais do Paleártico (Hidroprojecto - Engenharia E Gestão S.A., 2007a). É uma zona húmida de importância internacional que, durante a época de invernada, concentra um número substancialmente superior a 20 000 aves aquáticas (mínimo considerado necessário para a atribuição do estatuto de zona húmida de valor internacional). Destacam-se, por um claro predomínio, as populações de limícolas, acolhendo em média (anos de 1987 a 1998) cerca 72% dos efetivos invernantes nacionais daquele grupo no Estuário do Tejo. Entre as limícolas mais abundantes figuram o maçarico-de-bico-direito (*Limosa limosa*) a tarambola-cinzenta (*Pluvialis squatarola*) e o perna-vermelha (*Tringa totanus*) [ibid].

2.1.9.1 *Limosa Limosa*

Em Portugal, mais concretamente no Estuário do Tejo, esta espécie ocorre como invernante e migrador de passagem comum, ou seja, não nidifica na área. A nível nacional e internacional tem o estatuto de Pouco Preocupante pela União Internacional para Conservação da Natureza (IUCN 2001) e está incluída nos anexos das convenções de Berna (Anexo III) e Bona (Anexo II) (ICNF, 2022). O maçarico-de-bico-direito reproduz-se em latitudes médias, oceânicas e continentais, principalmente em terras baixas de zonas temperadas e boreais (Cramp e Simmons, 1983). Para a população do nordeste da Europa a sua principal área de invernada é ao sul do Saara, apesar de algumas aves passarem o inverno ao longo da costa Atlântica do Sudoeste da Europa. As aves que nidificam na Europa Oriental invernam na África Oriental e Central. Esta espécie encontra-se sobretudo ao longo das praias e estuários, a sul de Aveiro, uma vez que prefere águas pouco profundas, como pântanos, campos inundados ou lagos interiores. Além disso, em Portugal, subdivide-se em duas subespécies: *L. limosa limosa* e *L. limosa islandica*. As aves descansam juntas e os bandos muitas vezes encontram-se misturados com outras *Charadrii*. O seu alimento é obtido principalmente nas zonas intermareais, salinas, terrenos de cultivo e arrozais. As aves que se alimentam nas vasas do estuário ingerem principalmente o bivalve *Scrobicularia plana*, sendo o poliqueta *Nereis diversicolor* a presa secundária mais importante (Leitão et al., 1998). Nos restolhos de arroz, estas aves ingerem quase exclusivamente grãos dessa planta [ibid]. O maçarico-de-bico-direito ocorre no estuário entre os meses julho a março, em densidades que variam as 1 e 10 aves/ha. As maiores densidades da espécie em atividade alimentar surgem nas partes central e superior do estuário, durante o Outono atingem valores médios máximos 8,9 aves/ha [ibid]. Embora não apresente preferência marcada por um tipo de sedimento, e evitando a areia vasosa e sedimentos grosseiros, as maiores densidades surgem nas áreas de sedimento fino, nomeadamente vasa, com algum teor em água e sujeita a períodos longos de emersão (Moreira, 1995). As populações europeias desta espécie têm conhecido nos últimos dez anos um período de declínio (Delany e Scott, 2006) devido a vários fatores de ameaça, nomeadamente:

- A pressão urbanística e turística da zona litoral;
- A drenagem de zonas húmidas nas áreas de invernada da espécie e a sua conversão em terrenos agrícolas;
- A poluição da água, por efluentes domésticos, industriais e agrícolas;
- A instalação de parques eólicos em corredores importantes para a migração de aves.

2.1.9.2 *Pluvialis squatarola*

A Tarambola cinzenta, à semelhança da espécie anterior ocorre também como invernante e migrador de passagem comum com estatuto de Pouco Preocupante. É uma espécie marcadamente boreal, presente apenas na tundra ártica, pelo que a sua distribuição no Paleártico Ocidental como reprodutora está restrita ao extremo norte da Rússia. Inverna na Europa Ocidental, Mediterrâneo, África Ocidental, Central e do Sul (Cramp e Simmons, 1983). A sua área de distribuição no território nacional continental abrange sobretudo a faixa costeira de Norte a Sul do país, constituindo os estuários as zonas de maior concentração (ICNF, 2022). No Estuário do Tejo ocorre na zona intermareal, salinas e mais raramente, terrenos cultivados ao longo de todo o ano (diminuindo os seus efetivos entre junho e agosto) em densidades geralmente abaixo das 4 aves/ha (Leitão et al., 1998). Com exceção do verão a espécie é observada em atividade alimentar nas zonas central e superior do estuário. Apresenta uma preferência por áreas de alimentação de vasa arenosa (principalmente no Inverno) e por áreas com canais, próximos da linha de maré, mas com longos períodos de emersão. No verão não apresenta preferência por qualquer tipo de substrato (Moreira, 1995). Durante o dia alimenta-se preferencialmente de *Hydrobia ulvae* e *Hediste diversicolor* e durante a noite inverte essa preferência (Silva, 2005). O poliqueta *Hediste diversicolor* representa pelo menos 83% da biomassa ingerida pela espécie, sendo as suas presas secundárias os gastrópodes *Peringia ulvae* e os sífões de *Scrobicularia plana* (Moreira, 1995). Apesar dos perigos a que estão sujeitos, os fatores de ameaça supramencionados para a *Limosa limosa*, os censos internacionais indicavam um incremento do número de aves, na área em estudo, nos últimos anos [ibid].

2.1.9.3 *Tringa totanus*

O perna-vermelha aparece em Portugal como migrador de passagem, invernante comum e, ao contrário das anteriores, nidificante ocasional. Em Portugal a população nidificante tem o estatuto de Criticamente Ameaçada e a população Invernante Pouco Preocupante. A nível internacional é considerada uma espécie Em Declínio pela *BirdLife International* (2004) e Pouco Preocupante pela IUCN (2001). Utiliza vários tipos de zonas húmidas costeiras e do interior, nomeadamente sapais salobros, salinas abandonadas e lagoas ou albufeiras. No Estuário do Tejo ocorre nas zonas intermareais de sedimento mais fino, salinas e, com menor frequência, em zonas alagadas da lezíria e dos montados (Leitão et al., 1998). Ocorre de forma generalizada nas partes central e superior do estuário, durante o Outono e Inverno, onde as maiores densidades de aves em atividade alimentar atingem um valor máximo de 6,9 aves/ha [ibid]. Na seleção das áreas de alimentação tem preferência pela presença da linha de maré e por sedimentos finos com longos períodos de emersão. As presas principais são os sífões do bivalve *Scrobicularia plana*, o poliqueta *Hediste diversicolor* e o gastrópode *Peringia ulvae* (Moreira, 1995). A população nidificante é muito reduzida, provavelmente menor que 50 aves sendo que a ocorrência de registos aumentou nos últimos anos, provavelmente devido mais a um maior esforço de obtenção de registos de nidificação do que a uma tendência populacional (ICNF, 2022). Esta população está ameaçada principalmente por fatores intrínsecos, nomeadamente a sua distribuição restrita. A sua dependência do habitat de nidificação torna esta população muito vulnerável à perda ou degradação de habitat, por ação do Homem, nomeadamente abandono ou degradação de salinas, a transformação de salinas e sapais em aquaculturas ou a sua drenagem.

2.2 Revisão Bibliográfica

2.2.1 Variação do NMM em Portugal

O NMM, segundo Antunes (2014), é um referencial geodésico usado como datum vertical, determinado a partir de uma superfície média do oceano. Está ligado a uma escala temporal e resulta de uma série de observações maregráficas de duração variável, de preferência igual ou superior a 19 anos (período da nutação - ciclo completo de revolução da linha dos nodos da órbita lunar, igual a 18.6 anos). Durante a

sua geração são removidos dos dados registados as flutuações da maré de curto e médio período e os efeitos de forçamento meteorológico (Rolim et al., 2014). Em função da escala temporal, o NMM pode ser, designadamente, diário, mensal, anual ou decadal, não se devendo considerar os fenómenos que provoquem variações de período inferior à escala escolhida (Silva et al., 2008). Considerando o nível médio mensal eliminam-se as interferências devidas às componentes de curto período das marés, da ondulação (ondas gravíticas e infra gravíticas) e do forçamento meteorológico (pressão atmosférica e vento). Considerando-se o nível médio anual eliminam-se as oscilações provocadas pela desigual distribuição dos centros de pressão atmosférica, como a consequente variação do regime de vento, ao longo do ano e o efeito sazonal e anual das marés. Há assim um processo de filtragem do registo maregráfico [*ibid*]

Em Portugal, o NMM foi determinado com base nos registos do marégrafo de Cascais, correspondente à média das médias anuais do período compreendido entre 1882 e 1938, o qual define o Datum Altimétrico Nacional de 1938 (NMM Cascais1938).

Segundo Dias e Taborda (1988), citando Titus (1986), existem três fatores que influenciam à escala global o NMM:

- o volume total de água presente nas bacias oceânicas;
- a temperatura da água a diferentes profundidades (influenciando a densidade e volume);
- a forma (batimetria) das bacias oceânicas.

Os autores referem ainda, que esses fatores são modificados principalmente pelos processos glacio-eustáticos, glacio-isostáticos, hidro-isostáticos, tecno-eustáticos, sedimento-eustáticos e os gravítico-eustáticos. Antunes (2019) também aborda este tema, afirmando que a componente eustática da subida do NMM de curto e médio período é essencialmente influenciada por dois fatores principais: a expansão térmica e a variação de massa oceânica.

Parece consensual que a subida do NMM global no presente século irá exceder o observado no século XX. De facto, Dias e Taborda (1988) analisaram os dados das estações maregráficas de Cascais e Lagos de modo a determinar a tendência secular do NMM do século XX, tendo obtido a taxa de 1.3 ± 0.1 mm/ano e 1.5 ± 0.2 mm/ano respetivamente. Já Antunes (2019) refere uma taxa de 2.2 mm/ano entre 1992 e 2004 e uma taxa de 4.1 mm/ano entre 2005 e 2016 (Figura 2-9), sendo que no ano 2000 o NMM estava 13 cm acima do NMM1938 e atualmente este valor é já 19.5 cm. Também a taxa de subida do NMM tem aumentado ao longo dos anos. Entre 1970 e 2008 a respetiva aceleração (variação anual da taxa de subida do NMM) situava-se nos 0.127 mm/ano^2 enquanto a partir de 2006 passou a 0.18 mm/ano^2 [*ibid*].

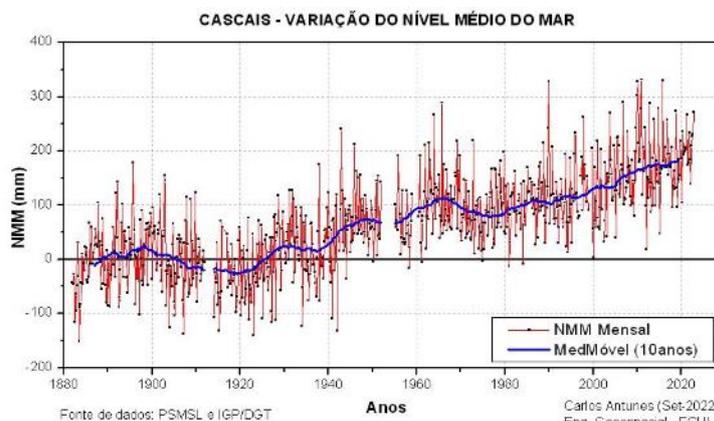


Figura 2-9 - Variação Secular do Nível Médio do Mar em CASCAIS (Série de médias mensais). [Extraído de Antunes (2007)]

Segundo Freire (1999) os estuários respondem à subida do NMM tornando-se recetores de sedimentos, causado pela diminuição do transporte para fora do estuário. Como consequência da subida do NMM e da diminuição de material transportado pelos estuários, ocorre não só erosão das zonas costeiras adjacentes, mas também alterações morfológicas nas margens do estuário [*ibid*]: inundação de zonas intermareais; erosão de praias e sapais; substituição da morfologia plana intermareal com canais subtidaís pouco profundos por rastos de maré mais altos e canais subtidaís mais profundos.

2.2.2 Processos Estuarinos

Os processos estuarinos são processos extremamente complexos onde, atualmente, persistem falhas de conhecimento, ou seja, ainda existem muitas dúvidas sobre o seu funcionamento (Khojasteh et al., 2020). Na Figura 2-10, é possível observar que a hidrodinâmica estuarina é impulsionada, principalmente, por fatores externos ao estuário, nomeadamente, a afluência de rios e águas subterrâneas, as marés, o vento e a ondulação. Estas forças motrizes externas são as principais fontes de energia por detrás do movimento da água dentro de um estuário (Khojasteh et al., 2021). Dependendo da forma, por exemplo, comprimento, largura, profundidade, inclinação, condição de entrada e capacidade de armazenamento de água, e das condições-limite do estuário, por exemplo, rugosidade do leito e vegetação, estas forças externas ajudam a criar o regime hidrodinâmico único de um estuário. Este regime depende ainda das propriedades intrínsecas da água que variam continuamente no tempo e no espaço, ou seja, da sua densidade e viscosidade (Savenije et al., 2008).

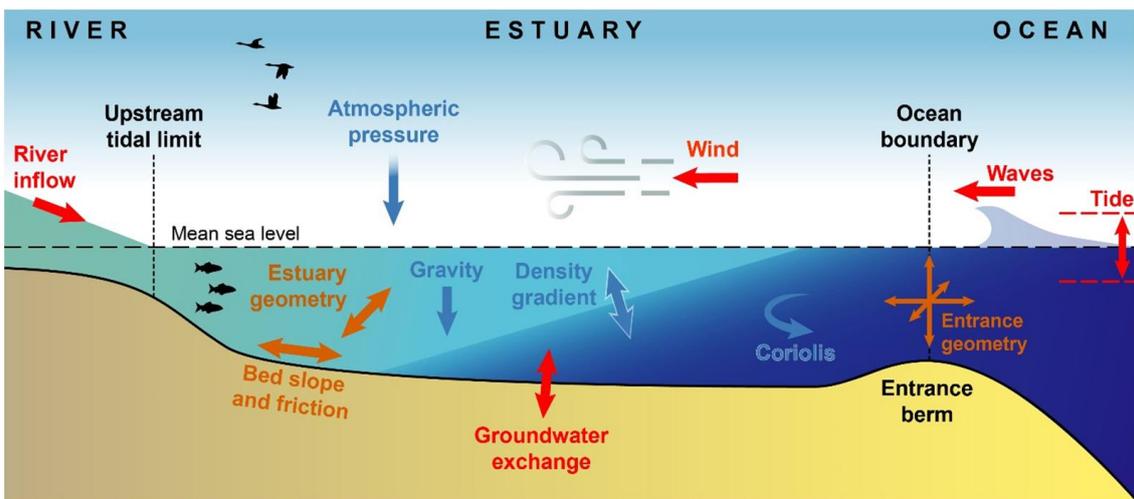


Figura 2-10 - Diagrama Conceptual dos Fatores de Influência da Hidrodinâmica Estuarina [Adaptado de Khojasteh et al., (2021)].

A hidrodinâmica é responsável pela movimentação de sedimentos, matéria orgânica e outros constituintes dentro de um estuário, dando assim forma a um ambiente ecológico e geomórfico singular ao longo de várias escalas temporais. Com o intuito de facilitar a compreensão interdisciplinar da dinâmica estuarina Khojasteh et al. (2021) propõe um modelo conceptual simples, onde os processos estuarinos são agrupados hierarquicamente em três grupos, Figura 2-11:

- 1ª Ordem – forças motrizes externas;
- 2ª Ordem – respostas internas diretas;
- 3ª Ordem – respostas internas indiretas.

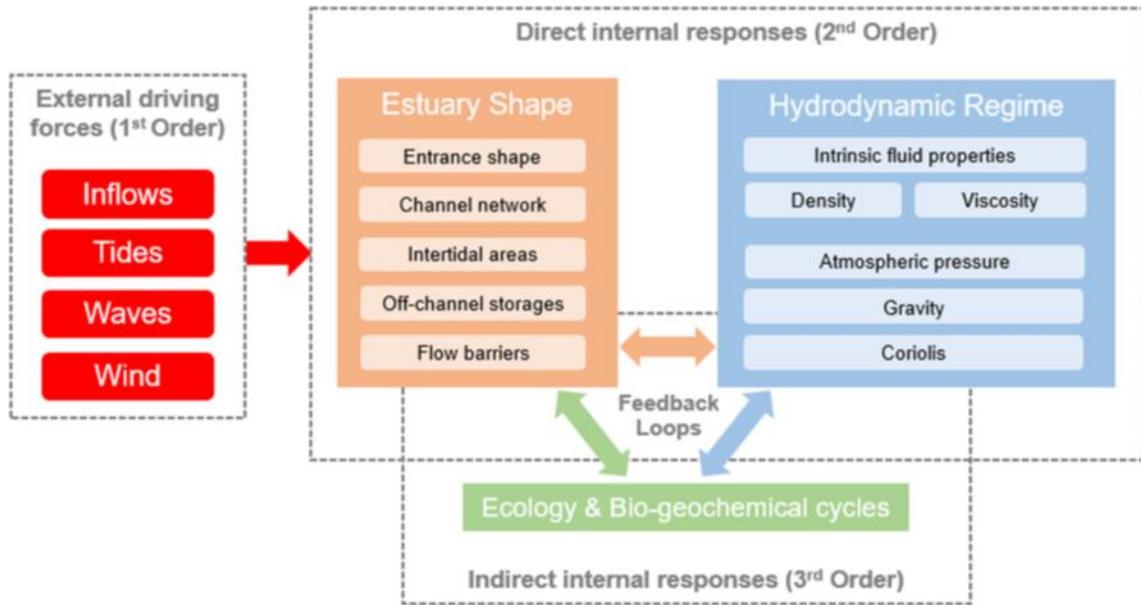


Figura 2-11 - Diagrama Conceitual da Hierarquia dos Processos Estuarinos [Extraído de Khojasteh et al., (2021)].

2.2.3 Modelos Atuais de Análise dos Processos Estuarinos

Na última década, apesar dos avanços significativos nos estudos sobre os processos estuarinos e o impacto da subida do NMM, as abordagens hidroestáticas, onde as projeções de subida do NMM são adicionadas à altura da maré existente, são ainda amplamente utilizadas para avaliar os impactos da subida do NMM nos estuários (Khojasteh et al., 2020; Moftakhari et al., 2019). Como estas abordagens hidroestáticas se baseiam na topografia, assumindo uma perda de energia constante, ou nula, ao longo da propagação da onda de maré, não contemplam os processos estuarinos enumerados no subcapítulo anterior, nomeadamente, a dinâmica da ondulação (Melet et al., 2018). Esta abordagem é inadequada para a maioria dos estuários, principalmente, para aqueles onde a existência de diques ou estruturas de controlo do fluxo de água influenciam a sua hidrodinâmica (Woodroffe e Murray-Wallace, 2012). Assim, segundo os mesmos autores, os métodos estáticos, normalmente, não fornecem informações precisas sobre as potenciais alterações nos processos estuarinos provocadas pela subida do NMM.

Nalgumas circunstâncias, particularmente tipos simplificados de estuários como prismáticos ou convergentes, são utilizadas abordagens analíticas. Estas abordagens podem ser utilizadas para prever a hidrodinâmica estuarina, principalmente a nível de marés, uma vez que resolvem as equações de energia e a variação do fluido em movimento (Ensing et al., 2015; Savenije et al., 2008; Van Rijn, 2011). As soluções analíticas permitem uma avaliação relativamente rápida sobre como a dinâmica das marés estuarinas pode alterar-se devido à subida do NMM, testando várias forças motrizes, geometrias e condições-limite (Cai et al., 2012; Ensing et al., 2015). Contudo, assumem que as amplitudes de maré são pequenas e possuem várias limitações, uma vez que não consideram as formas estuarinas complexas, a força de *Coriolis*, os gradientes de densidade, ou as alterações da batimetria (Cai et al., 2012; Talke e Jay, 2019).

No caso da modelação numérica avançada a hidrodinâmica de estuários, em contraste com as anteriores, tem em consideração as várias forças motrizes e as suas interações. São considerados conceitos precisos de troca de energia, processos de maré, planícies de inundação e ligações estruturais lineares bem como os processos ecológicos e biogeoquímicos e as interações geomórficas associadas. Segundo Fitzgerald e Hughes (2019) existem vários modelos numéricos que preveem mudanças nos EI devido à subida do NMM que os métodos físicos ou experiências em laboratório não conseguem identificar. Estes modelos variam a nível dimensional podendo ser (Fagherazzi et al., 2012; Fitzgerald e Hughes, 2019):

- dimensão zero (previsão de mudança de elevação num único ponto);
- unidimensional (sedimentação sobre um troço);
- bidimensional (desenvolvimento de canal sobre uma forma plana);
- tridimensional (erosão vertical e deposição).

Contudo, são necessários conjuntos de dados detalhados, por vezes difíceis ou dispendiosos de obter, incluindo características topográficas e batimétricas, bem como observações de fluxo para efeitos de inicialização, calibração e validação, para estabelecer e verificar com precisão tais modelos. Além disso, as diferenças nas escalas espaciais e temporais de vários processos podem acrescentar mais complexidade à modelação numérica dos processos estuarinos face à subida do NMM. Os processos podem ocorrer na escala de microssegundos, minutos, meses, anos e séculos estando cada escala temporal correlacionada com uma escala espacial diferente que vai desde a interação dos sedimentos à formação da paisagem [*ibid.*]. Assim, atualmente, ao investigar a influência da subida do NMM nos estuários são tidos em consideração vários processos e parâmetros para caracterizar as respostas estuarinas incluindo parâmetros de maré, mistura e circulação de águas, intrusão de água salgada, estratificação, dinâmica de sedimentos e turbidez.

2.2.4 Enquadramento Legal

A Diretiva 2007/60/CE da União Europeia, transposta para a legislação nacional, define o objetivo de “(...) estabelecer um quadro para a avaliação e gestão dos riscos de inundações, a fim de se reduzir as consequências associadas às inundações”. Além disso, exige para todos os estados-membros uma avaliação das potenciais consequências prejudiciais das futuras inundações para a saúde humana, o ambiente, o património cultural e as atividades económicas. Esta avaliação deve ser apresentada sob a forma de cartas de zonas inundáveis e cartas de risco de inundações. Esta Diretiva fornece indicações sobre a informação a incluir nos diferentes materiais de apoio à gestão. As cartas de zonas potencialmente inundáveis devem compreender os seguintes cenários: fraca probabilidade de cheias ou cenários de fenómenos extremos e probabilidade média de cheias (periodicidade provável igual ou superior a 100 anos); probabilidade elevada de cheias, quando aplicável. As cartas de risco, devem incluir informação sobre: número indicativo de habitantes potencialmente afetados, tipo de atividade económica potencialmente afetada, instalações que possam causar poluição acidental em casos de inundação, e zonas protegidas e outras informações relevantes.

Esta lei é transposta para o direito nacional através do Decreto-Lei nº 115/2010 de 22 de outubro. Com esta publicação é criada a Comissão Nacional de Gestão de Riscos de Inundações (CNRI), destinada a acompanhar a aplicação da Diretiva 2007/60/CE.

O Grupo de Trabalho para o Litoral (GTL, 2014) foi constituído pelo Despacho nº 6574/2014, com o objetivo de “desenvolver uma reflexão aprofundada sobre as zonas costeiras, que conduza à definição de um conjunto de medidas que permitam, no médio prazo, alterar a exposição”, à vulnerabilidade, “incluindo nessa reflexão o desenvolvimento sustentável em cenários de alterações climáticas” (Despacho nº 6574/2014). Contudo o relatório apresentado pouco ou nada refere sobre ambientes estuarinos ou lagunares costeiros, com a exceção da exploração e extração de inertes associada à manutenção de navegabilidade e a obras de melhoria das zonas portuárias, remetendo-se, para além disso, apenas e principalmente aos processos das zonas costeiras de mar aberto, nomeadamente, sobre o fenómeno de erosão resultante do défice sedimentar.

No sentido de continuar a honrar os compromissos comunitários e internacionais subscritos, Portugal aprovou oficialmente a sua Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas (EN AAC) em abril de 2010 (Resolução do Conselho de Ministros n.º 24/2010, DR: 1.ª série N.º 64 de 1 de abril de

2010). A ENAAC definiu quatro objetivos: informação e conhecimento, reduzir a vulnerabilidade e aumentar a capacidade de resposta, participar, sensibilizar e divulgar e cooperar a nível internacional.

A aplicação da ENAAC esteve sob a coordenação interministerial da Comissão para as Alterações Climáticas (CAC), apoiada pelo seu Comité Executivo (CECAC), que por sua vez era apoiada por um grupo de coordenação, pelos grupos de trabalho sectoriais e por um painel científico. Os grupos de trabalho sectoriais, em número de nove, foram criados com o intuito de obter uma maior eficácia na identificação de vulnerabilidades e de medidas de adaptação, a incluir num plano de aplicação nacional da ENAAC:

- Ordenamento do território e cidades;
- Recursos hídricos;
- Segurança de pessoas e bens;
- Saúde;
- Biodiversidade;
- Agricultura, florestas e pescas;
- Turismo;
- Zona costeira.

O Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF) coordenou o Grupo de Trabalho da Biodiversidade e o subgrupo de trabalho das Florestas, tendo produzido relatórios de adaptação às alterações climáticas específicos. O relatório produzido pelo grupo sectorial biodiversidade - “Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas - Sector da Biodiversidade” - identifica as principais questões críticas para a adaptação da biodiversidade às alterações climáticas, de onde resultam um conjunto de medidas e de ações de adaptação.

A segunda fase da ENAAC (EN AAC 2020) é definida pela Resolução de Conselho de Ministros n.º 56/2015, de 30 de julho (Anexo 3), e lançada a 26 de novembro de 2015 com a realização da primeira reunião do Grupo de Coordenação. Organiza-se em nove sectores e em seis áreas temáticas transversais, que se articulam para a concretização dos seus três objetivos, conforme a figura abaixo.

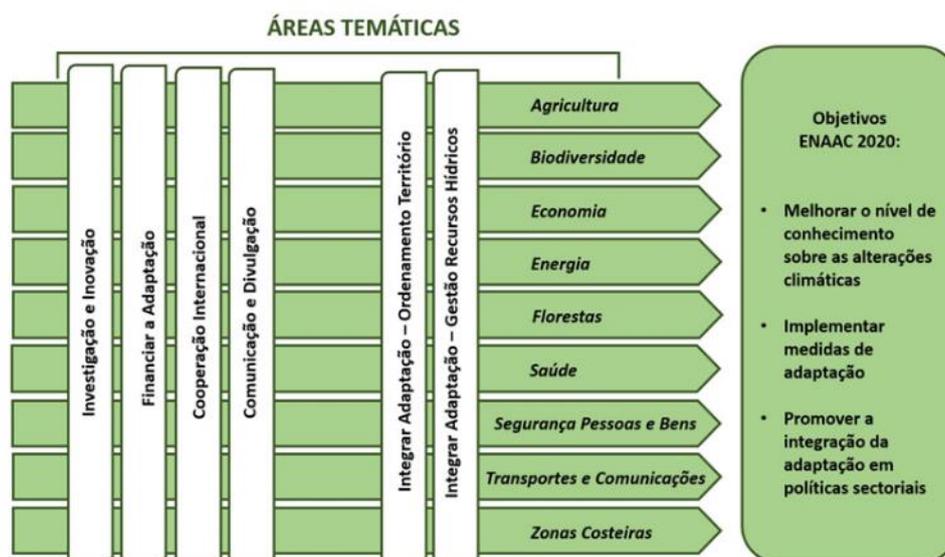


Figura 2-12 - Estrutura funcional da ENAAC 2020 (Extraído de <https://www.icnf.pt/biodiversidade/uniaoeuropeiaemambitointernacional/adaptacaoasalteracoesclimaticas>)

A Rede Natura 2000 é uma rede ecológica para o espaço comunitário da União Europeia resultante da aplicação da Diretiva 79/409/CEE do Conselho, de 2 de abril de 1979 (Diretiva Aves) - revogada pela Diretiva 2009/147/CE, de 30 de novembro (Diretivas Aves) - e da Diretiva 92/43/CEE (Diretiva Habitats) que tem como finalidade assegurar a conservação a longo prazo das espécies e dos habitats mais ameaçados da Europa, contribuindo para parar a perda de biodiversidade. Nestas áreas de importância comunitária para a conservação de determinados habitats e espécies, as atividades humanas deverão ser compatíveis com a preservação destes valores, visando uma gestão sustentável do ponto de vista ecológico, económico e social. A garantia da prossecução destes objetivos passa necessariamente por uma articulação da política de conservação da natureza com as restantes políticas setoriais, nomeadamente, agrossilvopastoril, turística ou de obras públicas, por forma a encontrar os mecanismos para que os espaços incluídos na Rede Natura 2000 sejam espaços vividos e geridos de uma forma sustentável.

Os Planos de Ordenamento de Áreas Protegidas (POAP) estabelecem a política de salvaguarda e conservação que se pretende instituir em cada uma das áreas protegidas da Rede Nacional de Áreas Protegidas, sujeitas a processo de planeamento, através do estabelecimento de regimes de salvaguarda de recursos e valores naturais e do regime de gestão compatível com a utilização sustentável do território. O objetivo destes planos traduz-se em diferentes regimes de proteção e respetivo zonamento (usos e atividades a interditar, a condicionar e a promover, por regime de proteção), bem como num conjunto de Áreas de Intervenção Específica (AIE). Os POAP em vigor são vinculativos para as Entidades Públicas e ainda para os privados. A recondução dos 25 POAP em vigor a Programas de Ordenamento de Áreas Protegidas é uma obrigação que decorre da Lei de Bases Gerais da Política Pública de Solos, de Ordenamento do Território e de Urbanismo - Lei n.º 31/2014, de 30 de maio, do Regime Jurídico dos Instrumentos de Gestão Territorial - Decreto-Lei n.º 80/2015, de 14 de maio, e do Regime Jurídico de Conservação da Natureza e da Biodiversidade - Decreto-Lei n.º 142/2008, de 24 de julho, alterado pelo Decreto-Lei n.º 242/2015, de 15 de outubro.

Capítulo 3

METODOLOGIA E RESULTADOS

Neste capítulo será apresentada uma proposta de metodologia para a determinação da cartografia de vulnerabilidade dos EI e da avifauna do Estuário do Tejo devido à subida do NMM. Como demonstrado nos capítulos anteriores esta cartografia é de elevada importância para as entidades de gestão e ordenamento do território de modo a identificar as áreas prioritárias às intervenções de prevenção ou mitigação de impactes provocados pela subida do NMM.

Primeiro, é feita uma caracterização física e geográfica da área de estudo, nomeadamente, o seu clima, características socioeconómicas e biológicas.

Para a obtenção rigorosa da área dos EI em estudo, raso de maré e baixo e alto sapal, definiram-se quatro cenários de subida do NMM em relação ao NMM de 2000: 0.5 m, 1 m, 1.5 m e 2 m. Estes cenários foram determinados para dois regimes sedimentares distintos no Estuário do Tejo, o primeiro onde podemos considerar um equilíbrio sedimentar, ou seja, sem assoreamento e, o segundo com assoreamento nos EI. As áreas dos EI foram ainda confrontadas com as áreas de maior frequência de três espécies limícolas da área de estudo com o intuito de analisar a vulnerabilidade da avifauna à subida do NMM. Além disso, foi ainda estudada a influência da preservação de algumas classes de ocupação do solo (urbano e agrícola) nos vários cenários.

Tendo por base a literatura exposta no capítulo anterior, procurou-se adaptar as técnicas hidrostáticas (modelo de “banheira”) para a produção da cartografia de vulnerabilidade dos EI e da avifauna à subida do NMM, através da introdução de dados de maré. Assim, a determinação do MTB incluiu a incorporação de um modelo batimétrico parcialmente gerado com dados obtidos por uma metodologia adaptada do trabalho de Bué et al. (2020).

O tratamento da informação geoespacial utilizada foi feita recorrendo aos softwares Spyder 3.8.8 (Anaconda), SNAP 8.0.9 (ESA) e Arc Gis Pro 3.0.2 (Esri). Para a produção dos resultados de cartografia de vulnerabilidade no sistema de coordenadas ETRS89/PT-TM06, foi também utilizada a aplicação Arc Gis Pro 3.0.2 (Esri).

3.1 Caracterização do Estuário do Tejo

3.1.1 Caracterização Física e Geográfica

O Rio Tejo é o mais extenso rio da Península Ibérica com 1 076 km, dos quais 273 km em Portugal. A sua bacia hidrográfica é bastante ampla, abrangendo uma área de cerca de 80 629 km², incluindo 24 860 km² em território português, e apresenta uma orientação preferencial E-W (Bettencourt et al., 2003). O Tejo nasce em Albarracin (Espanha) e desagua no Oceano Atlântico perto de Lisboa. É já próximo da sua foz que o Rio Tejo deixa de ser um rio encaixado e desenvolve um estuário, o Estuário do Tejo, que corresponde à área de estudo desta dissertação.

O Estuário do Tejo, um dos maiores estuários da Europa, localiza-se na costa ocidental portuguesa, na região da Estremadura e Ribatejo meridionais, sendo limitado pelos paralelos 38° 40' N e 39° 05' N e pelos meridianos 9° 20' W e 8° 45' W- Figura 3-1. O estuário ocupa uma vasta área, de cerca de 320 km², desde Vila Franca de Xira até à foz do Rio Tejo, composta por lezírias, mouchões, esteiros, pequenas lagunas e uma zona central ocupada por um mar interior de água salobra (Costa, 2017). Este

ambiente aquático de transição apresenta uma morfologia particular caracterizada por uma região interior extensa e pouco profunda, com larguras que podem atingir os 15 km, desenvolvendo-se segundo a direção NNE-SSW e um canal de embocadura, estreito e profundo, com largura mínima de 1.8 km, orientado ENE-WSW. O Estuário do Tejo é um sistema mesotidal sujeito a uma maré com período semidiurno. A amplitude média no Terreiro do Paço é de 3.2 m em maré viva e 1.5 m em maré morta, aumentando para montante (Freire et al., 2006). Devido à hidrodinâmica do Tejo é de salientar a grande área intertidal de estuário de aproximadamente 130 km².

O limite montante da intrusão salina em condições hidrológicas normais situa-se em Vila Franca de Xira, a cerca de 50 km da embocadura e o limite montante da maré dinâmica no estuário situa-se em Muge, a cerca de 80 km da embocadura [*ibid*]. O limite jusante do estuário está localizado no Canal da Barra do Tejo, entre Lisboa e Trafaria.

As margens do Tejo apresentam forte assimetria, com a margem direita quase totalmente urbana e de traçado regular, e a margem esquerda, de traçado fortemente irregular e recortado, com algumas áreas agrícolas e naturais, albergando a maior parte da Reserva Natural do Estuário do Tejo (Hidroprojecto - Engenharia E Gestão S.A., 2007b).

De uma forma mais simplificada, as principais características físicas do Estuário do Tejo são apresentadas no Tabela 3-1.

Tabela 3-1- Principais Características Físicas do Estuário do Tejo

| Características Física | Valor |
|--|--------------------------------------|
| Extensão até ao termo da propagação da maré dinâmica | 80 km (Muge) |
| Extensão até limite montante da intrusão salina | 50 km (Vila F. Xira) |
| Área total | 320 km ² |
| Área intermareal | 130 km ² |
| Largura máxima | 15 km ² |
| Largura média | 4 km ² |
| Profundidade máxima | 46 m |
| Profundidade média | 10.6 m |
| Volume total médio | 1 800x10 ⁶ m ³ |



Figura 3-1-Enquadramento geográfico do Estuário do Tejo [Sistema de coordenadas: PTM06-ETRS89; Parcialmente Extraído de Azevêdo et al. (2004)]

3.1.2 Clima

A Organização Meteorológica Mundial (OMM) recomenda que o clima de uma região seja caracterizado pelas condições meteorológicas médias, no mês e no ano, calculadas para um período climatológico mínimo de 30 anos. Assim, a partir dos valores médios anuais de diversas variáveis climáticas, disponibilizados pelo Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) e pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA) para as estações climatológicas de medição presentes na área de estudo, o clima do Estuário do Tejo encontra-se caracterizado na Etapa 1 – Descrição do Plano de Ordenamento e Gestão para a Reserva Natural Do Estuário do Tejo (Hidroprojecto - Engenharia E Gestão S.A., 2007a). Tendo por base esse relatório será então caracterizado o clima da área de estudo desta tese.

Relativamente à temperatura, o clima da região pode ser classificado como temperado com um valor médio anual entre 15.6 °C e 16.8 °C. Registrando-se a oeste da área de estudo (referência de estação de Cabo Ruivo), as maiores temperaturas e a Nordeste (Vila Franca de Xira) as menores. A amplitude

térmica média mensal é aproximadamente de 13 °C oscilando nos intervalos [9 °C, 22 °C] e [10 °C, 23 °C]. Tal como expectável, as temperaturas médias mais elevadas registam-se nos meses de julho e agosto e as mais baixas registam-se em dezembro e janeiro.

Quanto à pluviosidade, o clima pode ser classificado como moderadamente chuvoso (de 500 a 1000 mm), dado que a precipitação anual varia entre 576.9 mm e 721.8 mm. Os maiores valores de precipitação ocorrem no Inverno e Primavera, mais precisamente entre outubro e maio, sendo estes meses considerados húmidos, enquanto os meses de junho a setembro possuem menores valores de pluviosidade sendo por isso considerados secos.

Por fim, para descrever o vento num dado local os parâmetros utilizados são o seu rumo e intensidade. Assim, a análise da frequência dos rumos permite concluir que na estação de Lisboa/Portela e Montijo/Base Aérea o vento predominante é de Norte, na estação de Cabo Ruivo o vento predominante varia entre N e NW, e por último, a estação de Sacavém apresenta o NW como rumo predominante. A velocidade média dos ventos nos diferentes rumos varia entre aproximadamente 8 km/h na estação de Sacavém e 22 km/h na estação de Montijo/Base Aérea. Para as estações de Cabo Ruivo, Lisboa/Portela e Sacavém, os ventos mais intensos são os dos quadrantes SW (22 km/h) e NW (20 km/h).

3.1.3 Caracterização Socioeconómica

O Estuário do Tejo, o maior estuário da Europa Ocidental, desempenha, segundo a Administração da Região Hidrográfica (ARH) do Tejo, um papel fundamental para a conservação da natureza e da biodiversidade. É um elemento de elevado valor paisagístico e com enorme potencial para o desenvolvimento de atividades culturais, recreativas e de lazer e serve de suporte para inúmeras importantes atividades económicas incluindo atividades de importância geoestratégica de âmbito nacional (Hidroprojecto - Engenharia E Gestão S.A., 2007b). São da maior relevância as valências inerentes à exploração dos recursos naturais do próprio estuário, como a pesca, a piscicultura e a aquicultura e outras atividades económicas inerentes a um meio aquático de transição, bem como as valências relacionadas com o plano de água enquanto suporte e meio de deslocação de pessoas e bens, como são as atividades portuárias, logísticas e de transportes. No âmbito da sua valência pesqueira, os núcleos piscatórios com os respetivos portos, são característicos das freguesias da Póvoa de St^a Iria, Alhandra e Vila Franca de Xira, resultado da fixação de avieiros provenientes da Praia de Vieira de Leiria, a que vieram juntar-se os varinos oriundos da região de Aveiro (Ílhavo, Ovar e Murtosa). Estes elementos são marcos e testemunhos da importância da pesca de outrora e respetiva abundância de espécies onde a captura do sável (*Alosa alosa*) se destacava. Eram também importantes as pescas de enguia (*Anguilla anguilla*), corvina (*Argyrosomus regius*) linguado (*Solea solea*) e (*Solea senegalensis*), robalo (*Dicentrarchus labrax*), charroco (*Halobatrachus didactylus*), etc. [*ibid*]. A nível ecológico, o estuário é também de grande importância uma vez que a Reserva Natural do Estuário do Tejo abrange, segundo o ICNF (2000), uma área de 144.16 km², que inclui uma extensa superfície de águas estuarinas, campos de vasas recortados por esteiros, mouchões, sapais, salinas e terrenos aluvionares agrícolas (lezírias). Insere-se na zona mais a montante do estuário distribuindo-se pelos concelhos de Alcochete, Benavente e Vila Franca e Xira.

A nível social, a área de estudo tem, segundo o Censos de 2011, um total de 143 429 habitantes e afeta um total de 19 concelhos. Da avaliação da ocupação do solo é possível retirar que área estudada do Estuário do Tejo é constituída essencialmente por espaços agrícolas. Na região mais próxima da embocadura é onde estão concentradas as áreas urbanas e alguns aglomerados industriais (progressivamente têm vindo a ser desativados e deslocados). Embora em pequena área relativa, existem ao longo da área do estuário estruturas importantes para os concelhos e para o país.

3.1.4 Caracterização Biológica

O estuário é constituído por vários biótopos: uma zona subtidal ou permanentemente submersa, que serve de habitat essencialmente a espécies marinhas, como é o caso dos peixes e crustáceos, a zona intermareal, constituída por vasa, bancos de casca de ostra, areias vasosas, sapais, salinas e areias e por fim a zona de caniçal, formada por manchas de caniço (*Phragmites australis*) (Hidroprojecto - Engenharia E Gestão S.A., 2007c). Em termos ecológicos o estuário pode dividir-se em zonas consoante a influência das águas:

- Zona intertidal (ou intermareal) – o estuário apresenta uma das mais vastas zonas intertidais da Europa, cerca de 40% do estuário, onde se podem identificar vários habitats com elevada relevância ecológica como fundos de vasa ou vasa arenosa (i.e., lodos), bancos de casca de ostra, fundos de areia ou de areia vasosa, sapais, caniçais e salinas, este último um habitat artificial, mas de grande importância para as aves e invertebrados bentónicos.
- Zona subtidal – compreende os restantes 60% da área do estuário e destaca-se pela sua importância para a comunidade íctica, além da fauna bentónica (crustáceos) e comunidade fito e zooplantónica.

A dimensão do estuário confere-lhe uma notável importância em termos ecológicos, tanto a nível das comunidades subaquáticas como das comunidades da faixa intermareais e das comunidades de vertebrados terrestres, em especial da avifauna.

3.2 Processo Metodológico

O processo metodológico aplicado nesta dissertação encontra-se esquematizado na Figura 3-2. Numa primeira etapa fez-se a recolha e organização de toda a informação necessária à construção do modelo proposto. Essa informação, foi obtida maioritariamente, em fontes de dados abertos de domínio público e da informação oficial e não oficial disponibilizada pelos diversos organismos nacionais e internacionais (ESA, DGT e IH), como se pode ver na Tabela 3-2.

Numa segunda fase, houve a necessidade de tratar os dados obtidos de modo a conseguir incorporá-los e harmonizá-los no modelo, de modo a satisfazer os objetivos propostos. O fluxo do processo metodológico deriva da construção de uma base de dados acessível, tendo a capacidade de armazenamento de dados geográficos (batimetria e imagens de satélite), bem como de informação altimétrica (pontos cotados provenientes das ortofotos, tabelas de marés, etc.). Estes dados foram processados em ambiente SIG, através de ferramentas de edição e de deteção remota e recorrendo a programas desenvolvidos na linguagem de programação Python para a junção e extração de dados de modo a obter mapas de vulnerabilidade dos EI e da avifauna face à subida do nível médio do mar.

O resultado são vários mapas de vulnerabilidade, para o Estuário do Tejo, distribuídos por quatro cenários de subida do NMM distribuídos por dois cenários de sedimentação, ou seja, com e sem assoreamento e tendo em atenção a preservação de algumas classes de ocupação do solo.

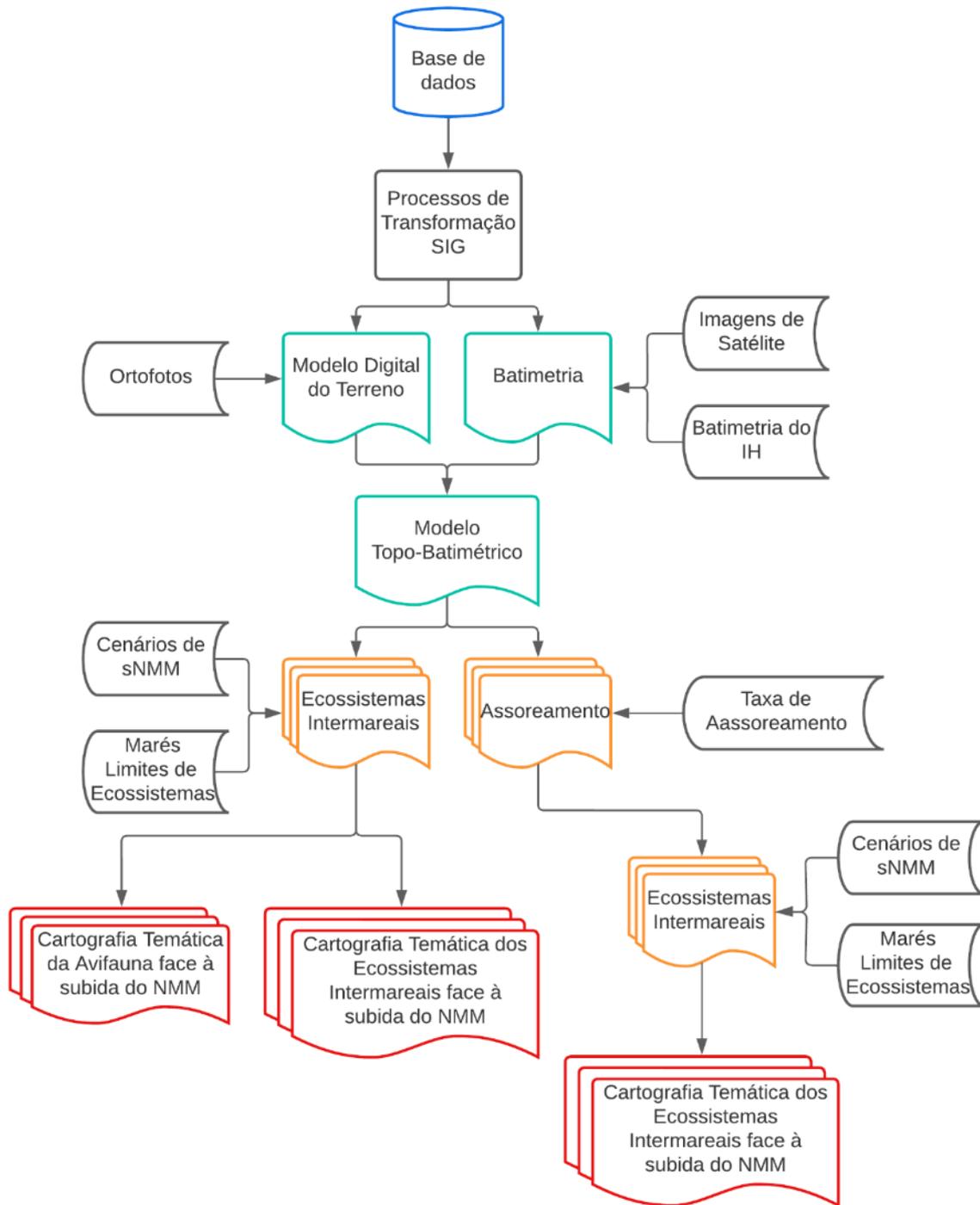


Figura 3-2- Fluxo de processo da metodologia para a obtenção da cartografia de vulnerabilidade dos EI face à subida do NMM

Cada processo de transformação para cada cenário está descrito neste capítulo nos respectivos subcapítulos.

3.3 Dados

Cada conjunto de dados obtidos para este projeto, Tabela 3-2, teve um propósito específico para cumprir os objetivos inicialmente propostos. Assim, a utilização de pontos cotados provenientes de um processo de estereorrestituição fotogramétrica teve como propósito a elaboração do MDT. A Batimetria disponibilizada pelo IH conjuntamente com dados batimétricos, extraídos de imagens de satélite da missão Sentinel-2, originaram a batimetria final. Esta batimetria foi então combinada com o MDT para originar o MTB. Os dados de maré foram utilizados não só para a determinação da batimetria de satélite como para a delimitação dos EI. A Carta de Ocupação do Solo (COS) permitiu gerar diversos cenários de proteção de áreas agrícolas e/ou artificializadas. Por último, a delimitação da área de estudo foi definida a partir de um ficheiro no formato *shapefile*.

Tabela 3-2-Dados utilizados com a respetiva fonte, data de aquisição e observações

| DADOS | FONTE | DATA AQUISIÇÃO | OBSERVAÇÕES |
|---|------------------|----------------|--|
| Pontos Cotados (Estereorrestituição Fotogramétrica) | DGT, 2014-2015 | 25-10-2021 | - Resolução espacial 2 m |
| Batimetria | IH, 2009 | 07-12-2021 | - Resolução espacial 25 m |
| Imagens Sentinel-2 | ESA, 2018 | 15-02-2022 | - Imagens TOA |
| Tabelas de Altura de Maré | Antunes C., 2018 | 10-02-2022 | |
| Tabela de Concordâncias | Antunes C., 2018 | 08-02-2022 | |
| Tabela de Altura Horária de Marés | Antunes C., 2018 | 14-02-2022 | |
| Gráficos de Altura de Maré | Antunes C., 2018 | 10-02-2022 | |
| Extensão Geográfica do Rio Tejo | CIGeoE, 2016 | 24-02-2022 | - Escala 1:25 000 - Shapefile em ETRS89-PT/TM06 |
| Carta de Uso e Ocupação do Solo para Portugal Continental Em 2018 (COS2018) | DGT, 2020 | 09-02-2022 | - Shapefile em ETRS89-PT/TM06 |

3.4 Modelo Topo-Batimétrico

3.4.1 Modelo Digital do Terreno

O MDT utilizado nesta dissertação foi obtido a partir de pontos cotados disponibilizados pela DGT, por Estereofotogrametria, num projeto em parceria com a APA, I.P., para a zona costeira de Portugal Continental. Os levantamentos aerofotogramétricos para a aquisição do conjunto de dados geográficos de base, numa área de aproximadamente 513 400 ha da faixa litoral de Portugal, foram realizados entre 2014 e 2015, com uma resolução de 10 cm, porém, a resolução disponibilizada foi de 2 m.

Uma vez que, uma das principais limitações neste tipo de projetos é a capacidade computacional de cálculo para um grande volume de dados, dividiu-se o conjunto total de dados da área de estudo em duas zonas geográficas: a margem norte do Estuário do Tejo, referida nesta secção da dissertação como “Norte” e a margem sul identificada como “Sul”. No total processaram-se 411 ficheiros de pontos cotados com o formato (X, Y, Z), 223 para “Norte” e 188 para “Sul”.

Desenvolveu-se um programa em linguagem *python* para efetuar a junção e reamostragem dos pontos com cota entre os 0 e os 10 m, para 4 m. Deste processamento resulta, para cada área geográfica, um ficheiro de extensão *.csv* (*Comma-Separate Values*) com todos os pontos cotados com 4 m de resolução.

No software Arcgis Pro (ESRI), importaram-se os pontos cotados, inicialmente em tabelas (ficheiros *.csv*), os quais foram reprojatados para o sistema de coordenadas PT-TM06/ETRS89 e usados num processo de conversão para uma estrutura matricial (*raster*) em que cada ponto corresponde a uma célula

(pixel), uma vez que a malha de pontos original é uma malha regular. Por fim, os dois ficheiros *raster* foram combinados num só ficheiro, dando origem ao MDT final.

Na Figura 3-3 encontra-se, de uma forma simplificada, o fluxo dos processos de transformação para a obtenção do MDT final - Figura 3-4.

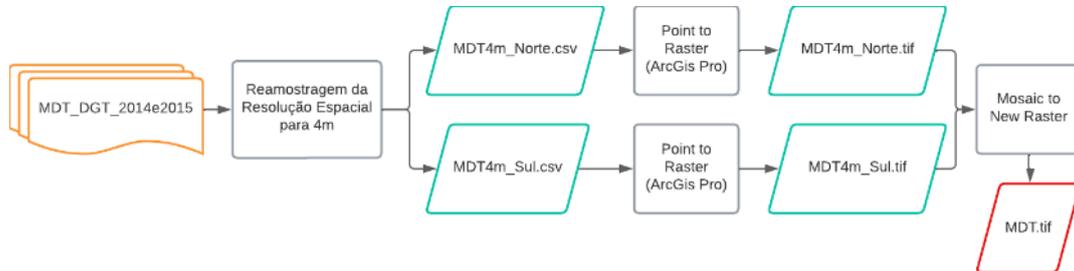


Figura 3-3- Fluxograma do processo de transformação para o Modelo Digital de Terreno

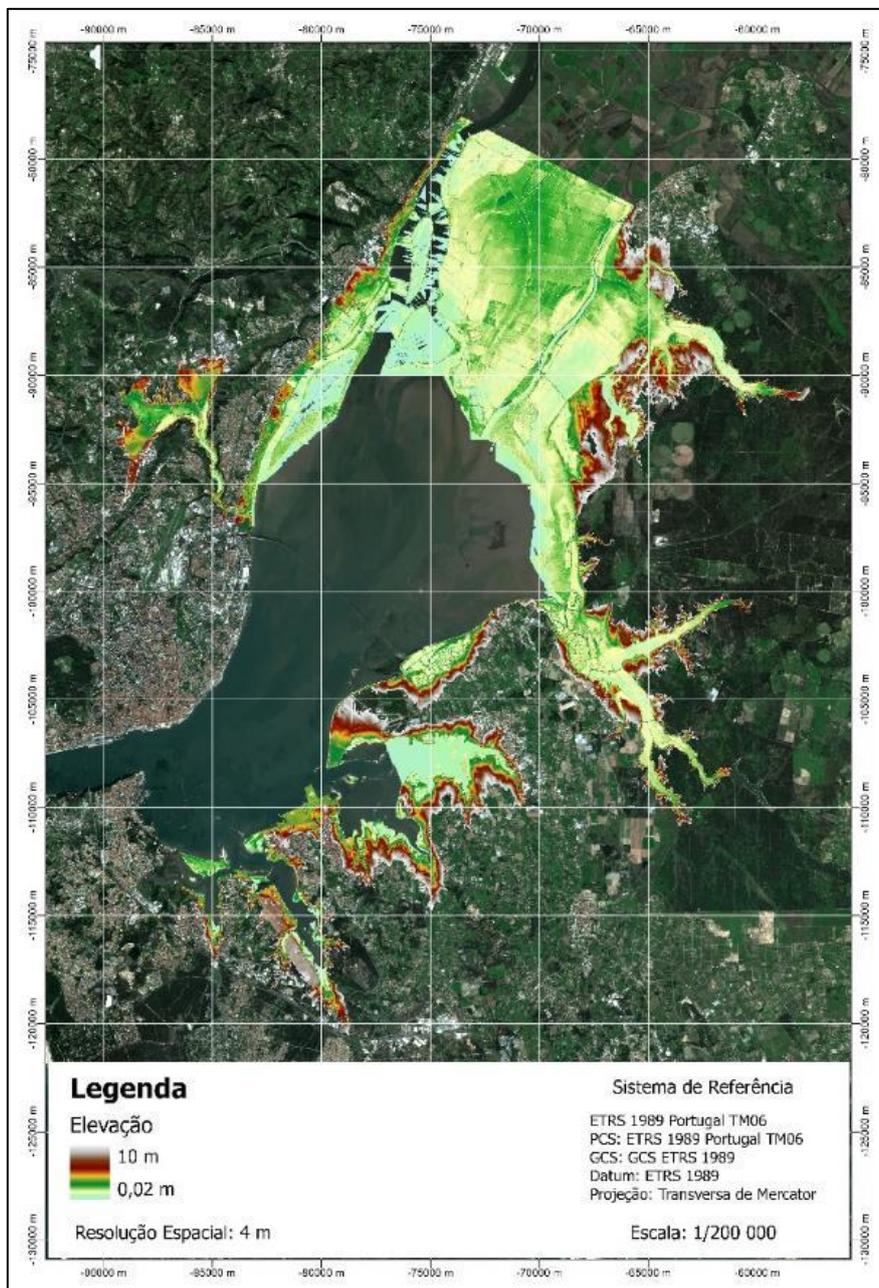


Figura 3-4 - Modelo Digital de Terreno do Estuário do Tejo, com resolução espacial de 4 m.

3.4.2 Batimetria

3.4.2.1 Batimetria do Instituto Hidrográfico

No caso da Batimetria do IH esta foi obtida a partir da informação disponível no portal Hidrográfico *Plus*² do Instituto Hidrográfico. Os dados, organizados numa estrutura matricial (*raster*), foram obtidos no formato .tiff (*Tag Image File Format*) com resolução espacial de 25 m. Esta informação geoespacial foi adquirida através de múltiplas sondagens, efetuadas pelo IH, entre os anos 2000 e 2009 tendo sido publicada, no sistema de coordenadas PT-TM06/ETRS89, no final de 2009. Contudo, uma vez que se optou por refinar a batimetria recorrendo a imagens de satélite, apenas se utilizou a batimetria do IH com cota inferior a -2 m. A batimetria acima desta cota (limite inferior do raso de maré) e até à cota 0 m foi então determinada recorrendo a métodos e algoritmos de deteção remota.

3.4.2.2 Batimetria por Análise de Imagens de Satélite

3.4.2.2.1 Superfícies Concordantes de Maré

Sabendo o dia e hora de aquisição das imagens do Sentinel-2 (11:21 UTC) foi possível extrair das Tabelas de Altura de Maré, a correspondente altura de maré do porto de Lisboa para as 9 datas, encontrando-se os valores recolhidos na Tabela 3-3. Contudo, o porto de Lisboa não é representativo da área de estudo devido à sua posição geográfica e à dinâmica da maré no Estuário do Tejo, como foi explicado. Assim, e sem recorrer a modelos hidrodinâmicos de propagação da onda de maré no Estuário do Tejo, foi necessário determinar a altura de maré para pontos localizados ao longo do Estuário do Tejo. A partir a altura de maré foi então depois calculada a elevação de maré necessária para a atribuição de cota ao raso de maré. Estes pontos foram selecionados de acordo com a tabela de concordâncias do IH, uma vez que as suas coordenadas e concordâncias são conhecidas, e utilizaram-se ainda pontos cujas concordâncias foram determinadas em trabalhos de campo anteriores pela equipa da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa no âmbito da qual este estudo está a ser desenvolvido, por forma a completar toda a extensão do estuário. Assim, conjugando as duas fontes de dados, obteve-se um total de 21 pontos de concordância distribuídos pelas margens norte e sul do Tejo, no seu Estuário. A sua localização encontra-se expressa na Figura 3-5, e os seus parâmetros de concordância na Tabela 3-4.

Tabela 3-3 - Alturas de Maré do Porto de Lisboa, às 11:21 UTM, para as 9 Datas das Imagens do Sentinel-2

| Data | Altura de Maré (m) |
|------------|--------------------|
| 21/03/2018 | 0.79 |
| 05/05/2018 | 1.42 |
| 15/05/2018 | 1.90 |
| 19/06/2018 | 1.75 |
| 29/06/2018 | 1.52 |
| 03/08/2018 | 1.59 |
| 13/08/2018 | 0.97 |
| 27/09/2018 | 1.25 |
| 27/10/2018 | 1.07 |

² Portal Hidrográfico *Plus* do IH – Disponível em: <https://geomar.hidrografico.pt/>

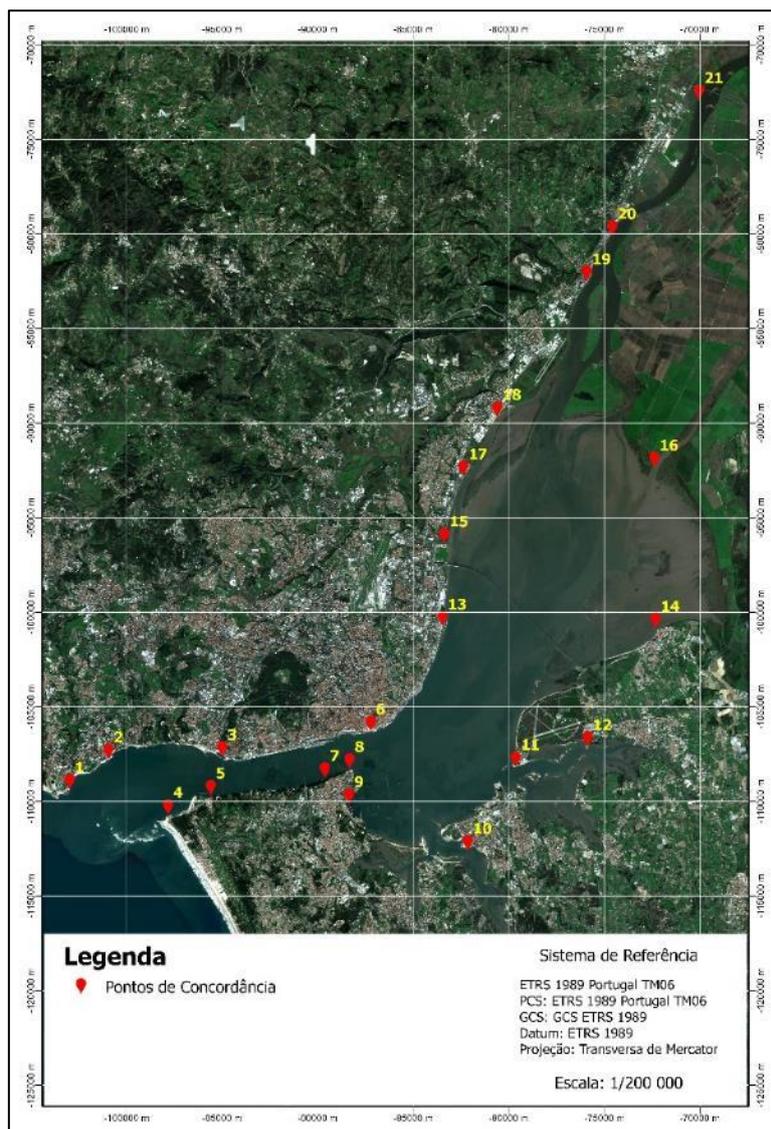


Figura 3-5 - Localização dos Pontos de Concordância no Estuário do Tejo

Tabela 3-4 - Valores de Concordância entre o Porto de Lisboa e Pontos de Concordância espalhados pelo Estuário do Tejo

| ID | Nome | LAT (°) | LONG (°) | C(PMAV) (m) | C(BMAV) (m) | C(PMAM) (m) | C(BMAM) (m) |
|----|---------------------|---------|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1 | Oeiras | 38.68 | -9.32 | -0.32 | 0.07 | -0.26 | 0.00 |
| 2 | Paco de Arcos | 38.69 | -9.29 | -0.33 | 0.05 | -0.24 | 0.00 |
| 3 | Pedrouços | 38.69 | -9.23 | -0.22 | 0.02 | -0.17 | 0.00 |
| 4 | Cova do Valor | 38.67 | -9.26 | -0.32 | 0.05 | -0.22 | 0.00 |
| 5 | Trafaria | 38.68 | -9.23 | -0.26 | 0.02 | -0.19 | 0.00 |
| 6 | Terreiro do Paço | 38.71 | -9.14 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 7 | Olho de Boi | 38.68 | -9.16 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 8 | Cacilhas | 38.69 | -9.15 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 9 | Arsenal do Alfeite | 38.67 | -9.15 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 10 | Seixal | 38.65 | -9.08 | 0.07 | 0.02 | 0.00 | 0.06 |
| 11 | Montijo1 | 38.69 | -9.05 | 0.11 | -0.07 | 0.06 | 0.00 |
| 12 | Montijo2 | 38.70 | -9.01 | 0.24 | -0.08 | 0.10 | 0.00 |
| 13 | Cabo Ruivo | 38.76 | -9.09 | 0.15 | -0.11 | 0.08 | 0.00 |
| 14 | Alcochete | 38.76 | -8.97 | 0.30 | -0.17 | 0.17 | 0.00 |
| 15 | Trancão | 38.80 | -9.09 | 0.20 | -0.04 | 0.08 | -0.05 |
| 16 | Ponta da Erva | 38.83 | -8.97 | 0.34 | -0.13 | 0.25 | 0.00 |
| 17 | VALORSUL | 38.83 | -9.08 | 0.15 | -0.08 | 0.10 | -0.05 |
| 18 | Povoa de Santa Iria | 38.86 | -9.06 | 0.18 | 0.00 | 0.20 | 0.00 |
| 19 | Alhandra | 38.92 | -9.01 | 0.26 | 0.18 | 0.30 | 0.09 |
| 20 | Vila Franca de Xira | 38.94 | -8.99 | 0.30 | 0.22 | 0.32 | 0.11 |
| 21 | Carregado - terra | 39.01 | -8.94 | 0.00 | 0.48 | 0.28 | 0.15 |

Partindo das alturas de maré do porto de Lisboa e com os valores de concordância dos vários pontos foram calculadas as suas elevações de maré em cada data e hora das imagens escolhidas do Sentinel-2. Para isso, foi efetuada uma interpolação linear entre o valor de altura de maré, posteriormente transformado em elevação de maré através da subtração do valor do ZH, em águas-vivas e o valor na data e hora de aquisição das imagens. Deste modo, foi necessário saber, para cada data, quantos dias tinham passado desde a última MV. Para tal, analisaram-se as tabelas de maré mensais entre março e outubro de 2018. Na Figura 3-6, apresenta-se a tabela de maré de março de 2018, onde podemos verificar que a maré de dia 21 ocorreu 2 dias após uma maré de AV. No decorrer desta dissertação, e sempre que se justifique, será demonstrada a aplicação da metodologia à primeira data, 21/03/2018 sendo que o processo para as restantes datas foi semelhante.

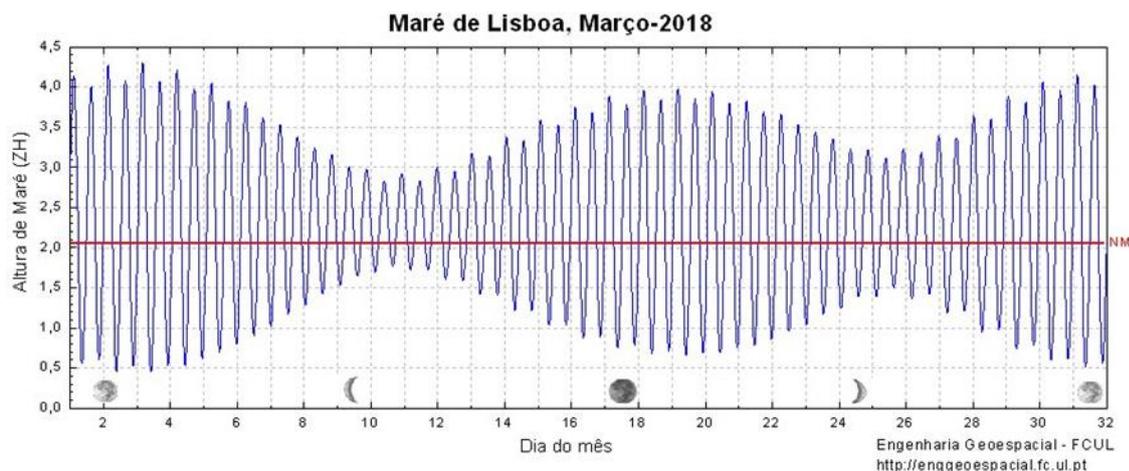


Figura 3-6 -Gráfico mensal da maré de Lisboa, relativo a março de 2018. [Extraído de Antunes (2007)]

Estando determinados todos os parâmetros para a interpolação sinótica da elevação da maré, esta foi efetuada com recurso ao software Excel da Microsoft. Na Tabela 3-5, encontra-se a configuração do ficheiro Excel e a determinação da elevação de maré da primeira data. Na determinação das diferentes datas apenas foi necessário alterar o valor da elevação de maré no dia desejado e o número de dias após a última MV na segunda linha das colunas 16 e 15, respetivamente. Efetuando esta transformação para todas as datas obtiveram-se os valores finais de elevação da maré para os pontos de concordância expressos na Tabela 3-6.

Tabela 3-5 - Excel de transformação de maré em Lisboa para a maré dos pontos de concordância do dia 21 de março de 2018

| ID | Nome | Concord. (PMAV) | Concord. (BMAV) | Concord. (PMAM) | Concord. (BMAM) | EM | | AM_AV | R(AV) | EM | | AM_AM | R(AM) | 2 | EM_AV |
|----|---------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|-------|
| | | | | | | PMAV | BMAV | | | PMAM | BMAM | | | | |
| | | | | | | 2.20 | -1.47 | 3.67 | | 0.81 | -0.29 | 1.10 | | | |
| 1 | Oeiras | -0.32 | 0.07 | -0.26 | 0.00 | 1.88 | -1.40 | 3.28 | 0.89 | 0.55 | -0.29 | 0.84 | 0.76 | 0.86 | -1.10 |
| 2 | Paço de Arcos | -0.33 | 0.05 | -0.24 | 0.00 | 1.87 | -1.42 | 3.29 | 0.90 | 0.57 | -0.29 | 0.86 | 0.78 | 0.86 | -1.11 |
| 3 | Pedrouços | -0.22 | 0.02 | -0.17 | 0.00 | 1.98 | -1.45 | 3.43 | 0.93 | 0.64 | -0.29 | 0.93 | 0.85 | 0.91 | -1.17 |
| 4 | Cova do Vapor | -0.32 | 0.05 | -0.22 | 0.00 | 1.88 | -1.42 | 3.30 | 0.90 | 0.59 | -0.29 | 0.88 | 0.80 | 0.87 | -1.12 |
| 5 | Trafaria | -0.26 | 0.02 | -0.19 | 0.00 | 1.94 | -1.45 | 3.39 | 0.92 | 0.62 | -0.29 | 0.91 | 0.83 | 0.90 | -1.16 |
| 6 | Terreiro do Paço | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.20 | -1.47 | 3.67 | 1.00 | 0.81 | -0.29 | 1.10 | 1.00 | 1.00 | -1.29 |
| 7 | Olho de Boi | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.22 | -1.47 | 3.69 | 1.01 | 0.81 | -0.29 | 1.10 | 1.00 | 1.00 | -1.30 |
| 8 | Cacilhas | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.20 | -1.47 | 3.67 | 1.00 | 0.81 | -0.29 | 1.10 | 1.00 | 1.00 | -1.29 |
| 9 | Arsenal do Alfeite | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.22 | -1.47 | 3.69 | 1.01 | 0.81 | -0.29 | 1.10 | 1.00 | 1.00 | -1.30 |
| 10 | Seixal | 0.07 | 0.02 | 0.00 | 0.06 | 2.27 | -1.45 | 3.72 | 1.01 | 0.81 | -0.23 | 1.04 | 0.95 | 0.99 | -1.28 |
| 11 | Montijo 1 | 0.11 | -0.07 | 0.06 | 0.00 | 2.31 | -1.54 | 3.85 | 1.05 | 0.87 | -0.29 | 1.16 | 1.05 | 1.05 | -1.36 |
| 12 | Montijo 2 | 0.24 | -0.08 | 0.10 | 0.00 | 2.44 | -1.55 | 3.99 | 1.09 | 0.91 | -0.29 | 1.20 | 1.09 | 1.09 | -1.40 |
| 13 | Cabo Ruivo | 0.15 | -0.11 | 0.08 | 0.00 | 2.35 | -1.58 | 3.93 | 1.07 | 0.89 | -0.29 | 1.18 | 1.07 | 1.07 | -1.38 |
| 14 | Alcochete | 0.30 | -0.17 | 0.17 | 0.00 | 2.50 | -1.64 | 4.14 | 1.13 | 0.98 | -0.29 | 1.27 | 1.15 | 1.14 | -1.46 |
| 15 | Trancão | 0.20 | -0.04 | 0.08 | -0.05 | 2.40 | -1.51 | 3.91 | 1.07 | 0.89 | -0.34 | 1.23 | 1.12 | 1.08 | -1.39 |
| 16 | Ponta da Erva | 0.34 | -0.13 | 0.25 | 0.00 | 2.54 | -1.60 | 4.14 | 1.13 | 1.06 | -0.29 | 1.35 | 1.23 | 1.16 | -1.49 |
| 17 | VALORSUL | 0.15 | -0.08 | 0.10 | -0.05 | 2.35 | -1.55 | 3.90 | 1.06 | 0.91 | -0.34 | 1.25 | 1.14 | 1.08 | -1.40 |
| 18 | Póvoa de Santa Iria | 0.18 | 0.00 | 0.20 | 0.00 | 2.38 | -1.47 | 3.85 | 1.05 | 1.01 | -0.29 | 1.30 | 1.18 | 1.09 | -1.40 |
| 19 | Alhandra | 0.26 | 0.18 | 0.30 | 0.09 | 2.46 | -1.29 | 3.75 | 1.02 | 1.11 | -0.20 | 1.31 | 1.19 | 1.07 | -1.38 |
| 20 | Vila Franca de Xira | 0.30 | 0.22 | 0.32 | 0.11 | 2.50 | -1.25 | 3.75 | 1.02 | 1.13 | -0.18 | 1.31 | 1.19 | 1.07 | -1.38 |
| 21 | Carregado - terra | 0.00 | 0.48 | 0.28 | 0.15 | 2.20 | -0.99 | 3.19 | 0.87 | 1.09 | -0.14 | 1.23 | 1.12 | 0.94 | -1.21 |

Tabela 3-6 - Valores de Elevação de Maré obtidos em cada data para os Pontos de Concordância

| ID | Nome | Lat (°) | Long (°) | Valores de Elevação de Maré - 2018 (m) | | | | | | | | |
|----|---------------------|---------|----------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | | | 21/03 | 05/05 | 15/05 | 19/06 | 29/07 | 03/08 | 13/08 | 27/09 | 27/10 |
| 1 | Oeiras | 38.68 | -9.32 | -1.10 | -0.53 | -0.16 | -0.27 | -0.49 | -0.39 | -0.97 | -0.73 | -0.87 |
| 2 | Paço de Arcos | 38.69 | -9.29 | -1.11 | -0.54 | -0.16 | -0.27 | -0.49 | -0.40 | -0.98 | -0.73 | -0.87 |
| 3 | Pedrouços | 38.69 | -9.23 | -1.17 | -0.57 | -0.17 | -0.29 | -0.52 | -0.43 | -1.02 | -0.77 | -0.92 |
| 4 | Cova do Vapor | 38.67 | -9.26 | -1.12 | -0.55 | -0.16 | -0.28 | -0.50 | -0.41 | -0.98 | -0.73 | -0.88 |
| 5 | Trafaria | 38.68 | -9.23 | -1.16 | -0.56 | -0.16 | -0.29 | -0.51 | -0.42 | -1.01 | -0.76 | -0.91 |
| 6 | Terreiro do Paço | 38.71 | -9.14 | -1.29 | -0.66 | -0.18 | -0.33 | -0.56 | -0.49 | -1.11 | -0.83 | -1.01 |
| 7 | Olho de Boi | 38.68 | -9.16 | -1.30 | -0.66 | -0.18 | -0.33 | -0.56 | -0.49 | -1.12 | -0.83 | -1.01 |
| 8 | Cacilhas | 38.69 | -9.15 | -1.29 | -0.66 | -0.18 | -0.33 | -0.56 | -0.49 | -1.11 | -0.83 | -1.01 |
| 9 | Arsenal do Alfeite | 38.67 | -9.15 | -1.30 | -0.66 | -0.18 | -0.33 | -0.56 | -0.49 | -1.12 | -0.83 | -1.01 |
| 10 | Seixal | 38.65 | -9.08 | -1.28 | -0.64 | -0.18 | -0.32 | -0.56 | -0.47 | -1.11 | -0.83 | -1.00 |
| 11 | Montijo 1 | 38.69 | -9.05 | -1.36 | -0.69 | -0.19 | -0.35 | -0.59 | -0.52 | -1.17 | -0.87 | -1.06 |
| 12 | Montijo 2 | 38.70 | -9.01 | -1.40 | -0.72 | -0.20 | -0.36 | -0.61 | -0.53 | -1.21 | -0.90 | -1.10 |
| 13 | Cabo Ruivo | 38.76 | -9.09 | -1.38 | -0.71 | -0.19 | -0.35 | -0.60 | -0.53 | -1.19 | -0.89 | -1.08 |
| 14 | Alcochete | 38.76 | -8.97 | -1.46 | -0.76 | -0.20 | -0.38 | -0.63 | -0.56 | -1.26 | -0.94 | -1.15 |
| 15 | Trancão | 38.80 | -9.09 | -1.39 | -0.73 | -0.19 | -0.36 | -0.60 | -0.54 | -1.19 | -0.89 | -1.09 |
| 16 | Ponta da Erva | 38.83 | -8.97 | -1.49 | -0.79 | -0.21 | -0.39 | -0.64 | -0.59 | -1.27 | -0.95 | -1.17 |
| 17 | VALORSUL | 38.83 | -9.08 | -1.40 | -0.74 | -0.19 | -0.36 | -0.60 | -0.55 | -1.19 | -0.89 | -1.09 |
| 18 | Póvoa de Santa Iria | 38.86 | -9.06 | -1.40 | -0.75 | -0.19 | -0.37 | -0.60 | -0.56 | -1.19 | -0.89 | -1.10 |
| 19 | Alhandra | 38.92 | -9.01 | -1.38 | -0.75 | -0.19 | -0.37 | -0.59 | -0.56 | -1.16 | -0.87 | -1.08 |
| 20 | Vila Franca de Xira | 38.94 | -8.99 | -1.38 | -0.75 | -0.19 | -0.37 | -0.59 | -0.56 | -1.16 | -0.87 | -1.08 |
| 21 | Carregado - terra | 39.01 | -8.94 | -1.21 | -0.69 | -0.16 | -0.33 | -0.51 | -0.51 | -1.00 | -0.75 | -0.95 |

Os valores de elevação de maré para cada data foram seguidamente exportados para ficheiros de texto (.txt). Após este procedimento procedeu-se à sua importação no ArcGis Pro, para adicionar as coordenadas de cada ponto de concordância a uma geometria pontual de uma shapefile, a qual foi transformada para o sistema de coordenadas ERTS89 PT/TM06. Estes novos pontos serviram de base à criação das superfícies de maré do Estuário do Tejo, através da interpolação dos seus valores de elevação de maré. Assim, recorrendo ao interpolador de curvatura mínima *Spline*, usaram-se os pontos das 9 datas tendo sido obtidas 9 superfícies de maré, uma para cada data.

3.4.2.2.2 Processamento das Imagens de Satélite

A batimetria do Estuário do Tejo proveniente do IH apresenta uma resolução espacial de 25 m, o que para o propósito de estudos relacionados com a subida do NMM é francamente grosseira. Como tal, nesta dissertação, procurou-se desenvolver uma metodologia nova, baseada no trabalho de Bué et al. (2020), para refinar os dados relativos às cotas do raso de maré. O processo desenvolvido, recorreu à análise de imagens do satélite Sentinel-2 para a determinação da transição entre a zona imersa e emersa do raso de maré, para determinado dia e hora, e posterior atribuição de cota proveniente da análise da elevação de maré do estuário. Assim, este método foi constituído por duas fases: a aquisição e processamento das imagens e a determinação da maré.

Nesta dissertação foram utilizadas 18 imagens de satélite do Sentinel-2 adquiridas entre março e outubro de 2018. Contudo, foram apenas selecionadas 9 datas, expressas na Tabela 3-8, sendo necessário obter 2 imagens por data devido ao facto da área de estudo se encontrar em órbitas distintas do satélite, para uma posterior junção de imagens. Relativamente à data das imagens optou-se pela utilização das mesmas datas do trabalho base de Bué et al. (2020) com o objetivo de poder comparar a precisão do método na determinação da cota. Uma vez que o objetivo é também complementar a informação sobre o raso de maré foram selecionadas apenas as datas correspondentes a baixa-mar na hora de passagem do satélite, ou seja, às 11:21 UTC.

Para esta análise foram obtidas as imagens pretendidas do portal *Copernicus Open Access Hub* (ESA). Idealmente, as imagens deviam ter o formato SA2, ou seja, com a refletância relativa à superfície da Terra (*Bottom Of Atmosphere* - BOA), no entanto apenas estavam disponíveis no formato S1C onde a refletância se refere ao topo da atmosfera (*Top Of Atmosphere* - TOA). Assim, foi necessária uma etapa extra de conversão de formatos onde se recorreu ao software da ESA Sen2Cor. Deste modo, foram então

adquiridas as 18 imagens SA2 da área de estudo que de seguida foram processadas utilizando outro software da ESA, neste caso o SNAP.

No SNAP começou-se por fazer a *Resampling* das bandas das imagens, visto que entre as várias bandas existem diferentes valores de resolução espacial, utilizando como referência a banda 2, dado que possui o valor mais baixo, neste caso 10 m de resolução espacial. De seguida, procedeu-se à junção das imagens por datas de modo a diminuir o número de ficheiros a processar de 18 para 9. Para tal, foi utilizada a ferramenta *Mosaicking*, onde se selecionaram as imagens a juntar, e onde foi possível especificar quais as bandas desejadas para a imagens final. Neste trabalho combinaram-se as bandas 2 a 8 e as bandas 11 e 12. Estas bandas correspondem respetivamente às bandas do espectro do visível e dos infravermelhos. A resolução espacial foi especificada para 10 m e o sistema de coordenadas associado foi o WGS84/UTM Zone 29. Tendo em conta a extensão geográfica da área de estudo, o passo seguinte foi recortar as imagens pela região especificada pelas coordenadas presentes na Tabela 3-7. Deste processo resultaram então 9 imagens com dimensões 4254 x 5931 pixéis - Figura 3-7.

Tabela 3-7 - Coordenadas de Corte para o Substet das Imagens de Satélite

| Coordenadas de Corte | |
|----------------------|--------|
| Norte (N) | 39°078 |
| Oeste (W) | -9°379 |
| Sul (S) | 38°544 |
| Este (E) | -8°885 |



Figura 3-7 - Resultados do Substet para as Imagens de Satélite das 9 datas em estudo

Seguidamente determinou-se, para cada data, o indicador NDWI utilizando a ferramenta com o mesmo nome “NDWI”, que foi executado com os parâmetros pré-definidos, sendo apenas especificados os dados de entrada (i.e., a imagem a processar). Os resultados destas operações serviram de base à operação seguinte onde foi efetuada a sobreposição geográfica e temporal das diferentes imagens através da função *Collocation*. Terminado o processamento, obteve-se uma única imagem com 9 bandas, correspondentes ao NDWI de cada data, com resolução espacial de 10 m, ordenadas temporalmente (1ª banda – 21 de março, ..., 9ª banda – 27 de outubro).

Tendo já os valores de NDWI das várias datas procedeu-se à extração da área de raso de maré. Para tal, foi elaborado um programa em *python* onde a imagem proveniente do SNAP seria analisada de acordo com o fluxo de processos da Figura 3-8. De uma forma simplificada, este processamento consistiu na determinação dos limites superior e inferior do raso de maré para as várias datas, apresentados na Tabela 3-8, de modo a permitir a segmentação do mesmo. É importante salientar que a função *Save Raster* foi elaborada com o propósito de exportar as áreas de raso de maré das várias datas, Figura 3-9, em formato GeoTiff, para posterior processamento no ArcGis Pro.

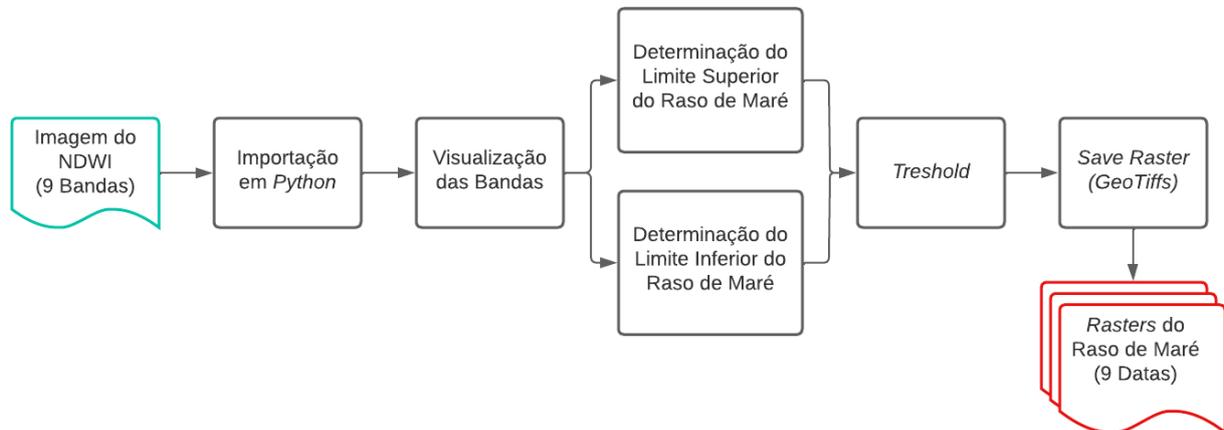


Figura 3-8 - Fluxograma do processo de extração da área de raso de maré da imagem do NDWI com recurso a um programa em Python

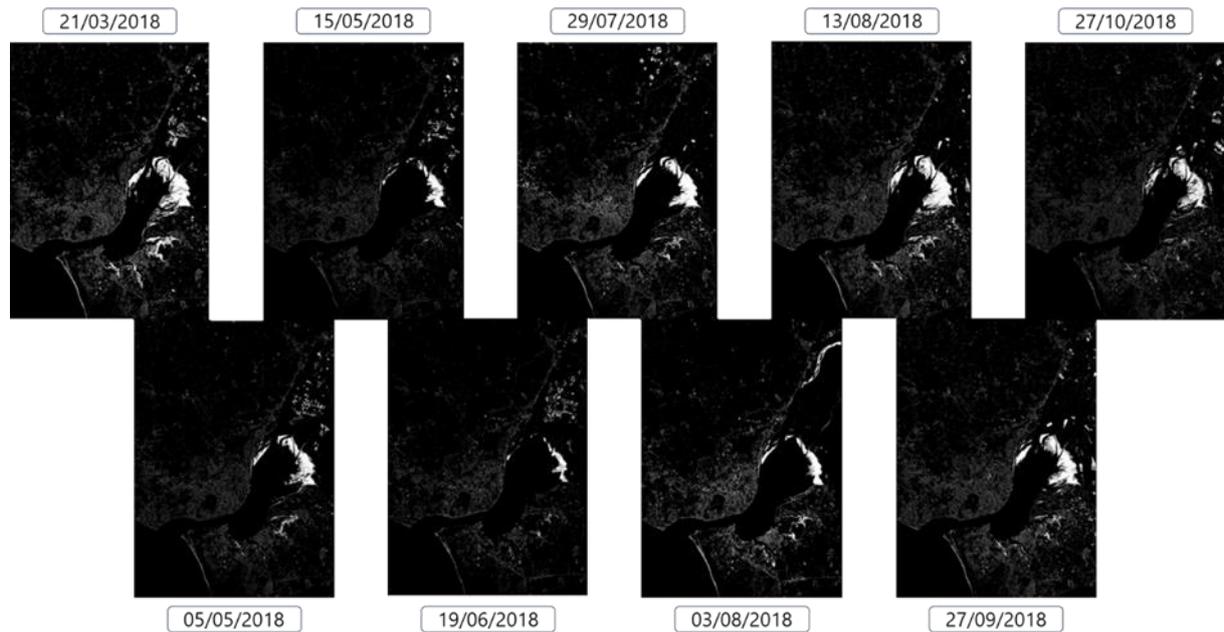


Figura 3-9- Resultados Binários da Delimitação do Raso de Maré para as Imagens de Satélite das 9 datas em estudo com base nos valores do NDWI

Tabela 3-8 - Valores de Threshold delimitadores do Raso de Maré para as datas em estudo (valores do NDWI de -1 a 1)

| Data | Limites do Threshold | |
|------------|----------------------|----------|
| | Inferior | Superior |
| 21/03/2018 | 0.18 | 0.26 |
| 05/05/2018 | 0.18 | 0.23 |
| 15/05/2018 | 0.16 | 0.21 |
| 19/06/2018 | 0.11 | 0.16 |
| 29/07/2018 | 0.14 | 0.21 |
| 03/08/2018 | 0.14 | 0.20 |
| 13/08/2018 | 0.16 | 0.23 |
| 27/09/2018 | 0.15 | 0.22 |
| 27/10/2018 | 0.21 | 0.26 |

No ArcGis Pro foram efetuados os restantes passos de determinação do limite inferior do raso de maré. Este processo consistiu na transformação das superfícies de raso de maré das várias datas em polígonos para posterior conversão em linhas. As linhas obtidas correspondiam então aos limites do raso de maré de cada data tendo sido necessário eliminar, de forma manual, o limite superior do raso de maré. Visto que o objetivo final desta etapa é a geração de um MTB com várias fontes de informação, foi ainda necessário transfigurar as linhas para pontos especificando que a distância entre os pontos seria de 25 m tendo de incluir os pontos iniciais e finais das linhas. Terminado este processo obtiveram-se então 9 *shapefiles* do tipo ponto correspondentes ao nível da maré das 9 datas em estudo aquando da aquisição das imagens de satélite. De uma forma simplificada, o fluxo dos processos de transformação para a obtenção dos pontos correspondentes ao nível de maré encontra-se na Figura 3-10.

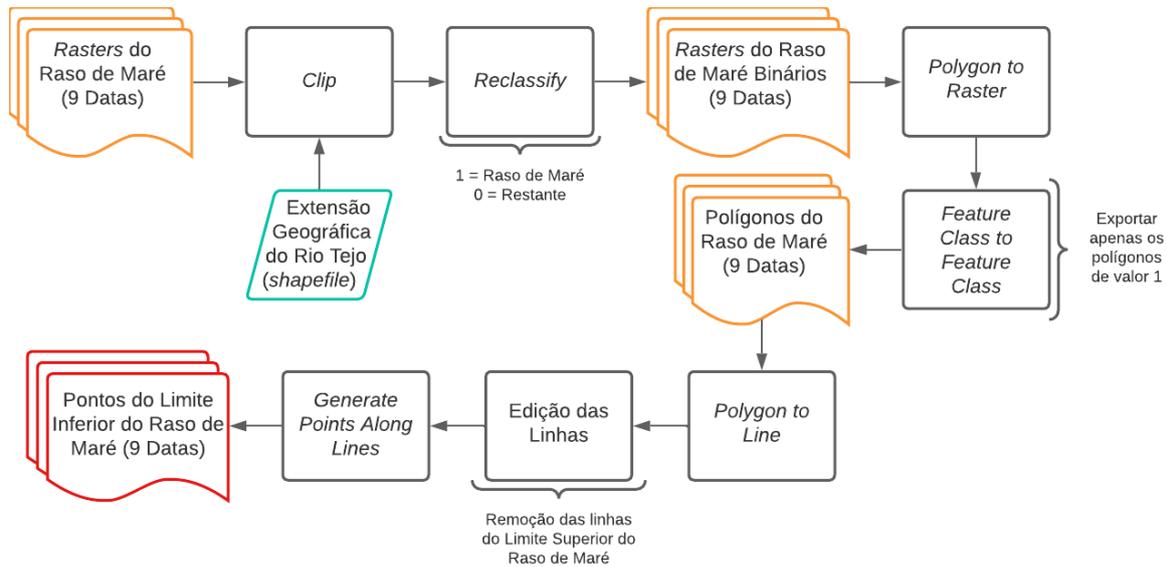


Figura 3-10 - Fluxograma do processo de transformação para a obtenção dos pontos do limite inferior do raso de maré

Na Figura 3-11 apresenta-se a distribuição de alguns pontos do Estuário do Tejo para as 9 datas em estudo. Utilizando as superfícies de elevação da maré previamente geradas, e recorrendo à função *Extract Values to Points*, atribuiu-se a cada ponto de cada data um valor de elevação de maré extraídos das respetivas superfícies de maré. Por fim, tendo já os pontos com informação altimétrica para todas as datas efetuou-se a junção das 9 *shapefiles* numa nova e única *shapefile* através da operação *Merge*. Para evitar futuros problemas relacionados com a sobreposição de pontos, efetuou-se o *Dissolve* pela média dos valores, ou seja, para pontos sobrepostos foi calculado o valor médio de elevação de maré dos pontos, de modo a atribuir a um único ponto representativo dessa localização esse valor.

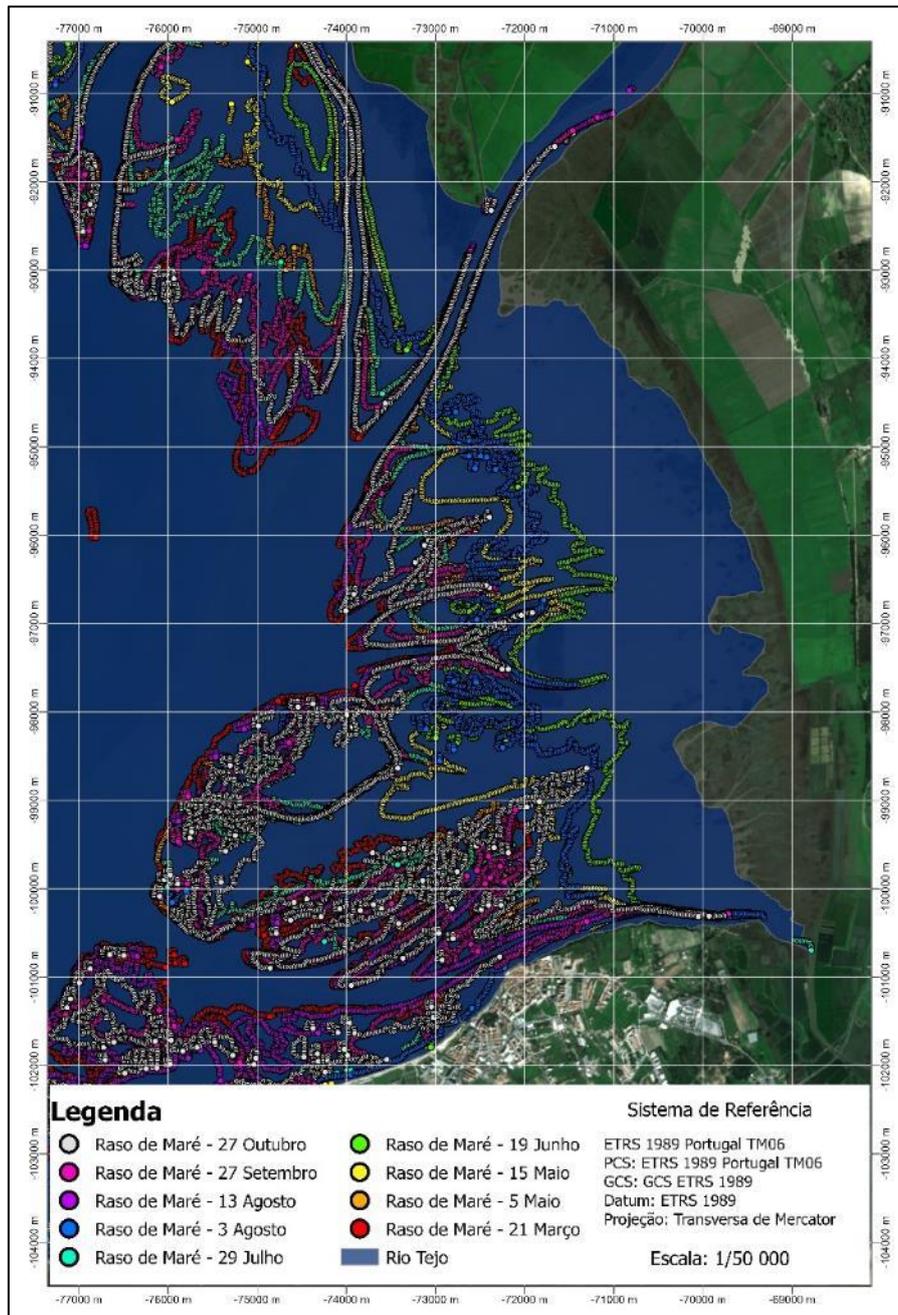


Figura 3-11 - Pontos do Nível de Maré às 11:21 (UTC) de uma pequena zona do Estuário do Tejo para as 9 datas em estudo

3.4.3 Modelo Topo-Batimétrico

3.4.3.1 Modelo Topo-Batimétrico Final

Determinado o MDT e adquirida a batimetria, quer do IH quer de dados provenientes de imagens de satélite, foi então possível calcular o MTB final. Para tal, foi necessário começar por definir a extensão da área geográfica de interesse, para posterior recorte, e definir a resolução espacial desejada. Para a resolução espacial optou-se por 25 m, obrigando a uma reamostragem dos valores do MDT. Uma vez que a intenção era combinar os modelos já produzidos, foi preciso converter as duas superfícies, batimetria do IH e MDT, em pontos, para posterior junção com os pontos provenientes de imagens de satélite. Assim, faltava apenas juntar os 3 conjuntos de dados, tendo esse processo sido efetuado com a função *Merge*. Ao conjunto total de pontos foi aplicado um processo de interpolação por *Spline* que originou uma superfície contínua com resolução espacial de 10 m que constitui o MTB. Na Figura 3-12 é possível observar o MTB obtido.

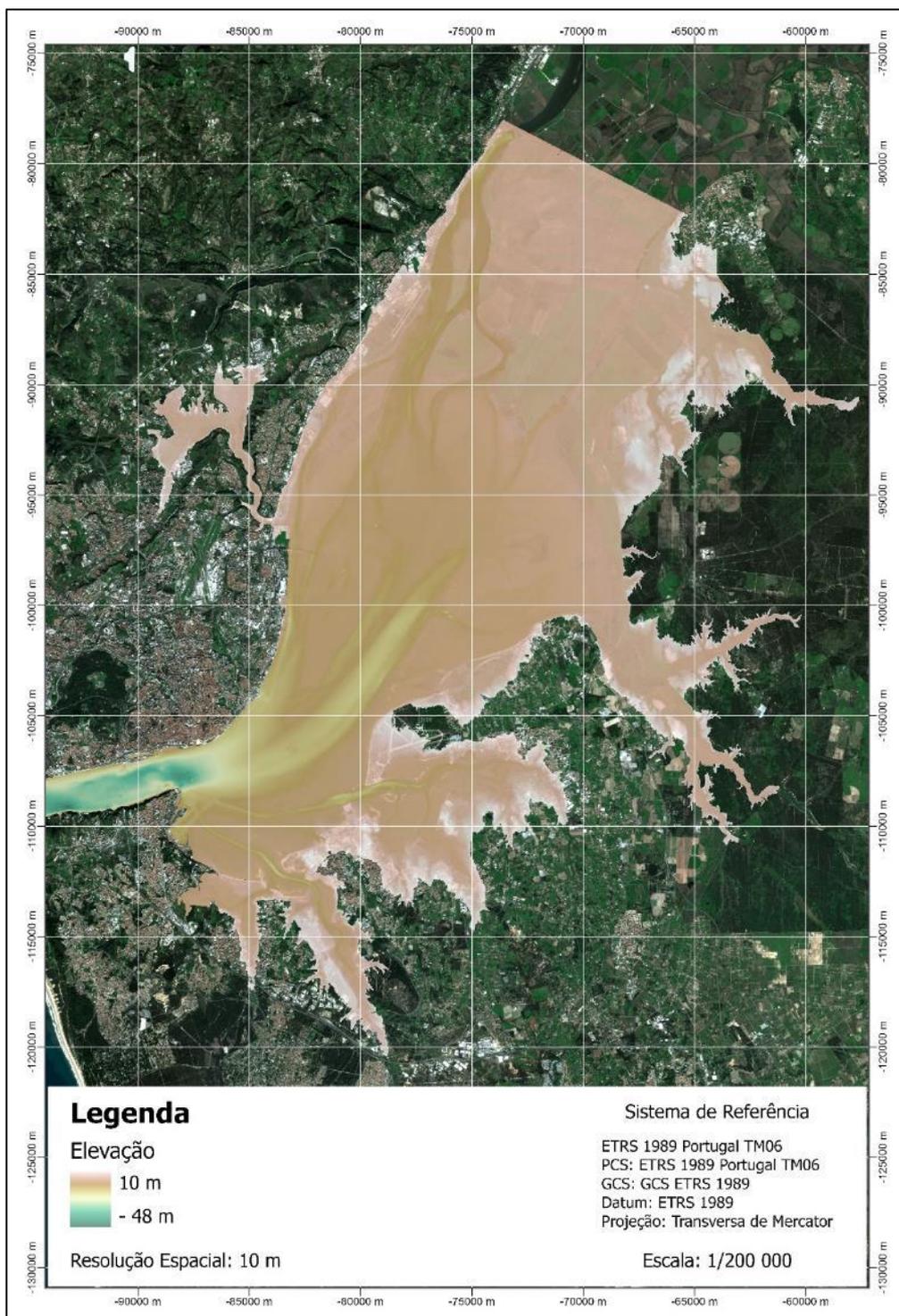


Figura 3-12 - Modelo Topo-Batimétrico do Estuário do Tejo

3.4.3.2 Validação do Modelo Topo-Batimétrico

O controlo da qualidade altimétrica do MTB produzido, tendo em conta as diferentes proveniências dos dados, MDT e batimetria, é indispensável para a correta avaliação de vulnerabilidade dos EI devido à subida do NMM. A compatibilização do MTB com a referência do datum vertical subjacente aos modelos de maré e de subida do NMM é também essencial. Neste estudo, o MDT, foi produzido por fotogrametria e, apesar de ser um método muito eficiente e preciso, não está “livre” de erros, nomeadamente erros de exatidão relativos ao referencial vertical. Além disso, e em relação à batimetria, a introdução de um novo método de determinação da cota do raso de maré pela análise de imagens de

satélite e o seu processamento podem trazer erros grosseiros ao MTB. Assim, o controlo de qualidade deve detetar erros e desvios, apesar de ser muito difícil vincular um erro (ou a sua proporção) a uma causa concreta a fim de os eliminar (Höhle e Höhle, 2009).

A validação do MTB foi realizada através de pontos coordenados pelo método topográfico para o efeito (trabalho de campo realizado a 30 de junho de 2022) de modo a validar e comprovar as cotas do MTB. Com recurso ao método de posicionamento RTK de GNSS, foram coordenados 1045 pontos de validação externa distribuídos por seis locais distintos do Estuário do Tejo: Ponta da Erva, Sítio das Hortas, Samouco, Sarilhos Pequenos, Rosário e Ponta da Passadeira –Tabela 3-9. As coordenadas planimétricas (X, Y) dos pontos recolhidos são referidos ao sistema PT-TM06/ETRS89 (EPSG:3763) e a coordenada vertical (Z) é referida ao Datum Nacional Cascais 1938 e obtida por conversão da altitude elipsoidal ETRS89 através do modelo numérico de geoide, o GeodPT08. Estes pontos foram depois importados e representados no ArcGis Pro, Figura 3-13. De seguida, recorrendo à funcionalidade *Extract Values to Point*, complementou-se a shapefile dos pontos com a adição do valor altimétrico do MTB. Assim, cada ponto possuía dois valores altimétricos: um “medido”, proveniente do trabalho de campo e um “estimado” obtido do MTB. Calculando a diferença dos valores altimétricos, obteve-se o conjunto de resíduos como estimativas do respetivo erro médio através do método de posicionamento, da seguinte forma:

$$resíduos = H_{GNSS} - H_{MTB} \quad (3-1)$$

O cálculo dos resíduos efetuou-se inicialmente a grande escala, ou seja, para a totalidade dos pontos, e após uma análise estatística determinou-se uma média residual de 50 cm com um desvio padrão de 100 cm. Para este tipo de estudo, e um intervalo de confiança de 99% a exatidão deve ser inferior a 2σ , ou seja, duas vezes o valor de precisão de referência. Neste caso o valor de σ (sigma) foi definido pelo IH para os seus levantamentos batimétricos e corresponde a 0.1 m. Assim, o erro médio quadrático a obter tem de ser inferior a 20 cm. Face aos resultados obtidos, acima do valor aceite, foi feita uma análise zonal e calcularam-se as médias e desvios padrões de cada área estando os valores obtidos expressos na Tabela 3-10.

Tabela 3-9 - Locais de Medição de Pontos Coordenados Topograficamente e número de pontos obtido

| Zona | Nº Pontos Coordenados |
|---------------------|-----------------------|
| Ponta da Erva | 30 |
| Sítio das Hortas | 182 |
| Samouco | 169 |
| Sarilhos Pequenos | 147 |
| Rosário | 375 |
| Ponta da Passadeira | 142 |

Tabela 3-10 - Média e Desvio Padrão do Resíduos dos Pontos Coordenados Topograficamente

| Zona | Média Residual (cm) | Desvio Padrão (cm) |
|---------------------|---------------------|--------------------|
| Ponta da Erva | 59 | 108 |
| Sítio das Hortas | 11 | 27 |
| Samouco | 128 | 79 |
| Sarilhos Pequenos | 34 | 47 |
| Rosário | 103 | 70 |
| Ponta da Passadeira | -97 | 78 |

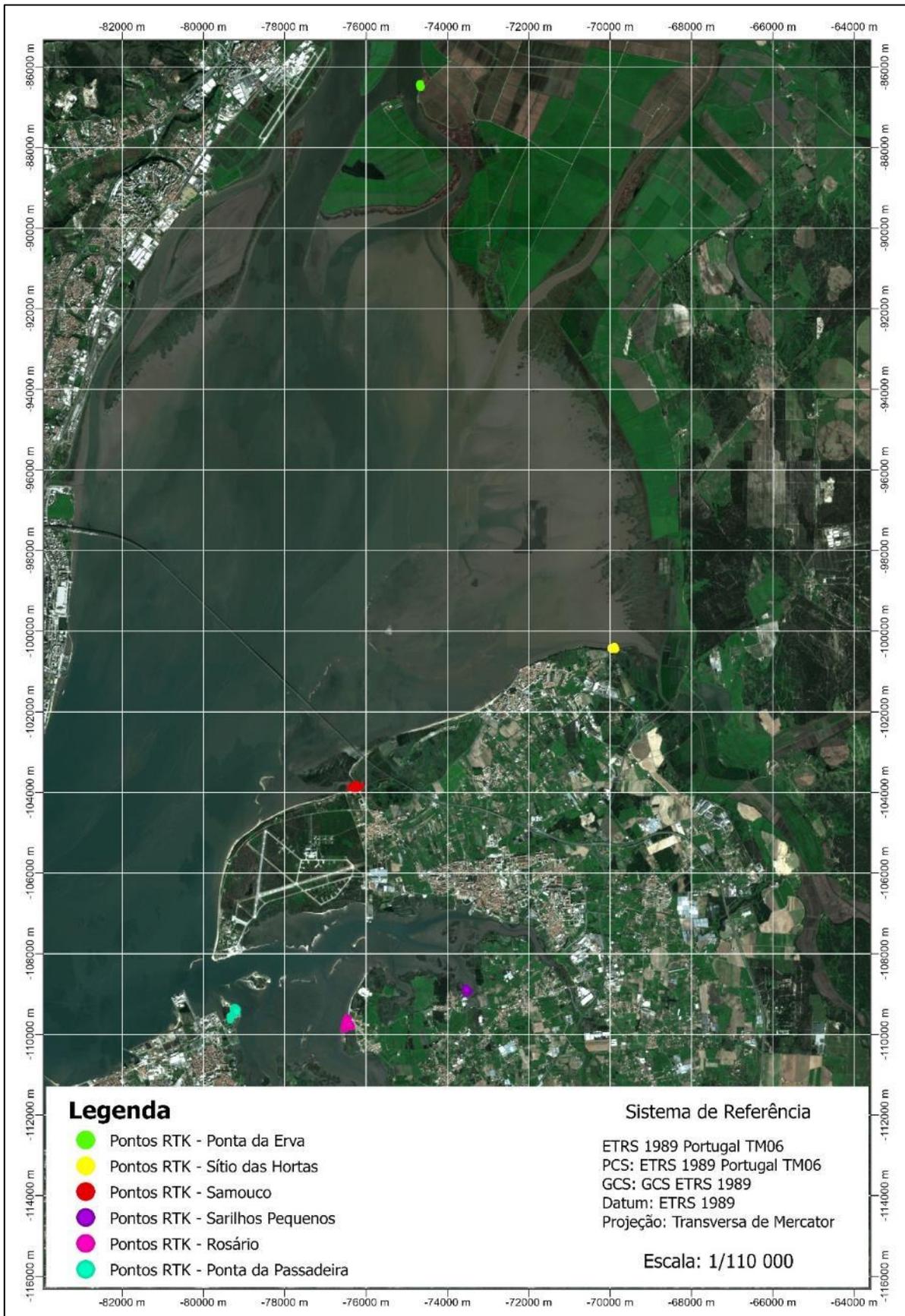


Figura 3-13 - Localização dos pontos coordenados por Topografia, com recurso a um recetor GPS e uma estação total topográfica.

Os resultados obtidos para o erro médio quadrático, por zona, foram novamente superiores aos 20 cm de referência e por isso levaram a uma análise mais detalhada de cada área de modo a ser perceptível se se tratava de uma falha metodológica ou se teria origem “externa”. No geral identificaram-se duas causas que poderiam justificar estes elevados valores residuais. A primeira prendia-se com a incorreta representação do terreno devido a grandes oscilações altimétricas entre os últimos pontos do MDT e os primeiros pontos da batimetria. Por exemplo, no Rosário (Figura 3-13), existe uma variação de declive, Figura 3-14, que provoca uma incompatibilidade entre o terreno e a superfície inclinada definida pela integração do MDT e da batimetria. Assim, se analisarmos a Figura 3-14, podemos constatar que a coordenação de um ponto, neste caso o ponto azul, teria no MTB o seu ponto homólogo, ponto amarelo, a uma cota superior e incorreta.



Figura 3-14 - Representação Esquemática do Problema de Coerência entre o MDT e a Batimetria

O outro problema detetado relaciona-se com o intervalo de tempo decorrido entre os dados utilizados, 2014, 2015 e 2018 e a atualidade. Isto porque alguns dos pontos coordenados encontravam-se em zonas de grande dinâmica sedimentar podendo por isso ter sofrido alterações ao longo dos últimos anos.

Este processo de validação pretendeu, principalmente, analisar a precisão da nova metodologia de determinação do raso de maré. Considerando os possíveis erros mencionados, optou-se pela determinação dos resíduos comparando os pontos obtidos por análise de imagens de satélite com a batimetria total do IH. Assim, obteve-se a distribuição dos resíduos apresentados na Figura 3-15 onde se verifica uma média residual de 0.13 m e um desvio padrão de 0.52 m. Este valor é, novamente, superior ao valor de precisão posicional exigido o que indica algumas incompatibilidades entre os valores do IH e os valores extraídos das imagens de satélite. Estas incongruências podem resultar de vários fatores, nomeadamente a diferença de datas de aquisição dos dados. Sendo os EI áreas de grande dinâmica sedimentar a disparidade das datas pode condicionar a análise final dos resíduos. Assim, para uma correta análise da exatidão da metodologia proposta nesta dissertação para a geração de um modelo batimétrico deveriam ter sido utilizados dados batimétricos mais recentes.

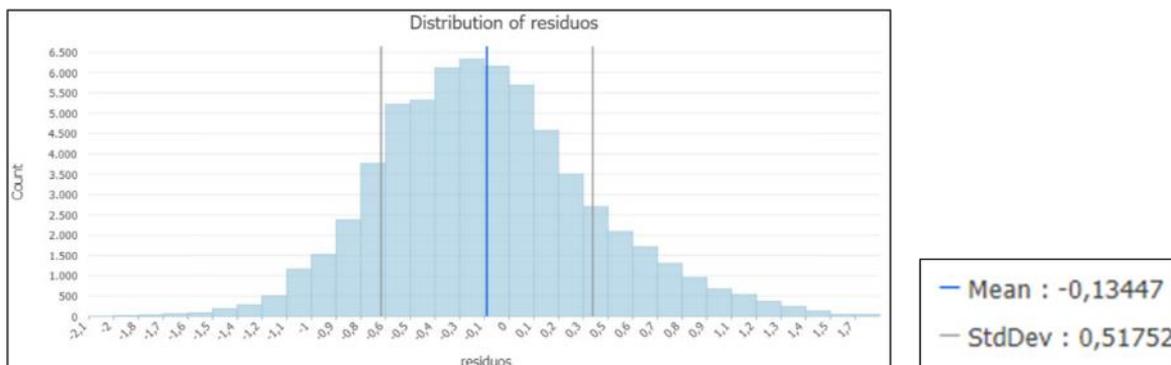


Figura 3-15 - Distribuição dos Resíduos entre a Batimetria do IH e a Batimetria determinada a partir de imagens de satélite

3.5 Cenários de Subida do Nível Médio do Mar

Nesta dissertação optou-se por utilizar como cenários de subida do NMM valores fixos de subida, com intervalos de 50 cm, ao invés de estimativas baseadas em projeções ou cenários climáticos para certos períodos temporais (por exemplo 2050 ou 2100). Assim, decidiu-se trabalhar com 4 valores distintos de subida do NMM: 50 cm, 100 cm, 150 cm e 200 cm, em relação à data média dos dados do modelo altimétrico. Deste modo é necessário adicionar 15 cm devido à subida do NMM verificada no marégrafo de Cascais até ao ano de referência dos dados (2010), passando os valores de subida do NMM a ser: 65 cm, 115 cm, 165 cm e 215 cm. Esta opção prende-se com o facto de existir a certeza de que estas subidas irão efetivamente acontecer, mais cedo ou mais tarde, havendo apenas a incerteza de quando é que irão ocorrer. Enquanto considerar projeções de subida do NMM para períodos temporais fixos implicaria introduzir incerteza no próprio valor de subida do NMM o que tornaria difícil incorporá-la na análise. Assim, optou-se por trabalhar com valores certos em vez de valores incertos dados pelas projeções.

Dado que o objetivo final desta dissertação passa pela análise da evolução dos EI face à subida do NMM, foi necessário determinar a distribuição e extensão destes ecossistemas para um período de referência, neste caso à data dos dados do MTB, para servir de termo de comparação.

As margens do Estuário do Tejo, nomeadamente a sua ocupação do solo, têm também um importante papel na implementação destes cenários. Deste modo, foi preciso definir como irão reagir estas zonas. Devido à sua importância socioeconómica, assumiu-se que do ponto de vista da gestão do território irá existir sempre preservação/proteção das áreas agrícolas supondo que serão implementadas medidas para minimizar o impacto da subida do NMM. Assim, nenhum dos EI poderá acomodar-se futuramente nestas zonas de forma natural. A alternativa seria extremamente complexa e talvez impossível de estimar, já que se desconhece à partida quais seriam as medidas a adotar na adaptação das áreas agrícolas à subida do NMM. Para determinar o impacto das áreas artificializadas na capacidade de migração das áreas intermareais em estudo, optou-se por utilizar dois panoramas distintos, um com preservação dessas áreas, com a adoção de medidas de proteção e outro em que existe realocação das áreas urbanas, permitindo o avanço natural dos extremos de maré. Por fim, para averiguar o impacto de um MTB dinâmico, ou seja, com dinâmica sedimentar ao longo do tempo, utilizaram-se taxas de assoreamento do raso de maré e dos sapais para atenuar os efeitos da subida do NMM, através do processo natural de assoreamento dessas áreas.

Na totalidade, foram gerados 16 cenários de subida do NMM no Estuário do Tejo (Tabela 3-11) correspondentes aos 4 níveis de subida do NMM para os 3 cenários de adaptação das margens do estuário tendo em conta os 2 cenários de dinâmica sedimentar.

Tabela 3-11 - Simplificação dos 16 cenários de subida do NMM no Estuário do Tejo abordados neste subcapítulo

| Classes de Ocupação do Solo a Preservar | Subida do NMM de 50 cm | | Subida do NMM de 100 cm | | Subida do NMM de 150 cm | | Subida do NMM de 200 cm | |
|---|------------------------|------------------|-------------------------|------------------|-------------------------|------------------|-------------------------|------------------|
| | Sem Assoreamento | Com Assoreamento | Sem Assoreamento | Com Assoreamento | Sem Assoreamento | Com Assoreamento | Sem Assoreamento | Com Assoreamento |
| Agricultura | ✓ | - | ✓ | - | ✓ | - | ✓ | - |
| Artificializado | - | ✓ | - | ✓ | - | ✓ | - | ✓ |
| Agricultura e Artificializado | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

Nos cenários estabelecidos para a ocupação do solo, ou seja, com e sem adaptação das áreas agrícolas e artificializadas, a metodologia foi semelhante, diferindo apenas no último passo. Relativamente aos cenários de subida do NMM a sua determinação é semelhante para todos os valores, dependendo apenas do valor considerado.

Este subcapítulo estará então dividido entre a determinação das áreas relativas ao período de referência, áreas relativas aos cenários sem assoreamento e às áreas relativas aos cenários com dinâmica sedimentar.

3.5.1 Cenários Sem Assoreamento

3.5.1.1 Período de Referência

No capítulo 2.1.8 especifica-se que a delimitação dos 3 EI em estudo, raso de maré, baixo sapal e alto sapal, pode ser efetuada recorrendo à cota das áreas, mais concretamente a níveis de maré já determinados e cientificamente aceites. Assim, e após consulta da Tabela de Médias e Extremos do Modelo de Previsão de Marés Astronómicas da FCUL resultante da Análise Harmónica dos dados do marégrafo do Terreiro do Trigo de 2007, identificam-se os seguintes limites para o porto de Lisboa:

Tabela 3-12 - Valores de Altura de Maré correspondentes aos limites dos Ecossistemas Intermareais (relativos ao ZH)

| | Limite Inferior (m) | Limite Superior (m) |
|--------------|---------------------|---------------------|
| Raso de Maré | 0.34 | 3.17 |
| Baixo Sapal | 3.17 | 3.60 |
| Alto Sapal | 3.60 | 4.41 |

Tal como na elaboração das Superfícies de Concordância (Subcapítulo 3.4.2.2.1) foi efetuado o transporte dos valores de altura de maré do Terreiro do Paço para os 21 pontos de concordância no Estuário do Tejo, com a adicional conversão em elevação da maré através da subtração do valor de ZH respetivo, Tabela 3-13.

Tabela 3-13 - Valores de Elevação de Maré para os 21 Pontos de Concordância no Estuário do Tejo tendo como base o valor de Maré no Terreiro do Paço

| | Min. Raso de Maré | Máx. Raso de Maré | Máx. Baixo Sapal | Máx. Alto Sapal |
|---------------------------------------|-------------------|-------------------|------------------|-----------------|
| Altura de Maré (m) – NMM 15 cm | | | | |
| Terreiro do Paço | 0.34 | 3.17 | 3.60 | 4.41 |
| Elevação de Maré (m) | | | | |
| Oeiras | -1.44 | 0.90 | 1.26 | 1.93 |
| Paco de Arcos | -1.46 | 0.91 | 1.28 | 1.96 |
| Pedrouços | -1.55 | 0.97 | 1.35 | 2.07 |
| Cova do Valor | -1.48 | 0.93 | 1.29 | 1.98 |
| Trafaria | -1.52 | 0.95 | 1.33 | 2.04 |
| Terreiro do Paço | -1.74 | 1.09 | 1.52 | 2.33 |
| Olho de Boi | -1.74 | 1.09 | 1.52 | 2.34 |
| Cacilhas | -1.74 | 1.09 | 1.52 | 2.33 |
| Arsenal do Alfeite | -1.74 | 1.09 | 1.52 | 2.34 |
| Seixal | -1.70 | 1.07 | 1.49 | 2.28 |
| Montijo1 | -1.83 | 1.15 | 1.60 | 2.45 |
| Montijo2 | -1.89 | 1.19 | 1.66 | 2.54 |
| Cabo Ruivo | -1.86 | 1.17 | 1.63 | 2.50 |
| Alcochete | -1.99 | 1.24 | 1.73 | 2.66 |
| Trancão | -1.90 | 1.19 | 1.66 | 2.54 |
| Ponta da Erva | -2.05 | 1.28 | 1.79 | 2.74 |
| VALORSUL | -1.91 | 1.20 | 1.67 | 2.56 |
| Póvoa de Santa Iria | -1.94 | 1.22 | 1.70 | 2.60 |
| Alhandra | -1.93 | 1.21 | 1.68 | 2.58 |
| Vila Franca de Xira | -1.93 | 1.21 | 1.68 | 2.58 |
| Carregado - terra | -1.73 | 1.08 | 1.51 | 2.32 |

Com base nos valores da tabela supramencionada, foram geradas no ArcGis Pro, segundo a metodologia do subcapítulo 3.4.2.2.1 as superfícies correspondentes a cada um dos quatro limites (limite inferior do raso de maré, transição entre raso de maré e baixo sapal, transição entre sapais e limite superior do alto sapal). Estas superfícies correspondem à base da delimitação dos EI e, por isso, a sua determinação, independentemente do cenário (referência ou subida do NMM) será sempre de acordo com a metodologia previamente mencionada.

A segmentação do MTB nos ecossistemas desejados foi efetuada intersetando-o com as várias superfícies de limite dos níveis de maré. Mais especificamente, para cada ecossistema, foram efetuadas as três operações condicionais apresentadas na Figura 3-16. Apesar de muito simples, este processo é eficaz pois a sua premissa de funcionamento baseia-se no facto de todos os pixéis maiores que o mínimo de uma classe e menores que o máximo dessa classe pertencerem, obviamente, a essa classe. Assim, terminado este processamento para os 3 EI foram obtidas as respetivas superfícies para o período de referência. Para facilitar cálculos e interpretações posteriores, estes *rasters* foram transformados em polígonos utilizando a função *Raster to Polygon*. Tendo os polígonos que representam os limites dos ecossistemas, os mesmos foram recortados, através da função *Clip*, com base na COS2018, de modo a extrair e eliminar áreas que “atualmente” são classificadas como agrícolas ou artificializadas. Esta opção foi tomada não só para obter maior realismo como para deixar em igualdade de circunstâncias o cenário de referência e os cenários de subida do NMM. Na Figura 3-17, encontram-se os polígonos dos 3 ecossistemas para o período de referência.

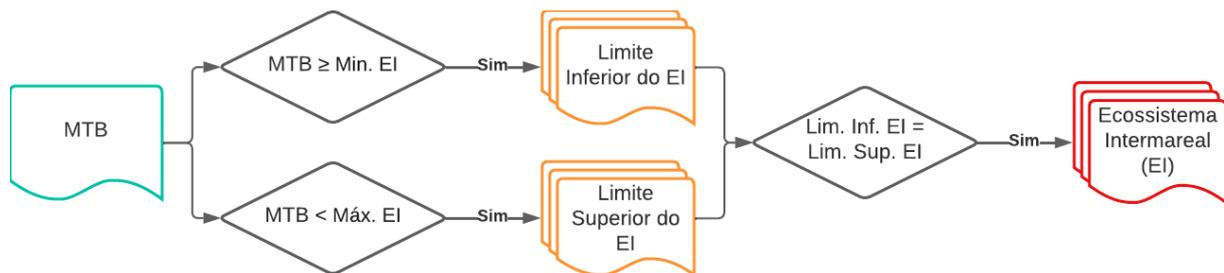


Figura 3-16 - Fluxo de processos condicionais para obtenção das superfícies dos Ecossistemas Intermareais

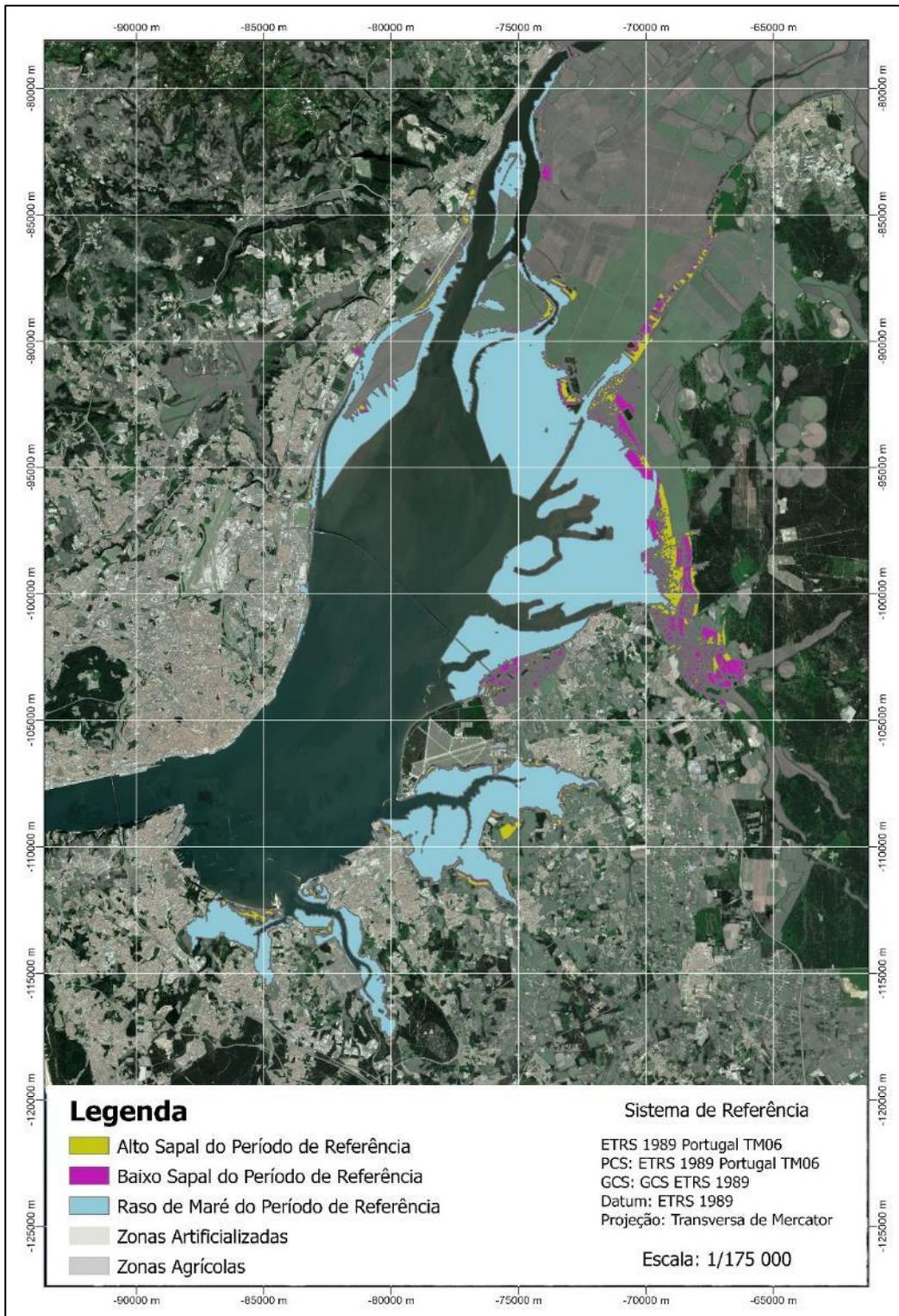


Figura 3-17- Polígonos dos Ecossistemas Intermareais para o Período de Referência

3.5.1.2 Cenários de Subida do Nível Médio do Mar

Tal como previamente indicado, a metodologia seguida para a obtenção da cartografia base dos EI dos vários cenários foi praticamente igual. De facto, diferiu apenas no valor de maré para o porto de Lisboa aquando da geração das superfícies de concordância dos limites das classes. A este valor, foram, individualmente, adicionados os valores de subida do NMM previamente mencionados (65 cm, 115 cm, 165 cm e 215 cm) e obtidos vários valores para os 21 pontos - Tabela 3-14 a Tabela 3-17.

Tabela 3-14 - Valores de Elevação de Maré para os 21 Pontos de Concordância no Estuário do Tejo para uma subida do NMM de 50 cm face ao período de referência (subida do NMM de 65 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais)

| | Min. Raso de Maré | Máx. Raso de Maré | Máx. Baixo Sapal | Máx. Alto Sapal |
|---|-------------------|-------------------|------------------|-----------------|
| Altura de Maré (m) – subida do NMM 50 cm | | | | |
| Terreiro do Paço | 0.99 | 3.82 | 4.25 | 5.06 |
| Elevação de Maré (m) | | | | |
| Oeiras | -0.90 | 1.44 | 1.80 | 2.47 |
| Paco de Arcos | -0.91 | 1.46 | 1.82 | 2.50 |
| Pedrouços | -0.97 | 1.55 | 1.93 | 2.65 |
| Cova do Valor | -0.93 | 1.48 | 1.84 | 2.53 |
| Trafaria | -0.95 | 1.52 | 1.90 | 2.61 |
| Terreiro do Paço | -1.09 | 1.74 | 2.17 | 2.98 |
| Olho de Boi | -1.09 | 1.74 | 2.18 | 2.99 |
| Cacilhas | -1.09 | 1.74 | 2.17 | 2.98 |
| Arsenal do Alfeite | -1.09 | 1.74 | 2.18 | 2.99 |
| Seixal | -1.07 | 1.70 | 2.13 | 2.92 |
| Montijo1 | -1.15 | 1.83 | 2.28 | 3.13 |
| Montijo2 | -1.19 | 1.89 | 2.36 | 3.25 |
| Cabo Ruivo | -1.17 | 1.86 | 2.33 | 3.19 |
| Alcochete | -1.24 | 1.99 | 2.48 | 3.40 |
| Trancão | -1.19 | 1.90 | 2.37 | 3.25 |
| Ponta da Erva | -1.28 | 2.05 | 2.56 | 3.51 |
| VALORSUL | -1.20 | 1.91 | 2.39 | 3.28 |
| Póvoa de Santa Iria | -1.22 | 1.94 | 2.42 | 3.32 |
| Alhandra | -1.21 | 1.93 | 2.40 | 3.30 |
| Vila Franca de Xira | -1.21 | 1.93 | 2.40 | 3.30 |
| Carregado - terra | -1.08 | 1.73 | 2.16 | 2.96 |

Tabela 3-15 - Valores de Elevação de Maré para os 21 Pontos de Concordância no Estuário do Tejo para uma subida do NMM de 100 cm face ao período de referência (subida do NMM de 115 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais)

| | Min. Raso de Maré | Máx. Raso de Maré | Máx. Baixo Sapal | Máx. Alto Sapal |
|--|-------------------|-------------------|------------------|-----------------|
| Altura de Maré (m) – subida do NMM 100 cm | | | | |
| Terreiro do Paço | 1.49 | 4.32 | 4.75 | 5.56 |
| Elevação de Maré (m) | | | | |
| Oeiras | -0.49 | 1.86 | 2.21 | 2.88 |
| Paco de Arcos | -0.50 | 1.88 | 2.24 | 2.92 |
| Pedrouços | -0.53 | 1.99 | 2.38 | 3.10 |
| Cova do Valor | -0.50 | 1.90 | 2.27 | 2.96 |
| Trafaria | -0.52 | 1.96 | 2.34 | 3.05 |
| Terreiro do Paço | -0.59 | 2.24 | 2.67 | 3.48 |
| Olho de Boi | -0.59 | 2.25 | 2.68 | 3.49 |
| Cacilhas | -0.59 | 2.24 | 2.67 | 3.48 |
| Arsenal do Alfeite | -0.59 | 2.25 | 2.68 | 3.49 |
| Seixal | -0.58 | 2.19 | 2.62 | 3.41 |
| Montijo1 | -0.62 | 2.36 | 2.81 | 3.66 |
| Montijo2 | -0.64 | 2.44 | 2.91 | 3.79 |
| Cabo Ruivo | -0.63 | 2.40 | 2.86 | 3.73 |
| Alcochete | -0.67 | 2.56 | 3.05 | 3.97 |
| Trancão | -0.64 | 2.45 | 2.92 | 3.80 |
| Ponta da Erva | -0.69 | 2.64 | 3.14 | 4.10 |
| VALORSUL | -0.65 | 2.46 | 2.94 | 3.83 |
| Póvoa de Santa Iria | -0.66 | 2.50 | 2.98 | 3.88 |
| Alhandra | -0.65 | 2.48 | 2.95 | 3.85 |
| Vila Franca de Xira | -0.65 | 2.48 | 2.95 | 3.85 |
| Carregado - terra | -0.59 | 2.23 | 2.65 | 3.46 |

Tabela 3-16 - Valores de Elevação de Maré para os 21 Pontos de Concordância no Estuário do Tejo para uma subida do NMM de 150 cm face ao período de referência (subida do NMM de 165 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais)

| | Min. Raso de Maré | Máx. Raso de Maré | Máx. Baixo Sapal | Máx. Alto Sapal |
|--|-------------------|-------------------|------------------|-----------------|
| Altura de Maré (m) – subida do NMM 150 cm | | | | |
| Terreiro do Paço | 1.99 | 4.82 | 5.25 | 6.06 |
| Elevação de Maré (m) | | | | |
| Oeiras | -0.07 | 2.27 | 2.63 | 3.30 |
| Paco de Arcos | -0.08 | 2.30 | 2.66 | 3.34 |
| Pedrouços | -0.08 | 2.44 | 2.82 | 3.54 |
| Cova do Valor | -0.08 | 2.33 | 2.69 | 3.38 |
| Trafaria | -0.08 | 2.40 | 2.78 | 3.48 |
| Terreiro do Paço | -0.09 | 2.74 | 3.17 | 3.98 |
| Olho de Boi | -0.09 | 2.75 | 3.18 | 3.99 |
| Cacilhas | -0.09 | 2.74 | 3.17 | 3.98 |
| Arsenal do Alfeite | -0.09 | 2.75 | 3.18 | 3.99 |
| Seixal | -0.09 | 2.68 | 3.11 | 3.90 |
| Montijo1 | -0.09 | 2.88 | 3.33 | 4.19 |
| Montijo2 | -0.10 | 2.98 | 3.45 | 4.33 |
| Cabo Ruivo | -0.10 | 2.94 | 3.40 | 4.27 |
| Alcochete | -0.10 | 3.13 | 3.62 | 4.54 |
| Trancão | -0.10 | 2.99 | 3.46 | 4.35 |
| Ponta da Erva | -0.11 | 3.23 | 3.73 | 4.69 |
| VALORSUL | -0.10 | 3.01 | 3.49 | 4.38 |
| Póvoa de Santa Iria | -0.10 | 3.06 | 3.54 | 4.44 |
| Alhandra | -0.10 | 3.03 | 3.51 | 4.40 |
| Vila Franca de Xira | -0.10 | 3.03 | 3.51 | 4.40 |
| Carregado - terra | -0.09 | 2.72 | 3.15 | 3.95 |

Tabela 3-17 - Valores de Elevação de Maré para os 21 Pontos de Concordância no Estuário do Tejo para uma subida do NMM de 200 cm face ao período de referência (subida do NMM de 215 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais)

| | Min. Raso de Maré | Máx. Raso de Maré | Máx. Baixo Sapal | Máx. Alto Sapal |
|--|-------------------|-------------------|------------------|-----------------|
| Altura de Maré (m) – subida do NMM 200 cm | | | | |
| Terreiro do Paço | 2.49 | 5.32 | 5.75 | 6.56 |
| Elevação de Maré (m) | | | | |
| Oeiras | 0.34 | 2.68 | 3.04 | 3.71 |
| Paco de Arcos | 0.34 | 2.72 | 3.08 | 3.76 |
| Pedrouços | 0.36 | 2.88 | 3.27 | 3.99 |
| Cova do Valor | 0.35 | 2.75 | 3.12 | 3.81 |
| Trafaria | 0.36 | 2.84 | 3.21 | 3.92 |
| Terreiro do Paço | 0.41 | 3.24 | 3.67 | 4.48 |
| Olho de Boi | 0.41 | 3.25 | 3.68 | 4.49 |
| Cacilhas | 0.41 | 3.24 | 3.67 | 4.48 |
| Arsenal do Alfeite | 0.41 | 3.25 | 3.68 | 4.49 |
| Seixal | 0.40 | 3.17 | 3.59 | 4.39 |
| Montijo1 | 0.43 | 3.41 | 3.86 | 4.71 |
| Montijo2 | 0.45 | 3.53 | 4.00 | 4.88 |
| Cabo Ruivo | 0.44 | 3.47 | 3.93 | 4.80 |
| Alcochete | 0.47 | 3.70 | 4.19 | 5.11 |
| Trancão | 0.45 | 3.54 | 4.01 | 4.89 |
| Ponta da Erva | 0.48 | 3.82 | 4.32 | 5.28 |
| VALORSUL | 0.45 | 3.56 | 4.04 | 4.93 |
| Póvoa de Santa Iria | 0.46 | 3.61 | 4.09 | 5.00 |
| Alhandra | 0.45 | 3.58 | 4.06 | 4.96 |
| Vila Franca de Xira | 0.45 | 3.58 | 4.06 | 4.96 |
| Carregado - terra | 0.41 | 3.22 | 3.65 | 4.45 |

Tendo já os polígonos definidos para as diferentes áreas dos distintos cenários faltava apenas a sua segmentação de acordo com os dois cenários de preservação de classes de ocupação do solo definidos. Numa primeira versão, foram extraídos, com a ferramenta *Clip*, todas as áreas correspondentes a zonas de agricultura. Assim, a suposição passa pela salvaguarda das áreas agrícolas ao longo do tempo, devido à sua importância económica e pela realocação ou abandono das áreas artificializadas ficando essas zonas disponíveis para uma eventual migração do raso de maré ou sapal. Na segunda abordagem, além

da remoção das áreas agrícolas eliminaram-se as áreas artificializadas pressupondo que a sua importância socioeconómica levaria à sua manutenção e proteção, impedindo por isso a acomodação destes ecossistemas nessas zonas. Mais, uma vez, foram elaborados os mapas dos EI, Figura 3-18, Figura 3-19, Figura 3-20 e Figura 3-21, nos quais são visíveis as suas vulnerabilidades face à subida do NMM. A opção de inserção dos resultados desta segunda abordagem no corpo desta dissertação prende-se com a forte ligação existente entre as áreas agrícolas e as áreas artificializadas sendo por isso mais provável que a preservação de uma destas classes implique a preservação da outra. Assim, ao longo deste capítulo, apenas serão ilustrados os resultados de cenários com preservação de áreas agrícolas e artificializadas sendo os restantes remetidos para Anexos (Figura A-1 a Figura A-4).

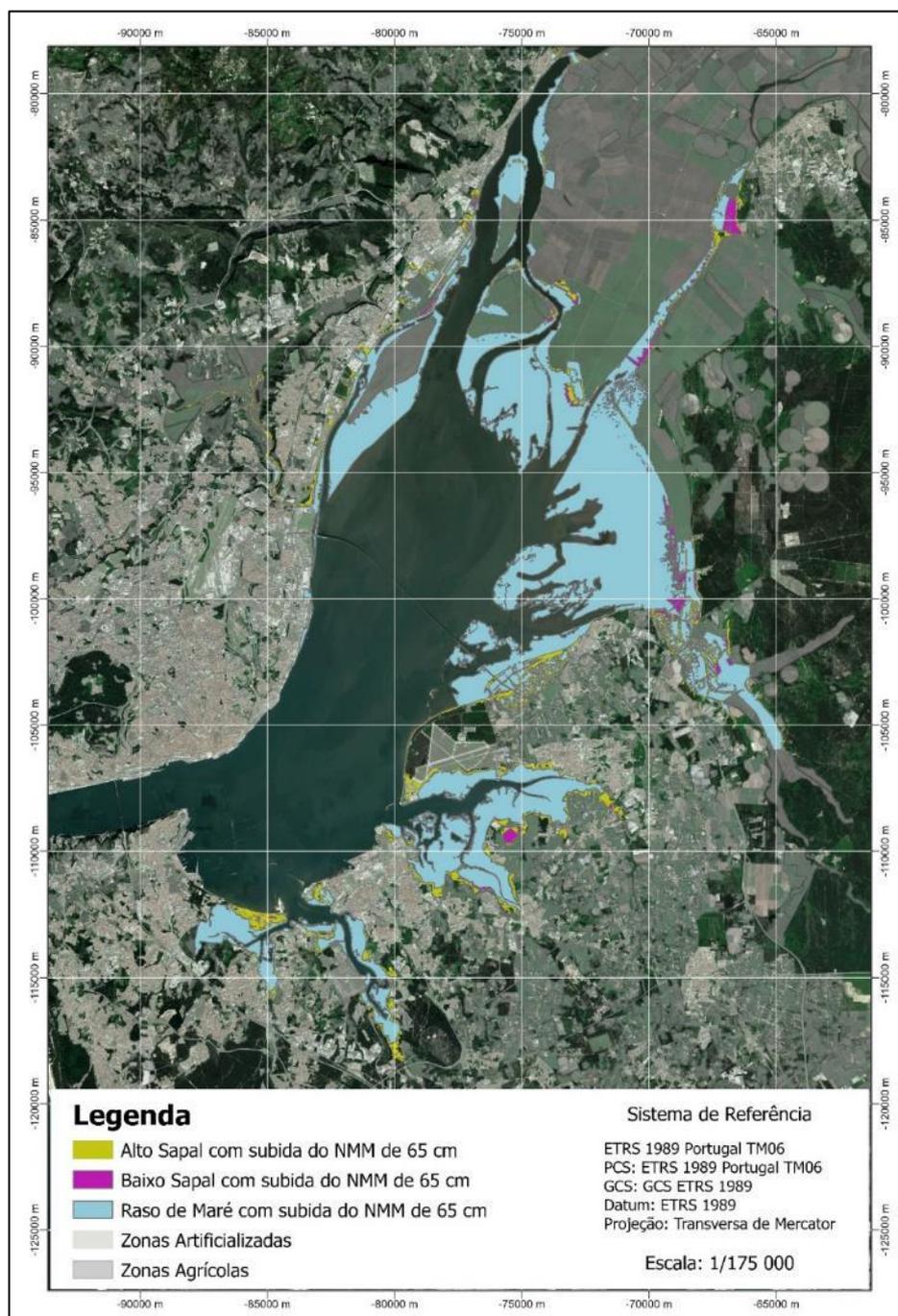


Figura 3-18 - Polígonos dos Ecossistemas Intermareais para uma subida do NMM de 50 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 65 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) e com preservação das áreas agrícolas e artificializadas

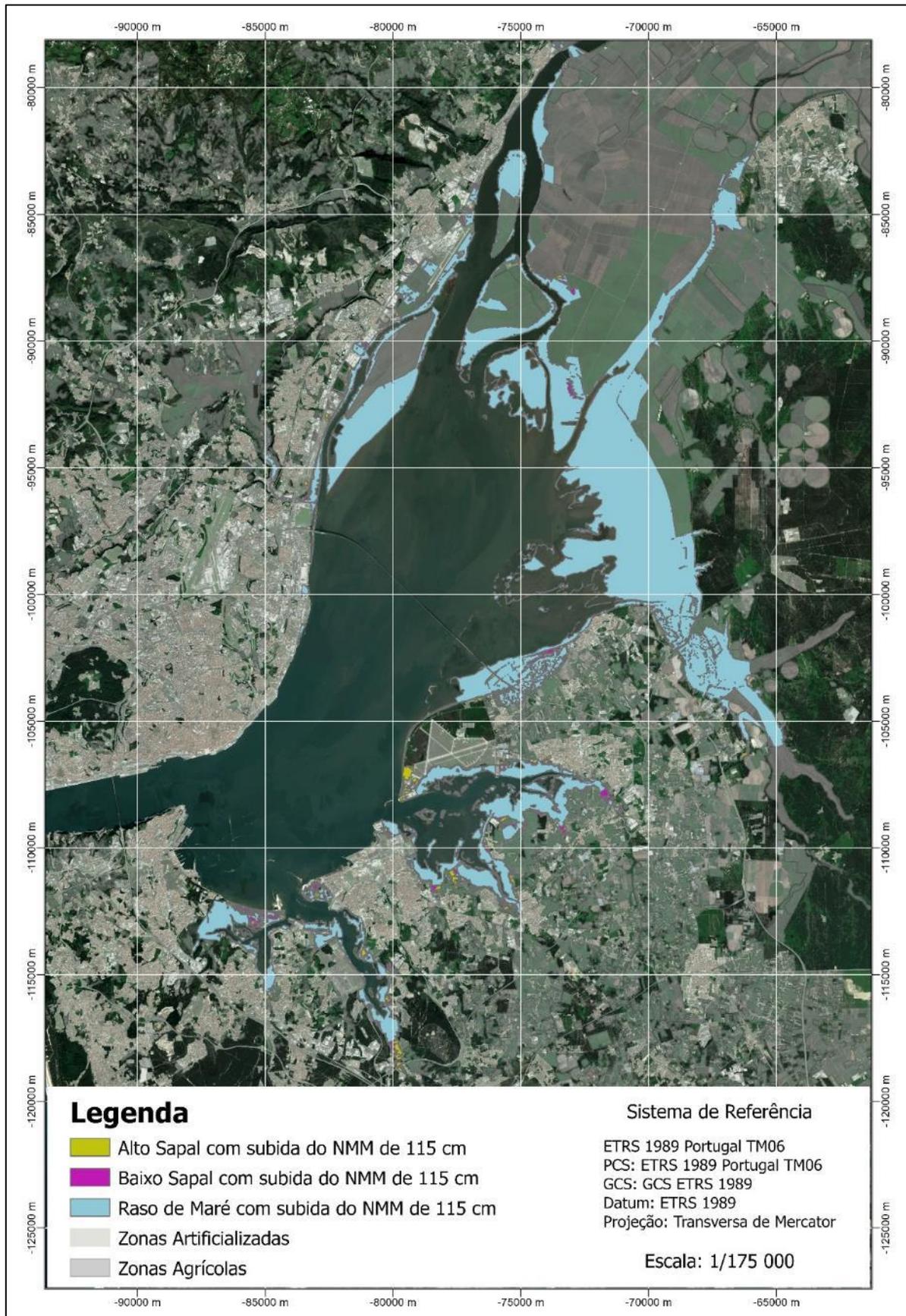


Figura 3-19 - Polígonos dos Ecossistemas Intermareais para uma subida do NMM de 100 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 115 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) e com preservação das áreas agrícolas e artificializadas

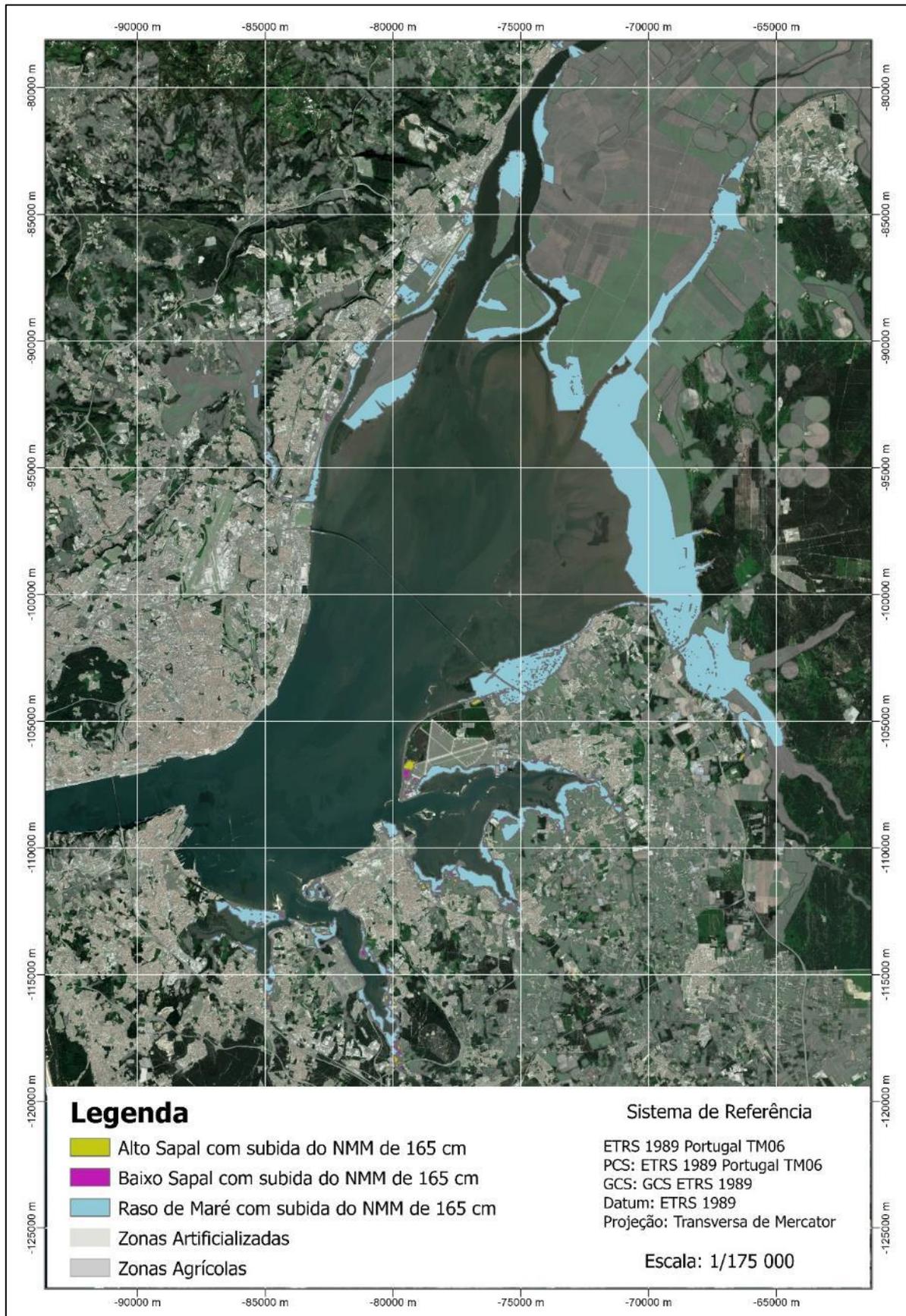


Figura 3-20- Polígonos dos Ecossistemas Intermareais para uma subida do NMM de 150 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 165 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) e com preservação das áreas agrícolas e artificializadas

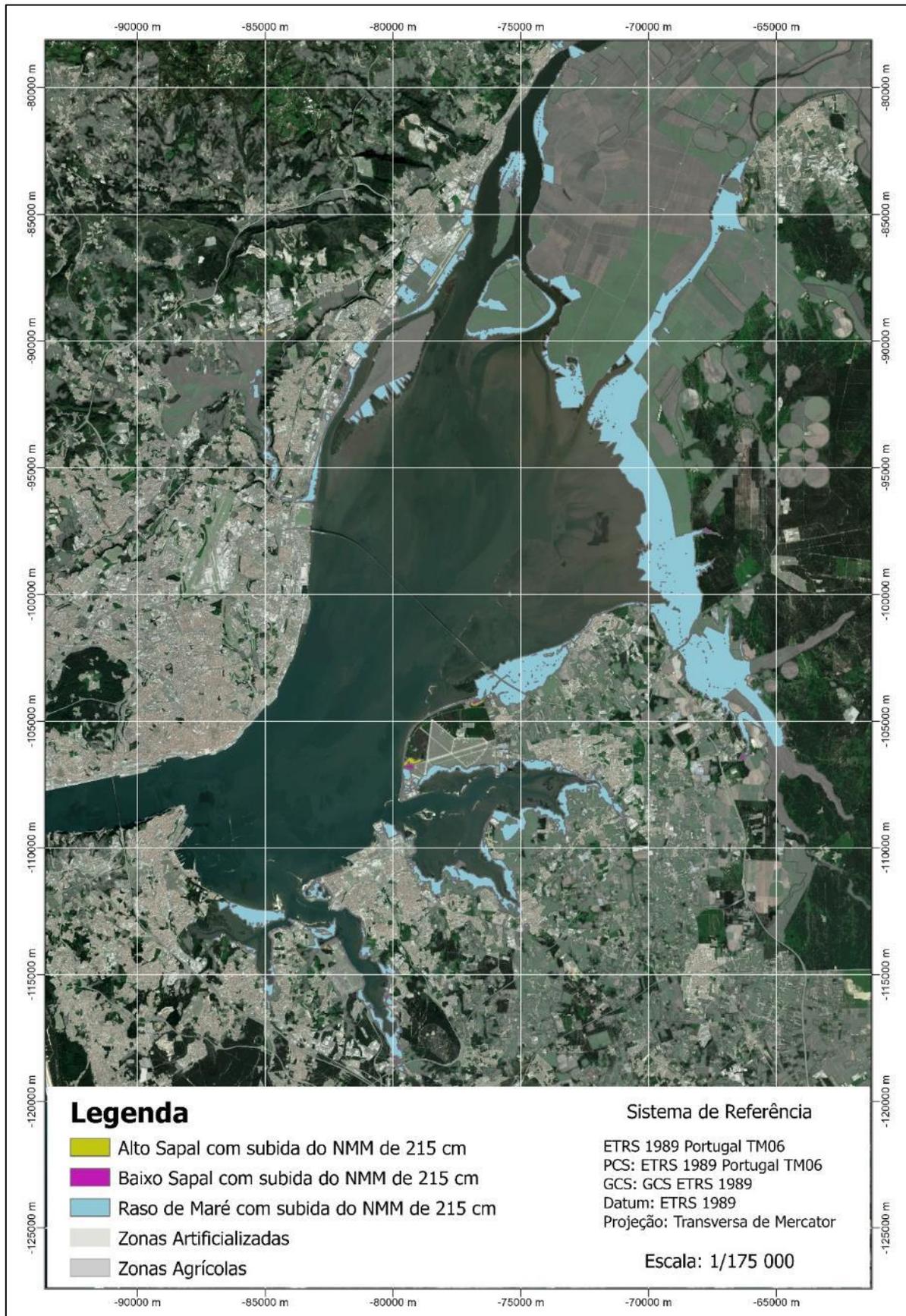


Figura 3-21- Polígonos dos Ecossistemas Intermareais para uma subida do NMM de 200 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 215 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) e com preservação das áreas agrícolas e artificializadas

3.5.2 Cenários Com Assoreamento

No caso dos cenários com assoreamento, parte-se do pressuposto que existe uma dinâmica de sedimentação nos ecossistemas em estudo que elevam a cota dos sistemas e, de certa forma, permite minimizar o impacto da subida do NMM destes ambientes intermareais, permitindo uma melhor acomodação. Ao assoreamento está associada uma taxa, geralmente anual, que descreve a elevação existente para determinado ambiente face à hidrodinâmica da região. Por vezes, devido à dinâmica de correntes e marés, a taxa de assoreamento não é facilmente determinada com rigor, nomeadamente, no caso do raso de maré. Além disso, a transição entre baixo sapal e alto sapal é extremamente difícil de identificar sendo consensual entre a comunidade científica atribuir uma taxa única à totalidade do sapal em vez de valores distintos. Assim, nesta dissertação, optou-se por efetuar uma interpolação de um valor de taxa de assoreamento médio para o Estuário do Tejo, proveniente do estudo de Silva (2013), para datações carbónicas, de 1.4 mm/ano. Na interpolação, estipulou-se que devido à cota do raso de maré e à sua exposição ao regime de maré a sua taxa seja maior enquanto no caso do sapal, baixo e alto, a taxa diminui em função do aumento da elevação. Além disso, dado que esta taxa de sedimentação apenas é aplicada nestes ecossistemas, estipulou-se que só seria aplicada no intervalo de cotas entre os -2 m e os 2.5 m sendo a cota 1.5 m a referência de transição entre o raso de maré e o sapal. Assim, e transformando a taxa numa escala percentual, o valor de referência 1.4 mm/ano, correspondente a 100%, definindo-se que a cada transição de elevação de 25 cm para cotas inferiores é aplicado um aumento de 5% da taxa. No caso de cotas acima da referência aplica-se a diminuição da taxa pela mesma proporção. Na Figura 3-22 é apresentada a variação de percentagem atribuída da taxa de referência por cada intervalo de cota predefinido.

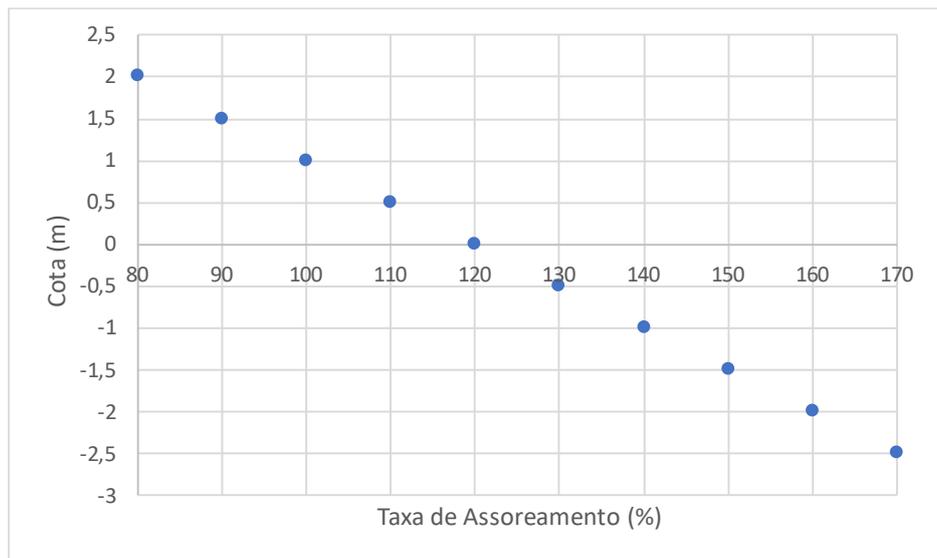


Figura 3-22 – Percentagem da Taxa de Assoreamento a Aplicar às diferentes cotas dos Ecossistemas Intermareais

É importante salientar que a taxa foi aplicada ao MTB, uma vez que corresponde à referência altimétrica, e estabeleceu-se um período médio de 80 anos de sedimentação e acreção, de modo a obter estes ecossistemas para 2100. Para este processo foi elaborado um programa em *Python* de acordo com o fluxograma do processo de transformação para o MTB com assoreamento da Figura 3-23. Terminada esta etapa o *raster* final do MTB com assoreamento foi adicionado ao ArcGis Pro para posterior utilização.

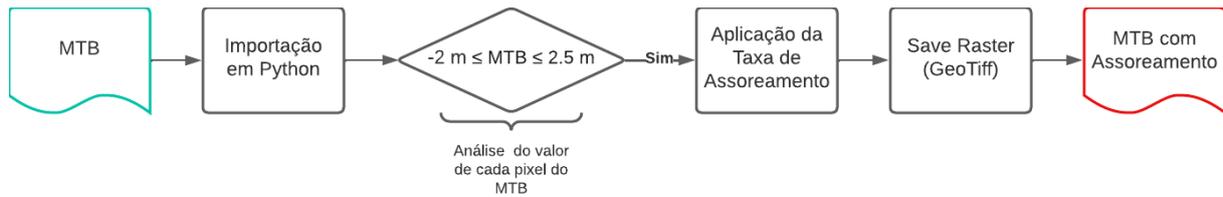


Figura 3-23 - Fluxograma do processo de transformação para obtenção do MTB com Assoreamento

A nível de cenários de subida do NMM foram utilizados os mesmos pressupostos, subida de 65, 115, 165 e 215 cm, uma vez que são todos passíveis de acontecer em torno de 2100, apesar da elevada incerteza. A determinação destes cenários foi efetuada de forma igual aos cenários sem assoreamento, estando a metodologia explicada no subcapítulo 3.5.1.2. A única exceção prende-se com o panorama de evolução da ocupação do solo. Neste caso foram também definidos dois cenários: preservação das áreas artificializadas e agrícolas, Figura 3-24 a Figura 3-27, e apenas salvaguarda das áreas artificializadas, Figura B-1 a Figura B-4 dos Anexos.

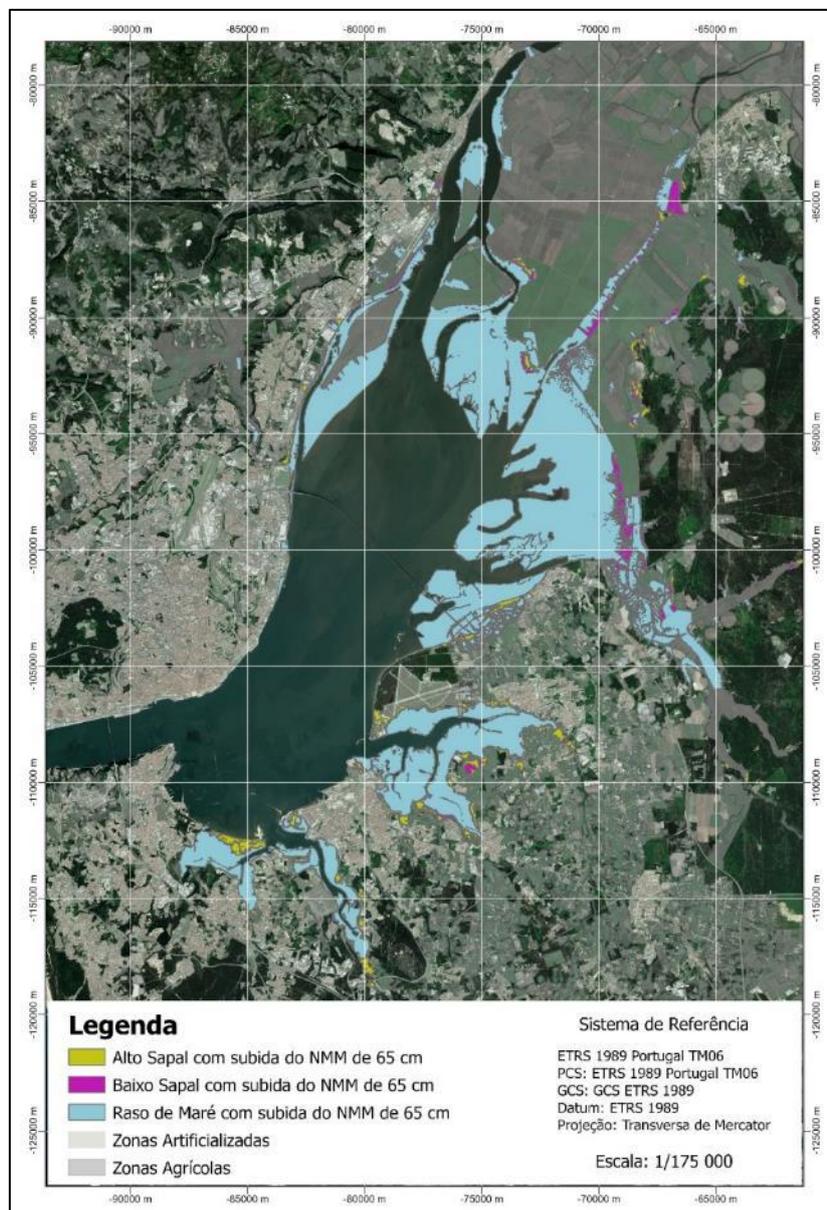


Figura 3-24 - Polígonos dos Ecossistemas Intermareais para uma subida do NMM de 50 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 65 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) e com preservação das áreas agrícolas e artificializadas - Com Assoreamento

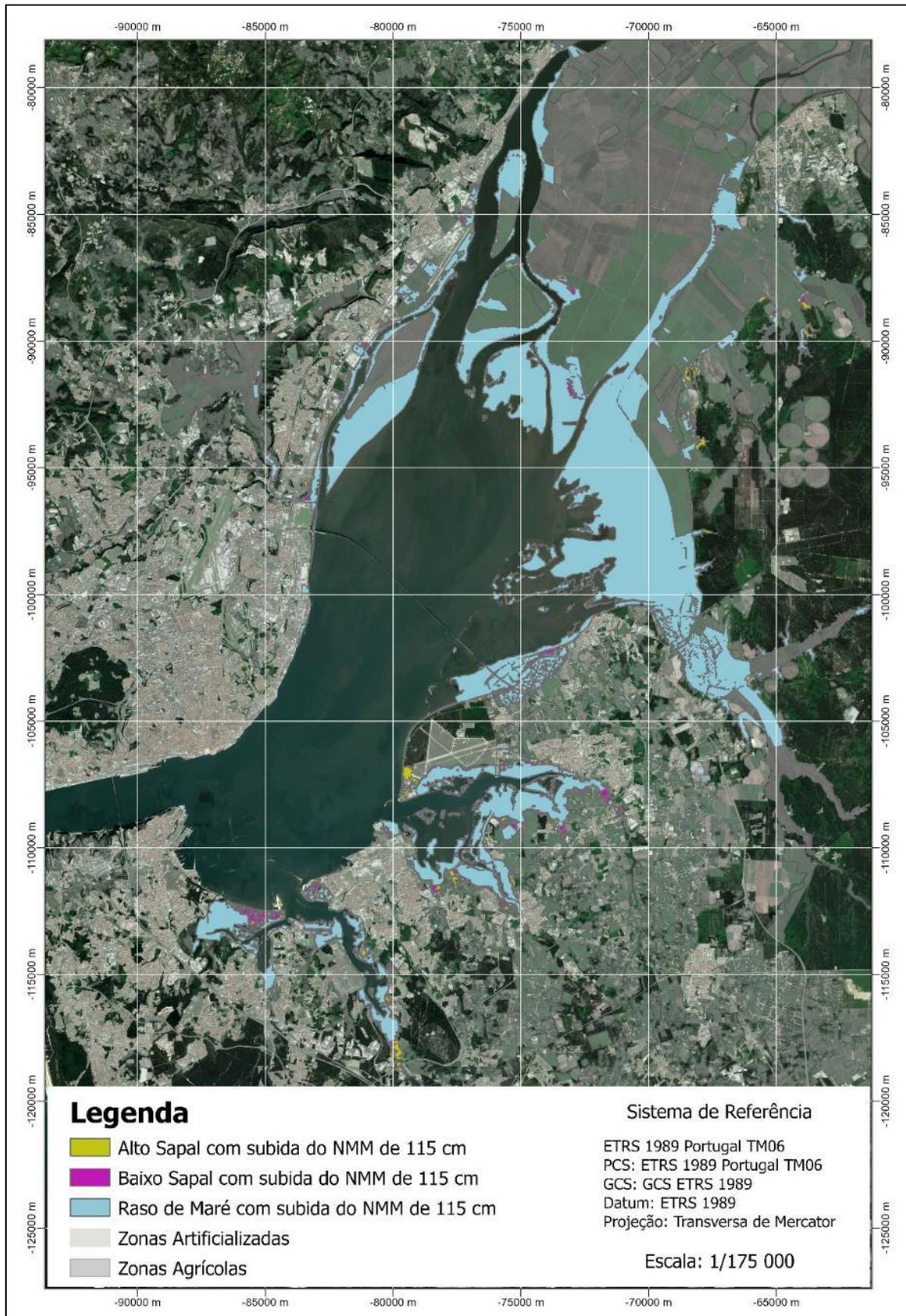


Figura 3-25 - Polígonos dos Ecossistemas Intermareais para uma subida do NMM de 100 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 115 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) e com preservação das áreas agrícolas e artificializadas - Com Assoreamento

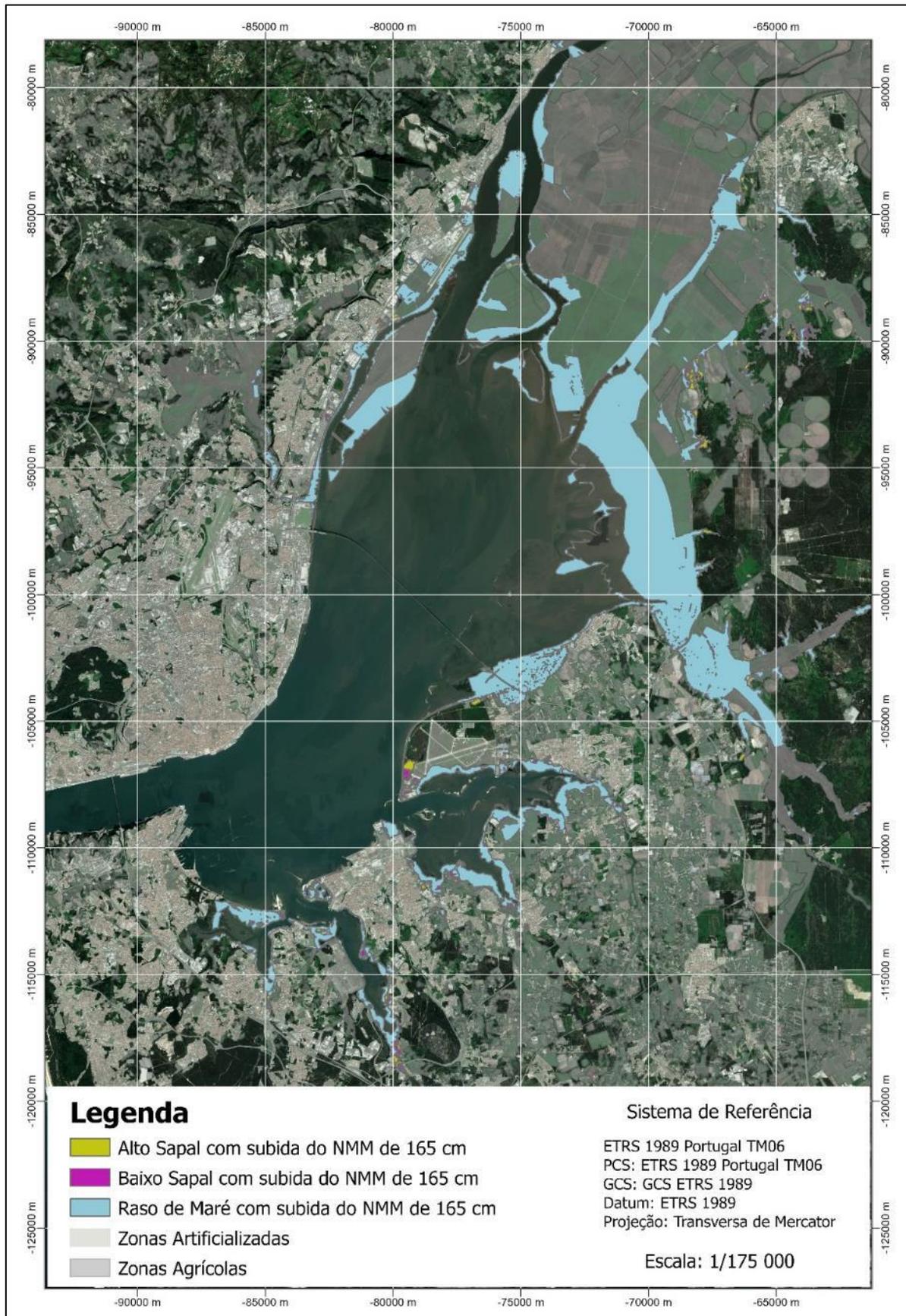


Figura 3-26 - Polígonos dos Ecossistemas Intermareais para uma subida do NMM de 150 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 165 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) e com preservação das áreas agrícolas e artificializadas - Com Assoreamento

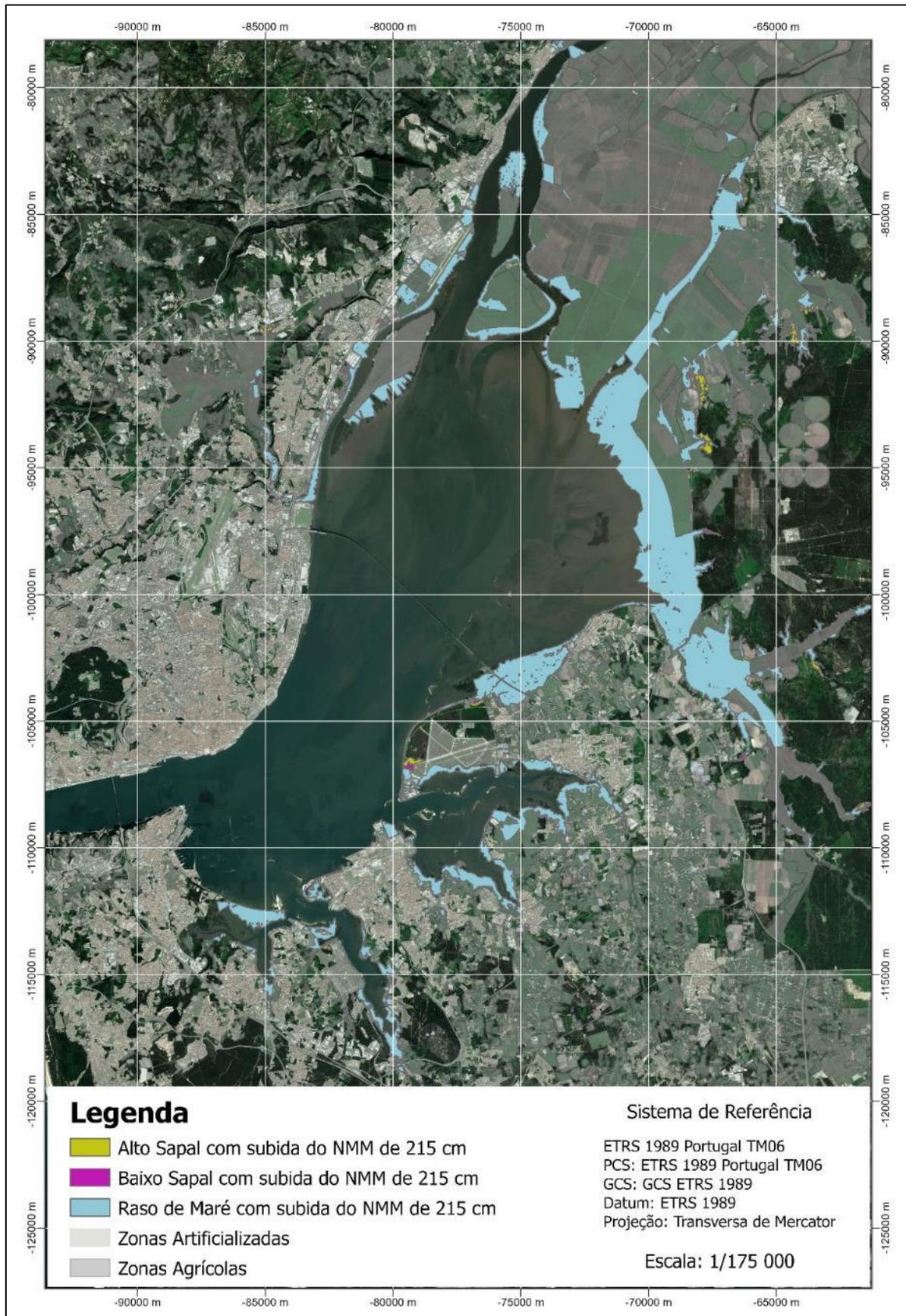


Figura 3-27 - Polígonos dos Ecossistemas Intermareais para uma subida do NMM de 200 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 215 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) e com preservação das áreas agrícolas e artificializadas - Com Assoreamento

3.6 Vulnerabilidade da Avifauna à Subida do Nível Médio do Mar

A análise da cartografia de vulnerabilidade da avifauna do Estuário do Tejo à subida do NMM, um dos objetivos desta dissertação, depende da existência de dados. Numa colaboração no âmbito do presente trabalho de investigação, uma equipa de investigadores da Universidade de Aveiro, liderada pelo Professor Doutor José Alves, disponibilizou dados relativos a três espécies de aves limícolas, apresentadas no subcapítulo 2.1.9, sendo elas a *Pluvialis squatarola*, *Limosa limosa* e *Tringa totanus*. Estes dados foram fornecidos no formato *shapefile* e correspondem às áreas utilizadas pelas 3 espécies em estudo, durante o Inverno de 2020/2021, especificamente desde outubro de 2020 até março de 2021. Para cada espécie existiam 2 *shapefiles*: uma com o *home range* utilizado ao longo do Inverno (onde geralmente é definida uma densidade de kernel de 95% tornando estas áreas mais abrangentes) e outra com as *core areas* (correspondem às áreas mais utilizadas pelas diferentes espécies durante todo o inverno e sendo elaboradas com densidade de kernel de 50%). Estas áreas foram determinadas com o pacote "*adehabitatHR*", em R, utilizando o método "*kernelUD*"³. Nas Figura 3-28 a Figura 3-30 estão os *home range* e *core areas* das várias aves. É importante ressaltar que estas informações foram adquiridas por GPS, sendo que o número de indivíduos com GPS varia por espécie. Para estas 3 espécies, *Pluvialis squatarola*, *Tringa totanus* e *Limosa limosa* existiam, respetivamente, 14, 7 e 5 indivíduos.

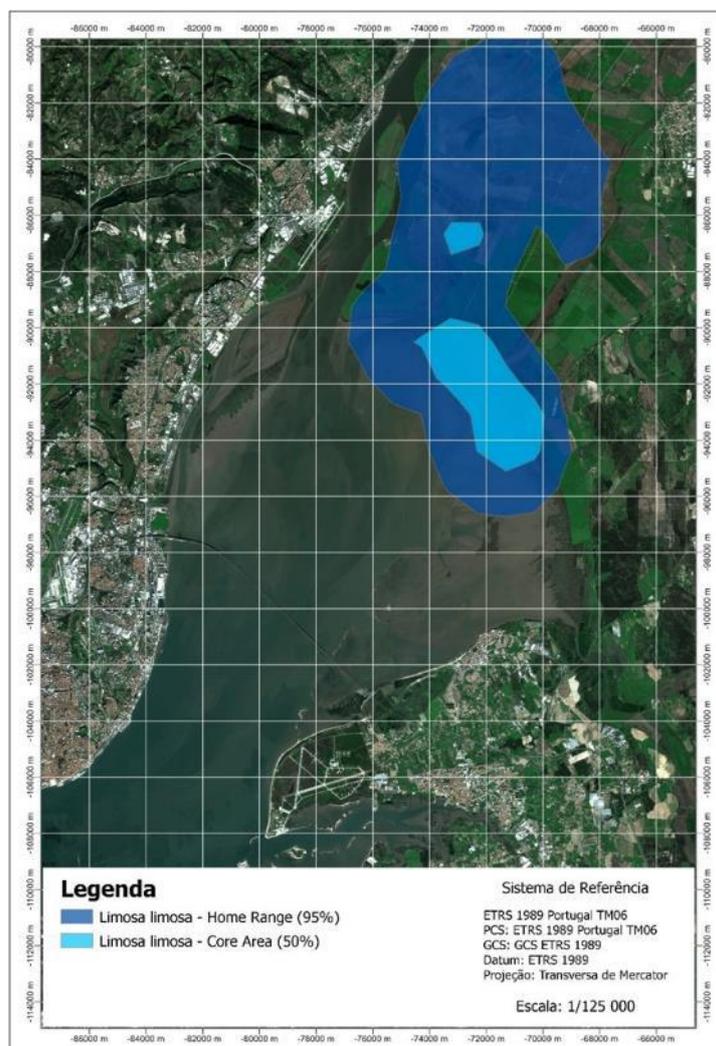


Figura 3-28 - Home Range (95%) e Core Area (50%) da Espécie *Limosa limosa*

³ Explicação do método “kernelUD” disponível em: <https://www.rdocumentation.org/packages/adehabitatHR/versions/0.4.20/topics/kernelUD> (consultado a 24/11/2022)

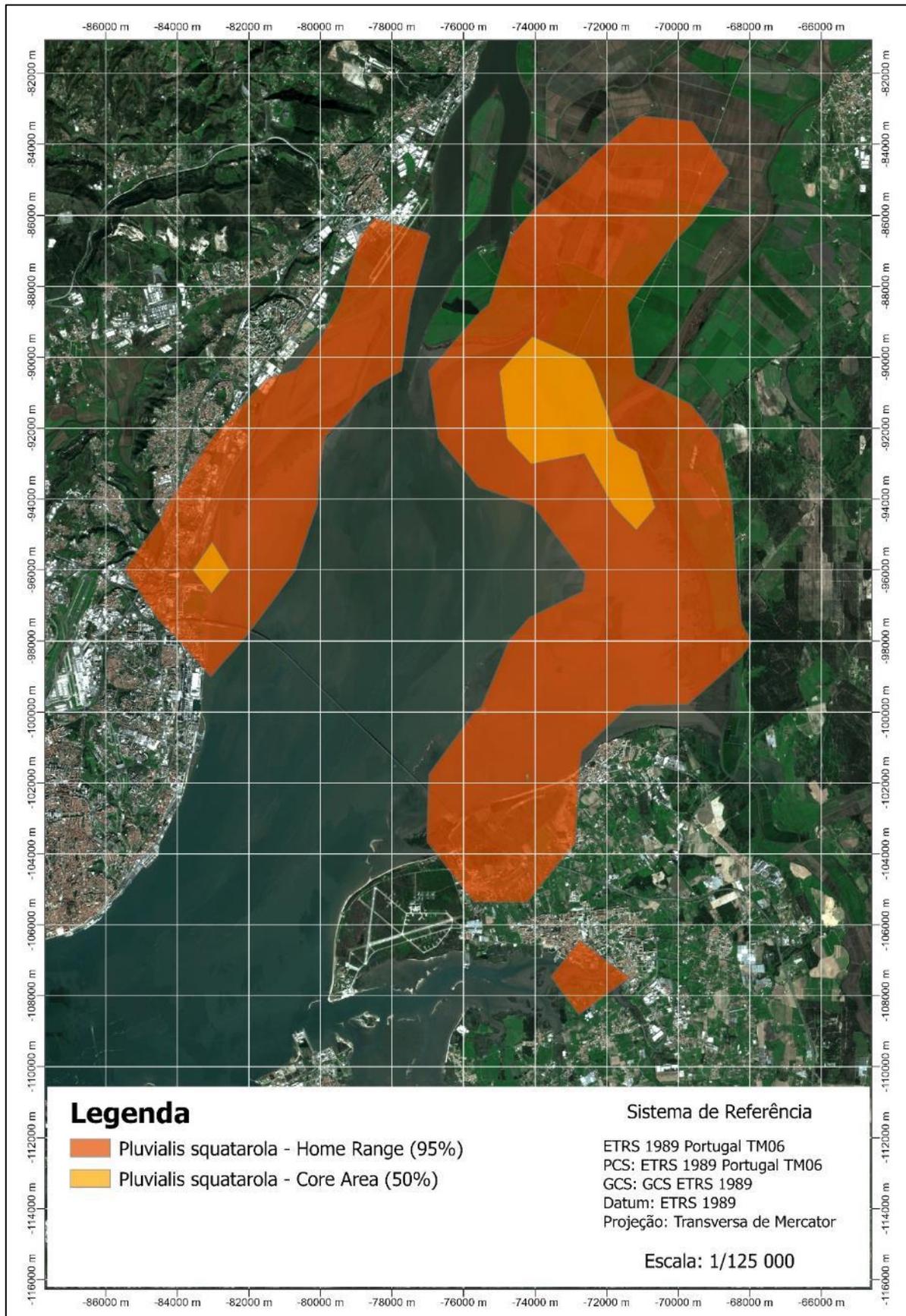


Figura 3-29 - Home Range (95%) e Core Area (50%) da Espécie *Pluvialis squatarola*

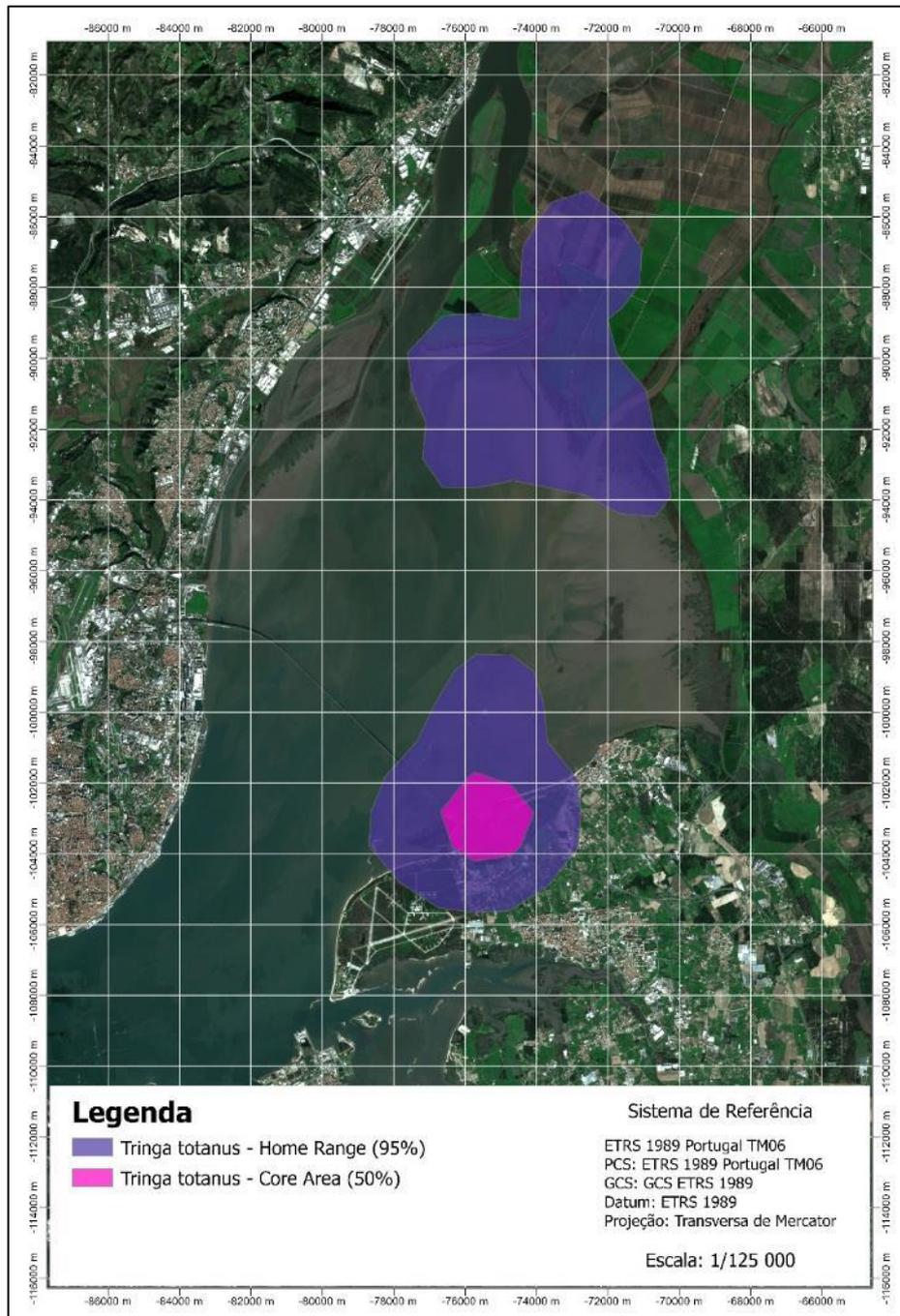


Figura 3-30 - Home Range (95%) e Core Area (50%) da Espécie *Tringa totanus*

Com as áreas de distribuição espacial das aves intersetaram-se espacialmente essas regiões com a cartografia dos EI. Assim, para cada espécie e cada *kernel* de densidade (50% ou 95%) foram analisados os vários cenários de subida do NMM (sem assoreamento), bem como o período de referência. Este processo consistiu no recorte da área dos EI de cada cenário (subida do NMM de 65, 115, 165 e 215 cm e manutenção da ocupação do solo) pelas zonas de *home range* e *core areas*. Na Figura 3-31, Figura 3-32, Figura 3-33, Figura 3-34 e Figura 3-35 estão ilustrados alguns dos resultados obtidos, nomeadamente a aplicação dos cenários à espécie *Pluvialis squatarola* para o *Home Range* de 95% (que inclui a *Core Area*), estando os resultados das restantes espécies presentes nos Anexos (Figura C-1 a Figura C-48).

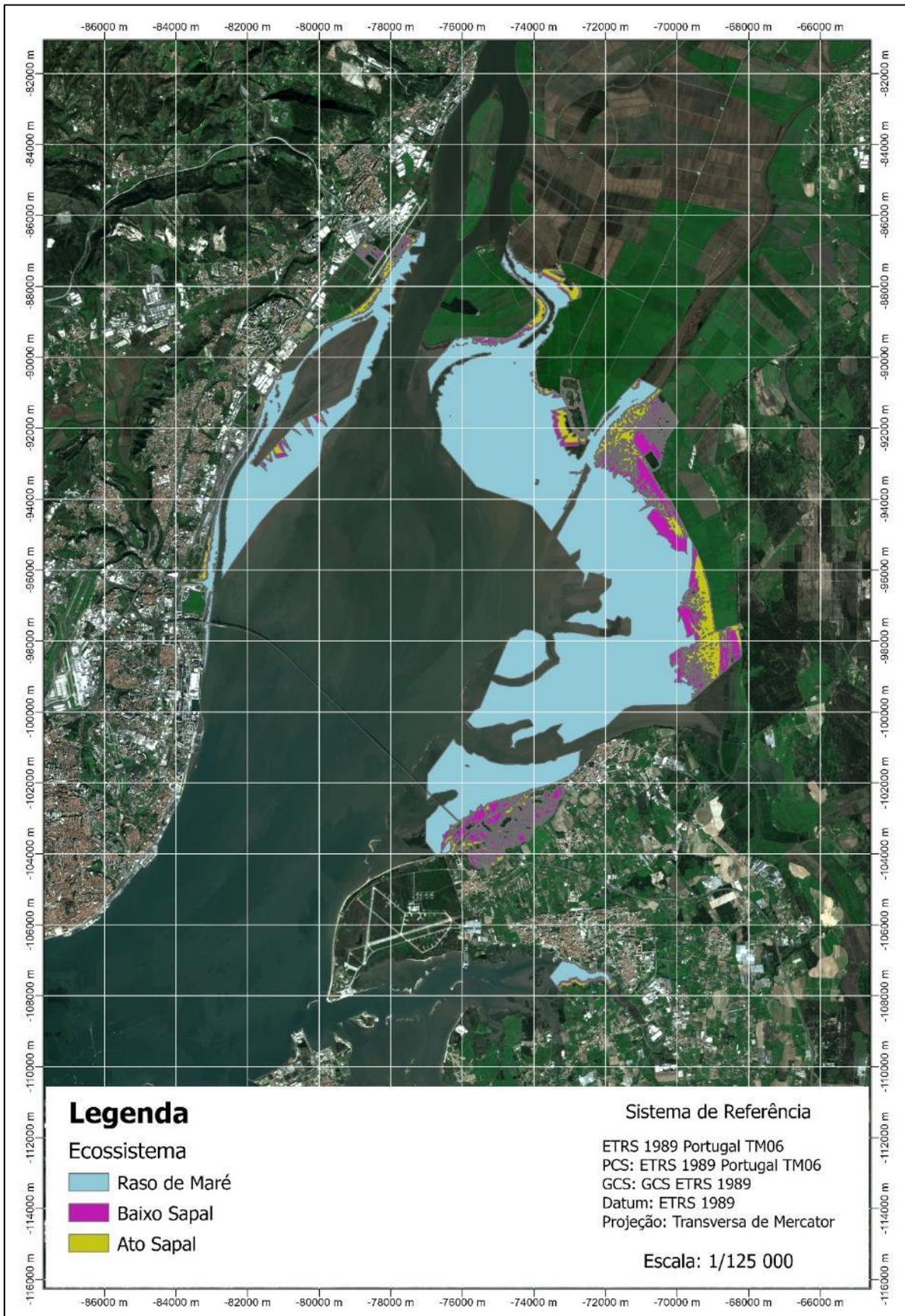


Figura 3-31 - Classificação em Ecosistemas Intermareais do Home Range (95%) da Espécie *Pluvialis squatarola* para o Período de Referência (15 cm NMM)

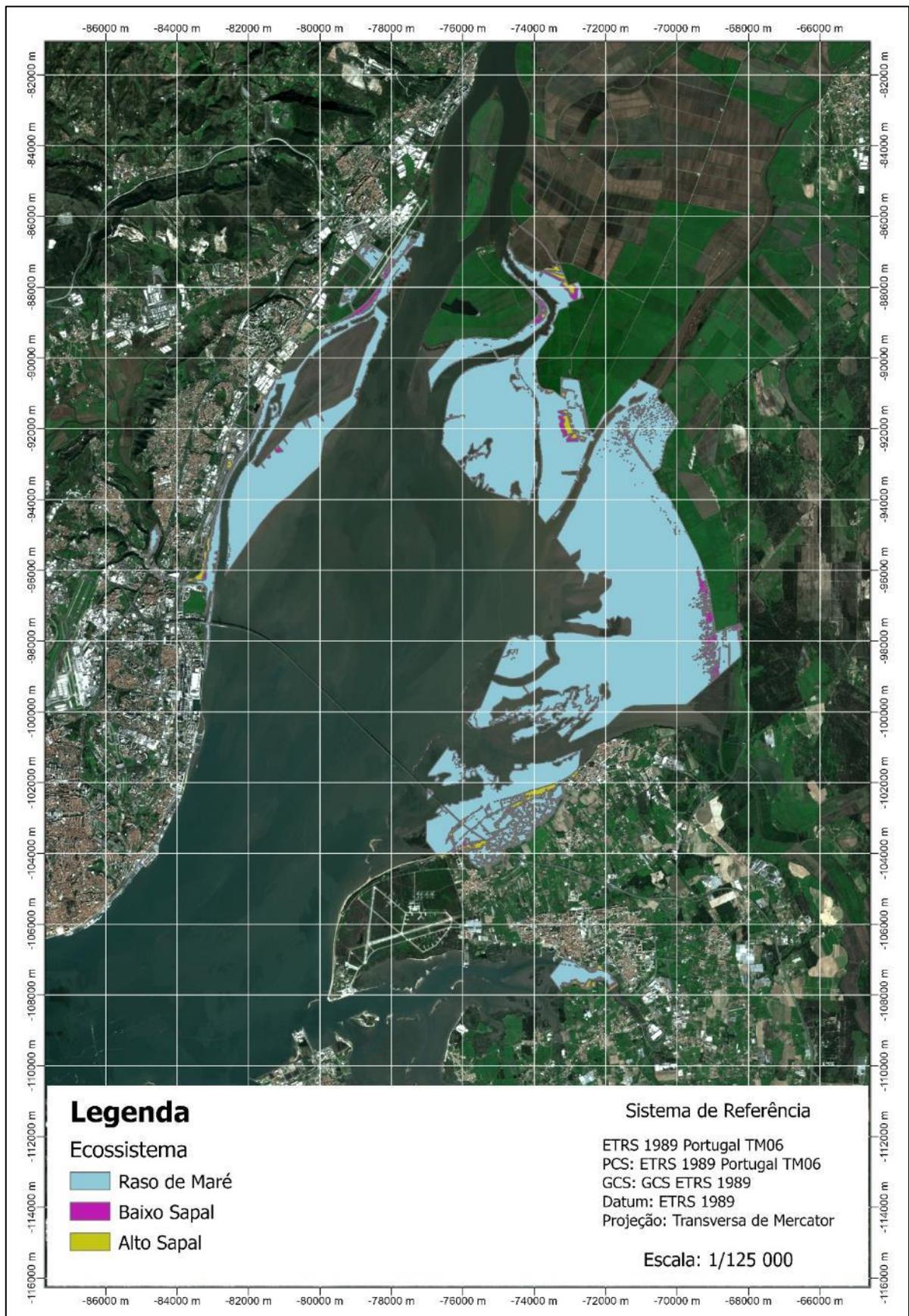


Figura 3-32 - Classificação em Ecosistemas Intermareais do Home Range (95%) da Espécie *Pluvialis squatarola* para uma subida do NMM de 50 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 65 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) com preservação de áreas agrícolas e artificializadas

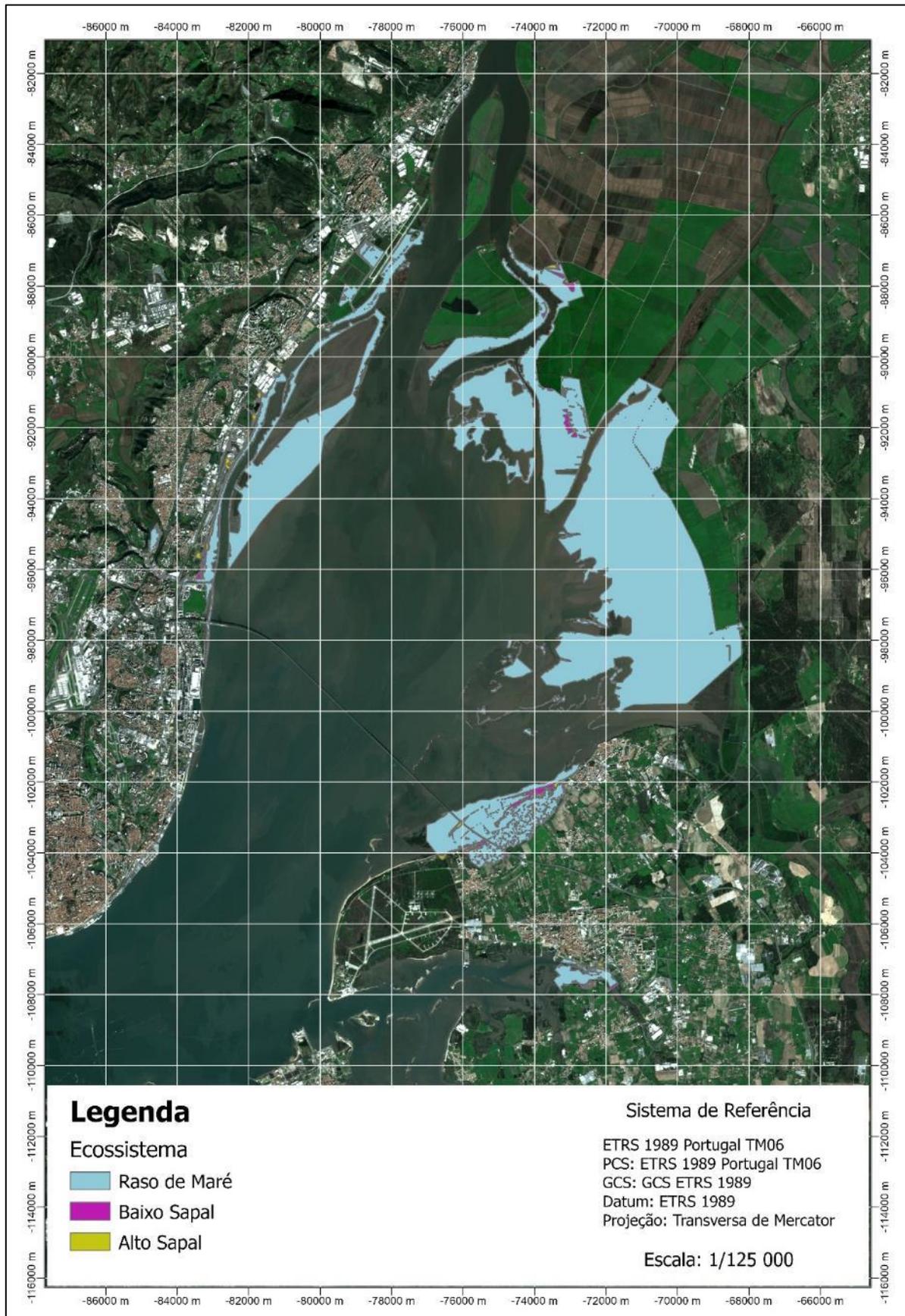


Figura 3-33 - Classificação em Ecosistemas Intermareais do Home Range (95%) da Espécie *Pluvialis squatarola* para uma subida do NMM de 100 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 115 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) com preservação de áreas agrícolas e artificializadas

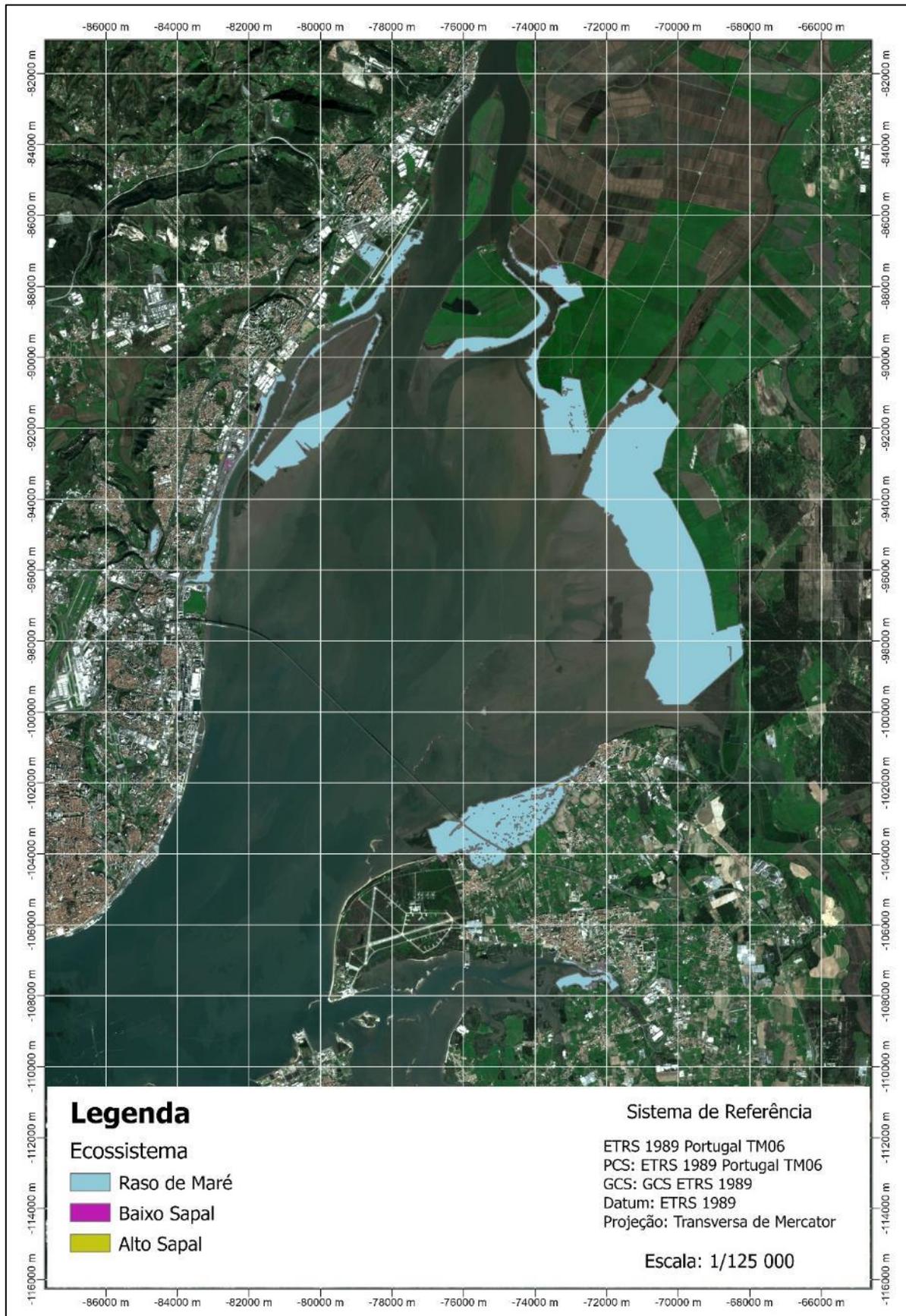


Figura 3-34 - Classificação em Ecosistemas Intermareais do Home Range (95%) da Espécie *Pluvialis squatarola* para uma subida do NMM de 150 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 165 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) com preservação de áreas agrícolas e artificializadas

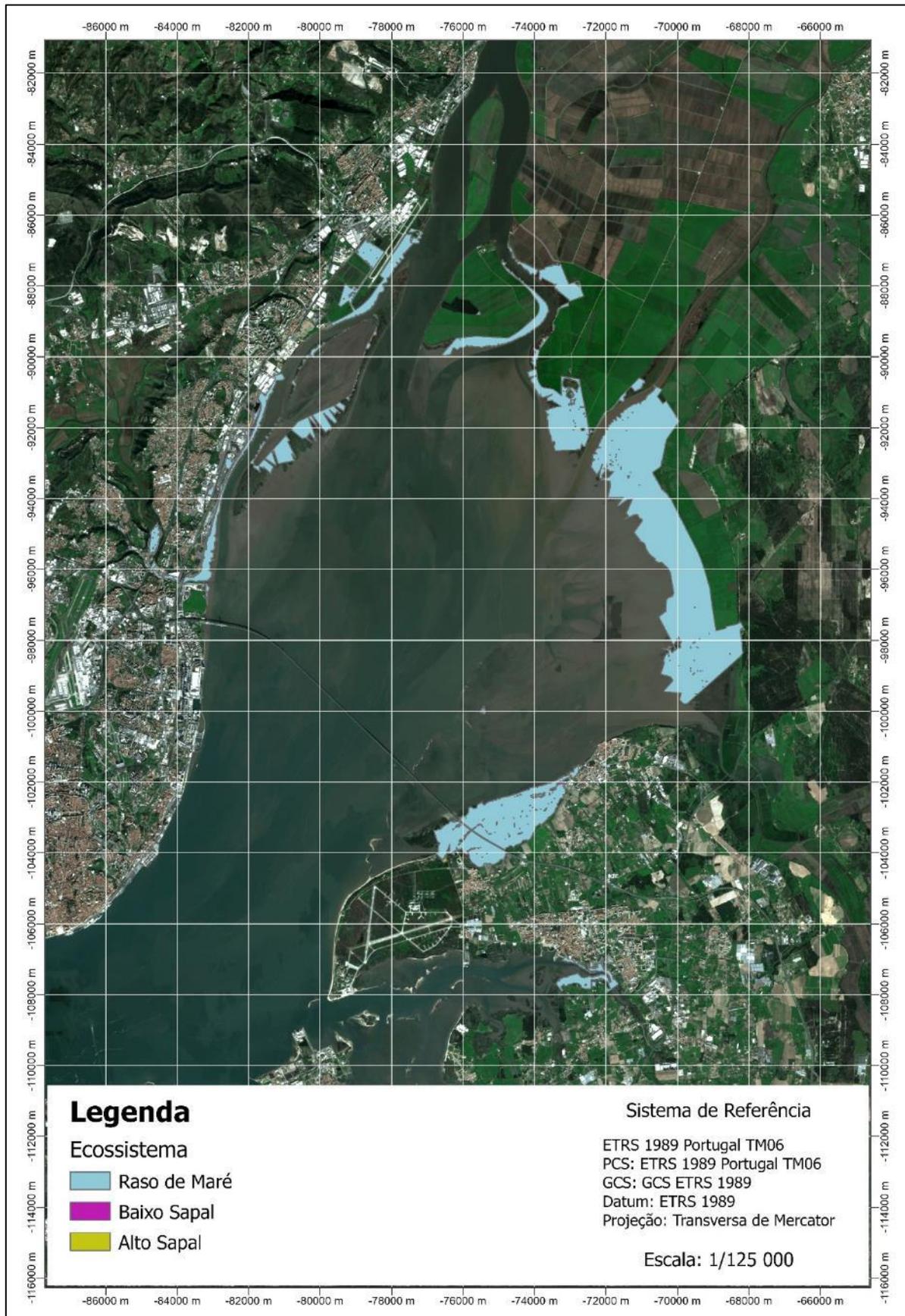


Figura 3-35 - Classificação em Ecosistemas Intermareais do Home Range (95%) da Espécie *Pluvialis squatarola* para uma subida do NMM de 200 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 215 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) com preservação de áreas agrícolas e artificializadas

Capítulo 4

DISCUSSÃO DE RESULTADOS

A análise da vulnerabilidade dos EI face à subida do NMM, teve como base a evolução da área de raso de maré, baixo sapal e alto sapal para cada um dos cenários considerados. Para cada cenário calculado, foram determinados os valores de área das zonas intermareais. Pretende-se ainda compreender a influência da proteção ou realocação da agricultura e das áreas artificializadas, o impacto da inclusão da dinâmica de assoreamento e o impacto da subida do NMM sobre as três espécies de avifauna em estudo. Para tal, efetuou-se uma análise global da variação de área, ou seja, avaliação das áreas afetadas para cada cenário de subida do NMM em relação às respetivas áreas do período de referência (Var. Global) e a avaliação gradual de cenário para cenário (Var. Gradual). Os resultados obtidos encontram-se sob a forma de tabela nos subcapítulos seguintes.

4.1 Análise da Vulnerabilidade dos Cenários Sem Assoreamento

No caso do raso de maré, encontram-se nas Tabela 4-1 e Tabela 4-2 as áreas obtidas para os quatro cenários de subida do NMM sem implementação da taxa de assoreamento. A primeira tabela diz respeito à salvaguarda apenas das áreas agrícolas e a segunda à proteção adicional das áreas artificializadas.

Tabela 4-1 - Evolução da Área de Raso de Maré face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas agrícolas sem assoreamento

| RASO DE MARÉ | | | | | |
|--------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
| Cenário Inundação | Área Total (km²) | Var. Global (km²) | Var. Global (%) | Var. Gradual (km²) | Var. Gradual (%) |
| Referência | 98.63 | | | | |
| +50 cm | 111.49 | 12.86 | 13 | 12.86 | 13 |
| +100 cm | 92.33 | -6.30 | -6 | -19.156 | -17 |
| +150 cm | 70.16 | -28.47 | -29 | -22.17 | -24 |
| +200 cm | 66.76 | -31.7 | -32 | -3.40 | -5 |

Tabela 4-2 - Evolução da Área de Raso de Maré face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas agrícolas e artificializadas sem assoreamento

| RASO DE MARÉ | | | | | |
|--------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
| Cenário Inundação | Área Total (km²) | Var. Global (km²) | Var. Global (%) | Var. Gradual (km²) | Var. Gradual (%) |
| Referência | 98.63 | | | | |
| +50 cm | 110.08 | 11.45 | 12 | 11.45 | 12 |
| +100 cm | 89.54 | -9.09 | -9 | -20.54 | -19 |
| +150 cm | 65.15 | -33.48 | -34 | -24.40 | -27 |
| +200 cm | 58.26 | -40.37 | -41 | -6.89 | -11 |

Analisando a Tabela 4-1 e a Tabela 4-2, é visível o impacto que a subida do NMM pode ter nesta zona intermareal. Contudo, este impacto começa por ser positivo, existindo um aumento de 12% a 13% da sua área independentemente do tipo de preservação das classes de ocupação do solo. Este aumento, talvez possa ser justificado pela organização das zonas intermareais e pelas áreas naturalmente disponíveis para a sua acomodação. Mais concretamente, o facto de o raso de maré ser sucedido pelo baixo sapal permite a sua deslocação para cotas superiores sem ser, ainda, afetado pela existência de áreas agrícolas e urbanas. Assim, uma subida de 50 cm face ao NMM atual seria vantajosa para este

ecossistema. Por outro lado, qualquer subida superior a 50 cm representa perda de área do raso de maré, chegando no pior dos casos a perder 32% ou 41% de área de acordo com o cenário em estudo. A nível de impacto da preservação das classes de ocupação e usos do solo, só é visível uma influência da proteção ou realocação das áreas artificializadas com subida do NMM de 200 cm face ao nível atual. Nos restantes cenários de subida do NMM os valores são muito semelhantes variando 2 a 3 pontos percentuais. Uma vez que em ambos os cenários há preservação das áreas agrícolas, estes resultados podem indicar que as áreas artificializadas ocupam terrenos que se localizam 2 m acima da cota do raso de maré. Nessa situação, para subidas do NMM inferiores a 2 m apenas áreas agrícolas seriam inundadas.

O segundo ecossistema intermareal, baixo sapal, teve também a sua área analisada para os vários cenários sem assoreamento. Na Tabela 4-3 encontra-se apenas o cenário com salvaguarda das áreas agrícolas e na Tabela 4-4 com a proteção adicional das áreas artificializadas.

Tabela 4-3 -Evolução da Área de Baixo Sapal face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas agrícolas sem assoreamento

| BAIXO SAPAL | | | | | |
|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------------|
| Cenário Inundação | Área Total (km ²) | Var. Global (km ²) | Var. Global (%) | Var. Gradual (km ²) | Var. Gradual (%) |
| Referência | 15.25 | | | | |
| +50 cm | 9.78 | -5.47 | -36 | -5.47 | -36 |
| +100 cm | 6.59 | -8.66 | -57 | -3.19 | -33 |
| +150 cm | 5.68 | -9.58 | -63 | -0.91 | -14 |
| +200 cm | 5.25 | -10.01 | -66 | -0.43 | -8 |

Tabela 4-4 - Evolução da Área de Baixo Sapal face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas agrícolas e artificializadas sem assoreamento

| BAIXO SAPAL | | | | | |
|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------------|
| Cenário Inundação | Área Total (km ²) | Var. Global (km ²) | Var. Global (%) | Var. Gradual (km ²) | Var. Gradual (%) |
| Referência | 15.25 | | | | |
| +50 cm | 8.55 | -6.70 | -44 | -6.70 | -44 |
| +100 cm | 4.66 | -10.59 | -69 | -3.89 | -45 |
| +150 cm | 2.72 | -12.53 | -82 | -1.94 | -42 |
| +200 cm | 1.63 | -13.62 | -89 | -1.09 | -40 |

No caso do baixo sapal, de acordo com os cálculos efetuados, qualquer subida do NMM considerado neste estudo, representa uma grande perda de área deste ecossistema. De facto, independentemente da proteção das classes de ocupação do solo, basta uma subida de 100 cm face ao NMM atual para se ter uma perda superior a 50% deste sistema intermareal. Além disso, no pior dos casos, se existir uma subida de 200 cm em relação ao período de referência e se houver manutenção das áreas agrícolas e artificializadas, perde-se 89% da área de baixo sapal. Uma vez que este sistema natural se encontra em cotas mais elevadas que o raso de maré, a influência da proteção das áreas urbanas complementarmente à das áreas de agricultura tem influência em todos os cenários de subida do NMM. Deste modo, basta o NMM subir 50 cm acima do NMM de referência (2010) para que o baixo sapal tenha já necessidade de se acomodar nas áreas artificializadas.

Por fim, dentro dos cenários de subida do NMM sem assoreamento, foi também calculada a área de alto sapal com salvaguarda apenas das áreas agrícolas, Tabela 4-5, e com a proteção adicional das áreas artificializadas, Tabela 4-6.

Tabela 4-5 - Evolução da Área de Alto Sapal face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas agrícolas sem assoreamento

| ALTO SAPAL | | | | | |
|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------------|
| Cenário Inundação | Área Total (km ²) | Var. Global (km ²) | Var. Global (%) | Var. Gradual (km ²) | Var. Gradual (%) |
| Referência | 16.68 | | | | |
| +50 cm | 11.76 | -4.912 | -29 | -4.91 | -29 |
| +100 cm | 10.20 | -6.477 | -39 | -1.56 | -13 |
| +150 cm | 8.62 | -8.062 | -48 | -1.59 | -16 |
| +200 cm | 6.16 | -10.519 | -63 | -2.46 | -29 |

Tabela 4-6 - Evolução da Área de Alto Sapal face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas agrícolas e artificializadas sem assoreamento

| ALTO SAPAL | | | | | |
|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------------|
| Cenário Inundação | Área Total (km ²) | Var. Global (km ²) | Var. Global (%) | Var. Gradual (km ²) | Var. Gradual (%) |
| Referência | 16.68 | | | | |
| +50 cm | 7.75 | -8.93 | -54 | -8.93 | -54 |
| +100 cm | 4.58 | -12.10 | -73 | -3.17 | -41 |
| +150 cm | 2.80 | -13.88 | -83 | -1.78 | -39 |
| +200 cm | 2.19 | -14.49 | -87 | -0.61 | -22 |

Com base nas tabelas acima, o panorama para o alto sapal também não é favorável. De facto, à semelhança do baixo sapal, qualquer subida do NMM provocará perda substancial de área do alto sapal. Neste ecossistema, a diferença de resultados entre a preservação ou abandono das áreas artificializadas é muito acentuada chegando a variar em 35% de perda de área entre os cenários de ambas as tabelas. Esta perda acentuada, pode ser explicada pelo facto do alto sapal se encontrar em cotas de maior elevação estando por isso em contacto direto com as áreas artificializadas. Assim, quando no primeiro cenário apenas se considera a preservação de áreas agrícolas, o alto sapal acaba por ter menos necessidade de deslocação vertical. Contrariamente, quando este ecossistema é limitado pelas áreas agrícolas e urbanas, o seu decréscimo é muito superior, chegando a ser de 87% no pior cenário de subida do NMM. Assim, é validado o pressuposto de que o alto sapal se encontra atualmente sob elevada pressão, muito próximo das áreas artificializadas.

No caso da preservação da ocupação do solo, tendo como base as análises acima efetuadas, pode-se afirmar que, apesar da manutenção das áreas agrícolas ter impacto na evolução da área dos EI, acabam por ser as áreas artificializadas e a condição da sua preservação que têm maior influência na perda de área, principalmente a nível de sapal (baixo e alto).

4.2 Análise da Vulnerabilidade dos Cenários Com Assoreamento

Na análise dos cenários com assoreamento, à semelhança dos cenários anteriores, foram calculados os valores de áreas dos 3 EI para cada cenário de subida do NMM tendo atenção à preservação de algumas classes de ocupação do solo. Nestes cenários, contrariamente ao anterior, optou-se por variar a preservação das áreas agrícolas sendo as áreas artificializadas sempre preservadas. Nas tabelas abaixo, encontram-se os resultados obtidos para o raso de maré nas duas circunstâncias descritas.

Tabela 4-7 - Evolução da Área de Raso de Maré face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas artificializadas com assoreamento

| RASO DE MARÉ | | | | | |
|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------------|
| Cenário Inundação | Área Total (km ²) | Var. Global (km ²) | Var. Global (%) | Var. Gradual (km ²) | Var. Gradual (%) |
| Referência | 98.63 | | | | |
| +50 cm | 197.90 | 99.27 | 101 | 99.27 | 101 |
| +100 cm | 215.10 | 116.48 | 118 | 17.21 | 9 |
| +150 cm | 195.60 | 96.97 | 98 | -19.51 | -9 |
| +200 cm | 187.40 | 88.77 | 90 | -8.20 | -4 |

Tabela 4-8 - Evolução da Área de Raso de Maré face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas artificializadas e agrícolas com assoreamento

| RASO DE MARÉ | | | | | |
|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------------|
| Cenário Inundação | Área Total (km ²) | Var. Global (km ²) | Var. Global (%) | Var. Gradual (km ²) | Var. Gradual (%) |
| Referência | 98.63 | | | | |
| +50 cm | 117.52 | 18.89 | 19 | 18.89 | 19 |
| +100 cm | 100.96 | 2.33 | 2 | -16.56 | -14 |
| +150 cm | 76.26 | -22.371 | -23 | -24.70 | -24 |
| +200 cm | 67.29 | -31.34 | -32 | -8.97 | -12 |

A manutenção ou abandono das classes de ocupação do solo traz, para o raso de maré, dois cenários contrastantes. De facto, se as áreas agrícolas deixarem de ser salvaguardadas, a área de raso de maré aumenta significativamente, chegando a duplicar a sua extensão relativa ao período de referência. Adicionalmente, para todos os cenários de subida do NMM, quando comparados com o período de referência existe um aumento de área desta zona intermareal. Se compararmos os cenários de forma gradual nota-se o início de perda gradual de raso de maré. Uma possível justificação para este facto pode estar relacionada com a proteção das áreas artificializadas. Mais concretamente, o limite superior do raso de maré, a partir de uma subida de 150 cm face ao NMM atual, confronta áreas artificializadas não podendo expandir-se verticalmente. Assim, o limite superior fica fixo enquanto o limite inferior se desloca para cotas mais elevadas, devido à subida do NMM, existindo por isso perda de área deste ecossistema.

Nos cenários com proteção das áreas artificializadas e agrícolas o raso de maré começa por aumentar em área, mas em proporções muito inferiores aos cenários anteriores. Este resultado pode indicar que este crescimento provém da deslocação do raso de maré para zonas anteriormente de sapal até, tal como aconteceu anteriormente, o seu limite confrontar alguma das classes de ocupação do solo protegidas.

A nível de influência da taxa de assoreamento na evolução da área do raso de maré compararam-se os dois cenários com manutenção de zonas destinadas à agricultura e à malha urbana, Tabela 4-2 versus Tabela 4-8. Neste caso, os cenários com assoreamento trazem variações, positivas ou negativas, da área deste ecossistema em cerca de 10% para as quatro hipóteses de subida do NMM a nível global. A nível gradual, os valores são mais próximos, o que talvez possa ser justificado pela linearidade da taxa de assoreamento aplicada ao MTB. Mais especificamente, como a taxa variava 5% a cada alteração de 25 cm de elevação, e dado que os cenários variam, entre si, 50 cm, justifica-se a perda gradual de 10% de área. Assim, podemos afirmar que a inclusão da dinâmica de assoreamento do raso de maré atenua em parte a suscetibilidade deste ecossistema à subida do NMM. Contudo, os resultados continuam a ser preocupantes dado que, no pior cenário, ou seja, uma subida de 200 cm relativa ao período de referência, o raso de maré perde praticamente um terço, 32%, da sua dimensão atual.

Para o ecossistema intermareal de baixo sapal os resultados obtidos encontram-se na Tabela 4-9 com preservação apenas das áreas artificializadas e na Tabela 4-10 os valores determinados salvaguardando também as áreas agrícolas, para os quatro cenários de subida do NMM.

Tabela 4-9 - Evolução da Área de Baixo Sapal face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas artificializadas com assoreamento

| BAIXO SAPAL | | | | | |
|--------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
| Cenário Inundação | Área Total (km²) | Var. Global (km²) | Var. Global (%) | Var. Gradual (km²) | Var. Gradual (%) |
| Referência | 15.25 | | | | |
| +50 cm | 42.23 | 26.97 | 177 | 26.97 | 177 |
| +100 cm | 11.36 | -3.89 | -26 | -30.87 | -73 |
| +150 cm | 6.88 | -8.37 | -55 | -4.48 | -39 |
| +200 cm | 5.49 | -9.77 | -64 | -1.39 | -20 |

Tabela 4-10 - Evolução da Área de Baixo Sapal face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas artificializadas e agrícolas com assoreamento

| BAIXO SAPAL | | | | | |
|--------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
| Cenário Inundação | Área Total (km²) | Var. Global (km²) | Var. Global (%) | Var. Gradual (km²) | Var. Gradual (%) |
| Referência | 15.25 | | | | |
| +50 cm | 11.82 | -3.44 | -23 | -3.44 | -23 |
| +100 cm | 6.66 | -8.59 | -56 | -5.16 | -44 |
| +150 cm | 3.99 | -11.26 | -74 | -2.67 | -40 |
| +200 cm | 2.86 | -12.39 | -81 | -1.13 | -28 |

No caso do baixo sapal, existe também uma grande variação entre os dois cenários. De facto, para uma subida do NMM de 50 cm, face ao período de referência, existe uma diferença significativa entre os valores obtidos de área para cada cenário. No primeiro caso, onde apenas há preservação das áreas urbanas, o baixo sapal aumenta em 177% a sua área, indicando que este passa a ocupar uma grande extensão de áreas atualmente consideradas agrícolas. Este pressuposto é confirmado pelo cenário seguinte onde a preservação das áreas artificializadas e agrícolas representa, para a mesma subida do NMM, uma perda de 23% de área. Nos restantes valores de subida do NMM, a tendência é a mesma, diminuição da área de baixo sapal, variando apenas a percentagem de perda. Como era esperado, esta diminui com o aumento da área a salvaguardar.

Com o intuito de analisar a importância da inclusão da dinâmica sedimentar destes ecossistemas, compararam-se, à semelhança do que foi efetuado para o raso de maré, os resultados sem assoreamento, Tabela 4-4, e com assoreamento, Tabela 4-10, dos cenários com proteção das áreas agrícolas e artificializadas. Tal como esperado, o assoreamento atenua o efeito da subida do NMM no baixo sapal. De facto, a área total obtida no cenário de subida de NMM de 150 cm, em relação ao NMM atual, no cenário sem assoreamento é relativamente próximo do valor obtido para uma subida de 200 cm com assoreamento podendo indicar que a existência de assoreamento consegue compensar, neste caso, uma subida de 50 cm do NMM. Contudo, a taxa de assoreamento parece diminuir a sua influência na preservação de área de baixo sapal com o aumento do valor de subida do NMM, uma vez que para o primeiro cenário existe uma diferença percentual de 21% entre os resultados, com ou sem assoreamento, e no último apenas 8%. Em ambos os casos, os resultados de perda de área obtidos são muito elevados, uma vez que, eventualmente, com a subida do NMM pode-se perder mais de 80% do baixo sapal existente no Estuário do Tejo.

Por fim, para o alto sapal, encontram-se, respetivamente, nas Tabela 4-11 e Tabela 4-12, os resultados obtidos com proteção apenas das áreas artificializadas e com a salvaguarda adicional das áreas de agricultura.

Tabela 4-11 - Evolução da Área de Alto Sapal face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas artificializadas com assoreamento

| ALTO SAPAL | | | | | |
|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------------|
| Cenário Inundação | Área Total (km ²) | Var. Global (km ²) | Var. Global (%) | Var. Gradual (km ²) | Var. Gradual (%) |
| Referência | 16.68 | | | | |
| +50 cm | 24.52 | 7.84 | 47 | 7.84 | 47 |
| +100 cm | 12.41 | -4.27 | -26 | -12.11 | -49 |
| +150 cm | 9.99 | -6.69 | -40 | -2.42 | -19 |
| +200 cm | 9.05 | -7.63 | -46 | -0.94 | -9 |

Tabela 4-12 - Evolução da Área de Raso de Maré face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas artificializadas e agrícolas com assoreamento

| ALTO SAPAL | | | | | |
|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------------|
| Cenário Inundação | Área Total (km ²) | Var. Global (km ²) | Var. Global (%) | Var. Gradual (km ²) | Var. Gradual (%) |
| Referência | 16.68 | | | | |
| +50 cm | 13.08 | -3.60 | -22 | -3.60 | -22 |
| +100 cm | 6.99 | -9.68 | -58 | -6.09 | -47 |
| +150 cm | 5.27 | -11.40 | -68 | -1.72 | -25 |
| +200 cm | 5.15 | -11.53 | -69 | -0.12 | -2 |

Analisando os resultados obtidos, o alto sapal tem um comportamento semelhante ao baixo sapal, ou seja, sem a preservação das áreas agrícolas e para uma subida do NMM de 50 cm, face ao período de referência, a sua área aumenta e para todos os outros cenários diminui. Contudo, a proporção de aumento e perda são bastante distintas entre estes dois ecossistemas. Este facto, pode indicar que o alto sapal não é tão dependente das áreas agrícolas como o baixo sapal, o que se justifica pelas suas cotas mais elevadas. Não obstante, as áreas agrícolas têm um impacte significativo uma vez que a sua preservação se traduz, para a maioria dos cenários, numa maior perda, entre 20% e 30%, de alto sapal. Além disso, se analisarmos o cenário sem preservação de áreas de agricultura, apenas existe perda de alto sapal a partir de uma subida do NMM de 100 cm, o que pode indiciar que é a partir dessa cota que este ecossistema intermareal começa a ser confrontado com áreas artificializadas.

Para este ecossistema intermareal, a comparação dos cenários com e sem assoreamento, Tabela 4-6 versus Tabela 4-12, demonstra um forte impacto do assoreamento na evolução de área do alto sapal. O principal indicador desta influência prende-se com a área existente de alto de sapal no pior cenário de subida do NMM, ou seja, 200 cm acima do NMM atual. No cenário com a implementação da taxa de assoreamento, a área final corresponde a mais do dobro da obtida para o panorama sem assoreamento. De facto, o valor obtido, 5.15 km², é também superior ao valor obtido para o cenário de subida de 100 cm sem assoreamento. Assim, a dinâmica sedimentar, neste caso com a taxa de assoreamento estabelecida, aparenta atenuar substancialmente os efeitos da subida do NMM no alto sapal. Apesar disso, os valores obtidos não são animadores, chegando a perder-se mais de dois terços da área de alto sapal do período de referência.

4.3 Análise da Vulnerabilidade dos Cenários da Avifauna

No caso da avifauna, a análise dos resultados obtidos com vista à avaliação da sua vulnerabilidade face à subida do NMM, teve também como base a evolução da área de raso de maré, baixo sapal e alto sapal.

À semelhança dos subcapítulos anteriores, para cada espécie e cenário calculado, foram determinados os valores de área das zonas intermareais. As principais conclusões que se pretendiam obter seriam a evolução dos EI dentro da *core area* e do *home range* e a influência da proteção ou realocação da agricultura e das áreas artificializadas. Contudo, após análise dos resultados obtidos verificou-se que, para todas as espécies, a variação de área dos EI, era igual nos cenários com ou sem proteção das áreas artificializadas, diferindo apenas na ordem de 1%. Além disso, uma vez que a *core area* se encontra inserida no *home range*, a análise da evolução dos EI vai ser efetuada, nesta dissertação, apenas em relação ao *home range* de cada espécie. Assim, optou-se por incluir neste subcapítulo apenas os resultados obtidos com a salvaguarda das áreas agrícolas e artificializadas, por ser mais completo, para o *home range*, estando as restantes tabelas apresentadas nos Anexos (Tabela D-1 a Tabela D-33).

4.3.1 *Pluvialis squatarola*

Para a espécie *Pluvialis squatarola*, encontram-se nas tabelas seguintes a evolução da área de raso de maré, baixo sapal e alto sapal do seu *home range* para os vários cenários de subida do NMM, protegendo as áreas agrícolas e artificializadas.

Tabela 4-13 - Evolução da área de Raso de Maré do Home Range (95%) da Espécie *Pluvialis squatarola* face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas artificializadas e agrícolas

| RASO DE MARÉ | | | | | |
|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------------|
| Cenário Inundação | Área Total (km ²) | Var. Global (km ²) | Var. Global (%) | Var. Gradual (km ²) | Var. Gradual (%) |
| Referência | 54.76 | | | | |
| +50 cm | 60.85 | 6.09 | 11 | 6.09 | 11 |
| +100 cm | 49.45 | -5.31 | -10 | -11.40 | -19 |
| +150 cm | 31.44 | -23.32 | -43 | -18.01 | -36 |
| +200 cm | 24.87 | -29.89 | -55 | -6.57 | -21 |

Tabela 4-14 - Evolução da área de Baixo Sapal do Home Range (95%) da Espécie *Pluvialis squatarola* face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas artificializadas e agrícolas

| BAIXO SAPAL | | | | | |
|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------------|
| Cenário Inundação | Área Total (km ²) | Var. Global (km ²) | Var. Global (%) | Var. Gradual (km ²) | Var. Gradual (%) |
| Referência | 7.55 | | | | |
| +50 cm | 2.70 | -4.85 | -64 | -4.85 | -64 |
| +100 cm | 1.27 | -6.28 | -83 | -1.43 | -53 |
| +150 cm | 0.50 | -7.05 | -93 | -0.77 | -61 |
| +200 cm | 0.24 | -7.32 | -97 | -0.26 | -52 |

Tabela 4-15 - Evolução da área de Alto Sapal do Home Range (95%) da Espécie *Pluvialis squatarola* face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas artificializadas e agrícolas

| ALTO SAPAL | | | | | |
|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------------|
| Cenário Inundação | Área Total (km ²) | Var. Global (km ²) | Var. Global (%) | Var. Gradual (km ²) | Var. Gradual (%) |
| Referência | 6.74 | | | | |
| +50 cm | 1.99 | -4.74 | -70 | -4.74 | -70 |
| +100 cm | 0.84 | -5.90 | -88 | -1.15 | -58 |
| +150 cm | 0.38 | -6.36 | -94 | -0.46 | -55 |
| +200 cm | 0.21 | -6.52 | -97 | -0.16 | -42 |

No caso do raso de maré, e com uma subida do NMM de 50 cm em relação ao período de referência, a sua área começa por aumentar. Este facto, pode prender-se com a deslocação do limite superior do raso de maré para zonas ainda abrangidas pelo *home range* desta espécie. Mais concretamente, pode ocorrer

o caso do raso de maré se estender para zonas previamente de sapal aumentando, por isso, a sua dimensão. Nos restantes cenários, existe perda de área deste ecossistema intermareal o que indica que o limite inferior do raso de maré, ou seja, a sua cota mínima, passa a estar incluída no *home range* desta ave. No caso do limite superior do raso de maré, este possivelmente encontra-se junto a áreas agrícolas ou artificializadas ou, simplesmente, fora do *home range*. As conjugações destes dois fatores limitantes do raso de maré podem então provocar a sua redução, chegando a perder-se mais de 50% da sua área.

No caso do sapal, quer o baixo sapal ou o alto sapal, apresentam drásticas perdas de área com qualquer um dos cenários de subida do NMM chegando mesmo a perder quase 100% da sua dimensão. Estes resultados podem advir de uma deslocação do sapal para uma zona exterior ao atual *home range* desta espécie, ou seja, as cotas dos seus limites aumentam. Além disso, este ecossistema intermareal pode ser confrontado por zonas protegidas, não podendo realocar-se a cotas superiores sendo por isso alagado e transformado em raso de maré.

4.3.2 *Limosa limosa*

A evolução da área de raso de maré, baixo sapal e alto sapal do *home range* da espécie *Limosa limosa* para os vários cenários de subida do NMM, protegendo as áreas agrícolas e artificializadas, encontra-se nas tabelas Tabela 4-16, Tabela 4-17 e Tabela 4-18.

Tabela 4-16 - Evolução da área de Raso de Maré do Home Range (95%) da Espécie *Limosa limosa* face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas artificializadas e agrícolas

| RASO DE MARÉ | | | | | |
|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------------|
| Cenário Inundação | Área Total (km ²) | Var. Global (km ²) | Var. Global (%) | Var. Gradual (km ²) | Var. Gradual (%) |
| Referência | 22.68 | | | | |
| +50 cm | 27.65 | 4.98 | 22 | 4.98 | 22 |
| +100 cm | 25.01 | 2.33 | 10 | -2.65 | -10 |
| +150 cm | 16.05 | -6.63 | -29 | -8.96 | -36 |
| +200 cm | 12.57 | -10.11 | -45 | -3.48 | -22 |

Tabela 4-17 - Evolução da área de Baixo Sapal do Home Range (95%) da Espécie *Limosa limosa* face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas artificializadas e agrícolas

| BAIXO SAPAL | | | | | |
|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------------|
| Cenário Inundação | Área Total (km ²) | Var. Global (km ²) | Var. Global (%) | Var. Gradual (km ²) | Var. Gradual (%) |
| Referência | 4.13 | | | | |
| +50 cm | 0.99 | -3.14 | -76 | -3.1411 | -76 |
| +100 cm | 0.34 | -3.79 | -92 | -0.65 | -66 |
| +150 cm | 0.07 | -4.07 | -98 | -0.27 | -80 |
| +200 cm | 0.01 | -4.12 | -100 | -0.06 | -83 |

Tabela 4-18 - Evolução da área de Alto Sapal do Home Range (95%) da Espécie *Limosa limosa* face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas artificializadas e agrícolas

| ALTO SAPAL | | | | | |
|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------------|
| Cenário Inundação | Área Total (km ²) | Var. Global (km ²) | Var. Global (%) | Var. Gradual (km ²) | Var. Gradual (%) |
| Referência | 3.02 | | | | |
| +50 cm | 0.51 | -2.51 | -83 | -2.51 | -83 |
| +100 cm | 0.11 | -2.91 | -96 | -0.40 | -79 |
| +150 cm | 0.02 | -3.00 | -99 | -0.09 | -85 |
| +200 cm | 0.00 | -3.02 | -100 | -0.02 | -91 |

No *home range* desta espécie, para os dois primeiros cenários de subida do NMM, o raso de maré tem um aumento da sua área. Estes resultados, podem ser causados pela deslocação do limite transitório entre raso de maré e sapal para cotas mais elevadas, mas que ainda se encontrem dentro do *home range*. Não existindo alteração do limite inferior ou caso este não esteja incluído nesta área de estudo, existe então uma expansão do raso de maré. Para os cenários de perda de área, é provável que exista uma alteração do limite inferior deste ecossistema intermareal, mais concretamente um aumento da sua cota, sendo desprezíveis as alterações ao limite superior neste caso, o que provoca a perda de área de raso de maré. A nível gradual, apesar de no cenário de subida do NMM de 100 cm face ao período de referência existir uma maior área que a inicial, existe uma diminuição entre o primeiro e o segundo cenário o que significa que será a partir deste cenário que o limite mínimo do raso de maré se encontra muito próximo ou até incluído no *home range* desta espécie.

A área de baixo sapal e de alto sapal existentes no *home range* da espécie *Limosa limosa*, à semelhança da espécie anterior, tem uma evolução similar. De facto, tratando o sapal como um único ecossistema, qualquer dos cenários de subida do NMM se traduz em perdas de área muito elevadas. Infelizmente, a área de sapal chega a ser virtualmente zero, ou seja, perde-se a totalidade da sua área. Os motivos são possivelmente semelhantes aos explicados para a espécie *Pluvialis squatarola*, ou então a deslocação do sapal para uma zona exterior ao *home range* e a confrontação com zonas protegidas que não permitem a migração para a cotas superiores.

4.3.3 *Tringa totanus*

No caso dos indivíduos *Tringa totanus*, encontram-se nas tabelas seguintes a evolução da área de raso de maré, baixo sapal e alto sapal do seu *home range* para os vários cenários de subida do NMM, protegendo as áreas agrícolas e artificializadas.

Tabela 4-19 - Evolução da área de Raso de Maré do Home Range (95%) da Espécie *Tringa totanus* face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas artificializadas e agrícolas

| RASO DE MARÉ | | | | | |
|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------------|
| Cenário Inundação | Área Total (km ²) | Var. Global (km ²) | Var. Global (%) | Var. Gradual (km ²) | Var. Gradual (%) |
| Referência | 28.90 | | | | |
| +50 cm | 30.55 | 1.65 | 6 | 1.65 | 6 |
| +100 cm | 21.17 | -7.73 | -27 | -9.38 | -31 |
| +150 cm | 14.55 | -14.35 | -50 | -6.62 | -31 |
| +200 cm | 12.42 | -16.48 | -57 | -2.13 | -15 |

Tabela 4-20 - Evolução da área de Baixo Sapal do Home Range (95%) da Espécie *Tringa totanus* face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas artificializadas e agrícolas

| BAIXO SAPAL | | | | | |
|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------------|
| Cenário Inundação | Área Total (km ²) | Var. Global (km ²) | Var. Global (%) | Var. Gradual (km ²) | Var. Gradual (%) |
| Referência | 4.14 | | | | |
| +50 cm | 1.34 | -2.80 | -68 | -2.80 | -68 |
| +100 cm | 0.84 | -3.31 | -80 | -0.50 | -38 |
| +150 cm | 0.21 | -3.93 | -95 | -0.62 | -74 |
| +200 cm | 0.09 | -4.05 | -98 | -0.12 | -57 |

Tabela 4-21 - Evolução da área de Alto Sapal do Home Range (95%) da Espécie *Tringa totanus* face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas artificializadas e agrícolas

| ALTO SAPAL | | | | | |
|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------------|
| Cenário Inundação | Área Total (km ²) | Var. Global (km ²) | Var. Global (%) | Var. Gradual (km ²) | Var. Gradual (%) |
| Referência | 3.38 | | | | |
| +50 cm | 1.24 | -2.14 | -63 | -2.14 | -63 |
| +100 cm | 0.38 | -3.01 | -89 | -0.87 | -70 |
| +150 cm | 0.14 | -3.24 | -96 | -0.23 | -6 |
| +200 cm | 0.08 | -3.31 | -98 | -0.07 | -47 |

No caso do raso de maré, e com uma subida do NMM de 50 cm em relação ao período de referência, a sua área começa por aumentar. Este facto, pode prender-se, tal como explicado para as espécies anteriores, com a deslocação do limite superior do raso de maré para zonas ainda abrangidas pelo *home range* desta espécie. Nos restantes cenários, existe perda de área deste ecossistema intermareal o que indica que o limite inferior do raso de maré passa a estar incluída no *home range* desta ave. No caso do limite superior do raso de maré, este possivelmente encontra-se junto a áreas agrícolas ou artificializadas, ou simplesmente, fora do *home range*. As conjugações destes dois fatores limitantes do raso de maré podem então causar a sua redução, chegando a perder-se mais de 50% da sua área.

No caso do sapal, quer o baixo sapal ou o alto sapal, apresentam drásticas perdas de área com qualquer um dos cenários de subida do NMM chegando mesmo a uma perda próxima dos 100% nalguns casos. Os motivos são possivelmente semelhantes aos explicados para a espécie *Tringa totanus*, ou a deslocação do sapal para uma zona exterior ao *home range* ou a confrontação com zonas protegidas, que não permitem a migração para a cotas superiores.

Capítulo 5

CONCLUSÕES

5.1 Conclusões

Os resultados obtidos na realização deste trabalho de dissertação mostram que com a metodologia e abordagem propostas no capítulo 3 é possível identificar com algum rigor os EI de um estuário e caracterizar a vulnerabilidade não só destes ecossistemas como da avifauna face a cenários pré-estabelecidos de subida do NMM.

Os principais objetivos deste estudo prendiam-se com a elaboração de uma metodologia que permitisse obter um Modelo Topo-Batimétrico do Estuário do Tejo, uma cartografia temática da vulnerabilidade à subida do NMM dos EI (raso de maré, baixo sapal e alto sapal) e uma cartografia temática da vulnerabilidade à subida do NMM da avifauna do Estuário. Além disso, pretendia-se obter resultados para quatro cenários de subida do NMM, 50, 100, 150 e 200 cm acima do NMM de referência (situação atual), e com preservação de diferentes classes de ocupação do solo, nomeadamente, áreas agrícolas e artificializadas. Assim, com este estudo, é possível retirar as seguintes conclusões:

- O uso de fontes de informação com a qualidade exigível neste tipo de projetos mostrou-se um dos fatores mais desafiantes ao longo de todo o trabalho uma vez que os dados disponíveis de acesso gratuito, apresentam uma qualidade posicional reduzida devido a uma escala pouco compatível com o nível de detalhe requerido neste tipo de estudos. Foi por isso necessário realizar inúmeros processos de transformação/digitalização em alguns conjuntos de dados, de modo a ser viável a sua utilização.
- A diversidade de datas dos dados adquiridos e utilizados nesta dissertação pode também contribuir para a degradação ou incongruência dos resultados. A solução ideal seria a utilização de dados adquiridos na mesma época ou numa pequena janela temporal.
- A metodologia sugerida nesta dissertação é considerada adequada para a identificação de vulnerabilidades dos EI e da avifauna podendo ser utilizada como suporte a tomadas de decisão para processos que envolvam a gestão e ordenamento território que não necessitem de grande rigor posicional. A sua facilidade de replicação, através de um processamento simples e robusto pode ser uma forma objetiva de classificar os EI de qualquer estuário.
- Não havendo em Portugal muitos dados batimétricos de zonas estuarinas, passíveis de serem usados para a produção de MTBs, desenvolveu-se, nesta dissertação, uma metodologia que recorreu à utilização de imagens de satélite e que conciliadas com dados de maré, permitiu obter cotas com precisão adequada ao estudo, não sendo por isso necessário efetuar levantamentos hidrográficos.

Da metodologia proposta para a obtenção do MTB do Estuário do Tejo pode-se concluir que a precisão obtida, a facilidade e baixo custo de implementação dos diversos processos e a não necessidade de trabalho de campo, a não ser para o processo de validação, torna esta metodologia uma boa ferramenta para a geração de modelos batimétricos e, no caso desta dissertação, MTBs.

Nesta dissertação foi elaborada a cartografia temática de vulnerabilidade dos EI devido à subida do NMM para os quatro cenários de subida do NMM (50, 100, 150 e 200 cm acima do valor de referência) para cada um dos cenários de dinâmica sedimentar e preservação de classes de ocupação do solo

abordados nos capítulos anteriores, tendo sido analisada a evolução da área do raso de maré, baixo sapal e alto sapal:

- No caso do raso de maré, para os cenários de subida do NMM sem assoreamento, uma subida do NMM de 50 cm em relação ao período de referência traduz-se num aumento da sua área na ordem dos 13%, independentemente das classes de ocupação do solo preservadas. Nos restantes cenários de subida do NMM existe sempre perda de área de raso de maré. Nos cenários de proteção apenas das áreas agrícolas, no pior dos casos, perde-se perto de um terço da área de raso de maré (32%). Se considerarmos também a proteção das áreas artificializadas esse valor de perda de área aumenta para 41%. No caso dos cenários de subida do NMM com assoreamento para o raso de maré, a manutenção ou abandono das classes de ocupação do solo conduz a dois cenários contrastantes. Assim, se as áreas agrícolas deixarem de ser salvaguardadas, a área de raso de maré aumenta significativamente, chegando a duplicar a sua extensão relativa ao período de referência. Nos cenários com proteção das áreas artificializadas e agrícolas o raso de maré começa por aumentar em área, mas para o cenário de subida do NMM de 200 cm em relação ao período de referência o raso de maré volta a perder 32% da sua área. A nível de influência da taxa de assoreamento na evolução da área do raso de maré, os cenários com assoreamento trazem variações, positivas ou negativas, da área deste ecossistema de cerca de 10% para as quatro hipóteses de subida NMM a nível global.
- No caso do baixo sapal, para os cenários de subida do NMM sem assoreamento, qualquer subida do NMM, de entre os valores em estudo, representa uma grande perda de área. Independentemente da proteção das classes de ocupação do solo, uma subida de 100 cm face ao NMM é suficiente para se perder mais de 50% de área do raso de maré. No caso de se proteger apenas as áreas agrícolas a perda de área deste EI chega, no pior cenário de subida do NMM, aos 66% sendo que este valor aumenta para 89% se adicionarmos a proteção das áreas artificializadas. Para este ecossistema intermareal a preservação das áreas artificializadas tem um forte impacto na sua área, visível pelo facto da perda de área do segundo cenário de inundação com preservação das áreas urbanas, 69%, ser mais gravosa que o pior cenário sem manutenção destas áreas. No caso do baixo sapal, para os cenários de subida do NMM com assoreamento, a proteção apenas das áreas artificializadas provoca um aumento da área de baixo sapal cerca de 177% para uma subida do NMM de 50 cm face ao período de referência e uma diminuição da área deste ecossistema para os restantes cenários. A nível do impacto da taxa de assoreamento, este atenua o efeito da subida do NMM no baixo sapal. De facto, a área total obtida no cenário de subida de NMM de 150 cm, em relação ao NMM atual, no cenário sem assoreamento é relativamente próximo do valor obtido para uma subida de 200 cm comprovando esta minimização da subida do NMM.
- No caso do alto sapal para os cenários de subida do NMM, com e sem assoreamento as conclusões extraídas são semelhantes às do baixo sapal. Para os cenários de subida do NMM sem assoreamento qualquer subida do NMM de entre os quatro valores analisados representa uma grande perda de área deste EI. Preservando apenas as áreas agrícolas o alto sapal perde, no pior dos casos, na ordem de 63% da sua área. Supondo que se protegem também as áreas artificializadas o pior cenário de perda de área de alto sapal aumenta para cerca de 87% o que demonstra o grande impacto da preservação destas áreas neste EI. Para cenários de subida do NMM com assoreamento, sem a preservação das áreas agrícolas e para uma subida do NMM de 50 cm, face ao período de referência, a área de alto sapal aumenta e para todos os outros cenários esta diminui atingindo valores na ordem dos 46%. Se as áreas agrícolas também forem protegidas em qualquer um dos cenários de subida do NMM com assoreamento há perda de área deste EI sendo o cenário mais gravoso a perda de 69% da sua área. Para este EI, o

assoreamento tem um forte impacto na evolução da sua área uma vez que no cenário de subida do NMM de 200 cm face ao período de referência com a implementação da taxa de assoreamento, a área final corresponde a mais do dobro da obtida para o mesmo cenário de subida do NMM sem assoreamento. Assim, a dinâmica sedimentar neste EI atenua substancialmente a subida do NMM.

Para a produção da cartografia temática de vulnerabilidade à subida do NMM da Avifauna foram selecionados dois cenários de classes de ocupação do solo a salvaguardar e a aplicar às duas áreas de estudo (*Home Range* e *Core Area*) para cada espécie. A elaboração desta cartografia permitiu retirar algumas conclusões sobre a vulnerabilidade da avifauna à subida do NMM tendo como base a área dos EI existentes no seu *home range* e *core area*:

- Os resultados obtidos permitem concluir que para as espécies e áreas em estudo a salvaguarda ou abandono das áreas agrícolas não trazem alterações significativas às áreas dos EI presentes nos *home ranges* e *core areas* dado que a variação de um cenário para o outro é cerca de 1%.
- Para a espécie *Pluvialis squatarola* qualquer cenário de subida do NMM se traduz em perda de área dos EI sendo a única exceção a área de raso de maré calculada para uma subida do NMM de 50 cm em relação ao período de referência que aumenta 11%. O raso de maré tem, para esta espécie, no pior dos casos uma perda de 55% da sua área enquanto o sapal, quer o baixo sapal quer o alto sapal, perdem virtualmente 100% da sua dimensão.
- Para a espécie *Limosa limosa* existem dois cenários de subida do NMM vantajosos para o raso de maré, nomeadamente, subidas de 50 cm e 100 cm do NMM face ao período de referência onde o aumento de área é, respetivamente de 22% e 10%. Os restantes cenários provocam uma diminuição da área do raso de maré que, no pior cenário, diminui 45%. No caso do sapal, mais uma vez, qualquer cenário provoca perda de área que volta a atingir os 100%.
- Para a espécie *Tringa Totanus*, no caso raso de maré, com uma subida do NMM de 50 cm em relação ao período de referência, a sua área começa por aumentar, diminuindo em todos os outros cenários até um valor máximo de 57% de perda de área. Também esta espécie apresenta uma perda de 100% do seu baixo e alto sapal para o cenário de subida do NMM de 200 cm em relação ao NMM atual.
- Para qualquer um dos cenários, todas as espécies terão de se adaptar e deslocar para novas áreas geográficas uma vez que a constituição dos seus *home ranges* e *core areas* é fortemente afetada pela subida do NMM.

5.2 Recomendações Futuras

Algumas perspetivas futuras podem ser levantadas com base neste trabalho, uma vez que ainda muito existe por fazer e como foi dito anteriormente, qualquer que seja a estratégia que venha a ser adotada terão de ser realizados mais estudos de pormenor para os EI e a avifauna. Assim, destacam-se as seguintes recomendações:

- Utilizar dados com uma mesma base temporal e, preferencialmente, mais recentes.
- Aplicar e testar a metodologia num MTB com uma resolução espacial melhor, e confrontar os resultados obtidos com os que aqui são apresentados. Serão os resultados muito diferentes caso se utilize um MTB com melhor resolução?
- Incorporar mais dados altimétricos nas zonas que se encontram na região do final da batimetria e do início do MDT para evitar erros semelhantes aos descritos nesta dissertação.
- Implementar as taxas de sedimentação específicas para cada zona do Estuário do Tejo e não um valor médio para toda a área obtendo um modelo mais dinâmico a nível sedimentar.

Referências Bibliográficas

- Allen, J., 2000. Morphodynamics of Holocene salt marshes: a review sketch from the Atlantic and Southern North Sea coasts of Europe. *Quat. Sci. Rev.* 19, 1155–1231. [https://doi.org/10.1016/S0277-3791\(99\)00034-7](https://doi.org/10.1016/S0277-3791(99)00034-7)
- Antunes, C., 2019. Assessment of sea level rise at West Coast of Portugal Mainland and its projection for the 21st century. *J. Mar. Sci. Eng.* 7. <https://doi.org/10.3390/jmse7030061>
- Antunes, C., 2014. Eventos Extremos e a Variação do Nível do Mar, in: 3^{as} Jornadas de Engenharia Geográfica. Lisboa, pp. 33–36.
- Antunes, C., 2012. Implicação da subida do NMM na necessidade de revisão dos sistemas de referência verticais., in: Actas Do 3^o Encontro Nacional de Geodesia Aplicada. Presented at the 3^o Encontro Nacional de Geodesia Aplicada, LNEC, Lisboa, pp. 13–18.
- Antunes, C., 2011. Monitoring sea level change at Cascais tide gauge. *J. Coast. Res.* SI 64.
- Antunes, C., Taborda, R., 2009. Sea level at Cascais tide gauge: data, analysis and results. *J. Coast. Res.* SI 56, 218–222.
- Antunes, C. 2007. Previsão de Marés dos Portos Principais de Portugal. FCUL Webpage, http://webpages.fc.ul.pt/~cmantunes/hidrografia/hidro_mares.html.
- Azevêdo, T.M., Nunes, E., Ramos, C., 2004. Some Morphological Aspects and Hydrological Characterization of the Tagus Floods in the Santarém Region, Portugal. *Nat. Hazards* 31, 587–601. <https://doi.org/10.1023/B:NHAZ.0000024892.61336.ec>
- Bettencourt, A., Gomes, V., Dias, A., Ferreira, G., Silva, M., Costa, L., 2003. Estuários Portugueses. Biorede, 2022. Sapais, mangais e prados marinhos [WWW Document]. URL <http://www.biorede.pt/page.asp?id=1051> (accessed 12.14.22).
- Bishop-Taylor, R., Sagar, S., Lymburner, L., Beaman, R.J., 2019. Between the tides: Modelling the elevation of Australia’s exposed intertidal zone at continental scale. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 223, 115–128. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.03.006>
- Bué, I., Catalão, J., Semedo, Á., 2020. Intertidal bathymetry extraction with multispectral images: A logistic regression approach. *Remote Sens.* 12. <https://doi.org/10.3390/RS12081311>
- Cai, H., Savenije, H.H.G., Toffolon, M., 2012. A new analytical framework for assessing the effect of sea-level rise and dredging on tidal damping in estuaries. *J. Geophys. Res. Oceans* 117. <https://doi.org/10.1029/2012JC008000>
- Cameron, W.M., Pritchard, D.W., 1963. Estuaries, in: *The Sea*. Wiley Interscience, Nova Iorque, pp. 306–324.
- Chmura, G.L., 2009. Tidal Salt Marshes and Mangrove Swamps., in: *Coastal Zones and Estuaries. ENCYCLOPEDIA OF LIFE SUPPORT SYSTEMS*, pp. 379–394.
- Coelho, C., 2005. Riscos de Exposição de Frentes Urbanas para Diferentes Intervenções de Defesa Costeira (Doutoramento). Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal.
- Costa, J.C., 2001. Tipos de vegetação e adaptações das plantas do litoral de Portugal continental, in: Albergaria Moreira, M.E., Casal Moura, A., Granja, H.M., Noronha, F. (Eds.), *Homenagem (in Honório) Professor Doutor Soares de Carvalho*. Universidade do Minho, p. 283299.
- Costa, L.T., Nunes, M., Geraldés, P., Costa, H., 2003. Zonas Importantes para as Aves em Portugal. Sociedade portuguesa para o Estudo das Aves, Lisboa, Portugal.
- Costa, M., 2017. Desenvolvimento de uma metodologia de avaliação de risco costeiro face aos cenários de alterações climáticas: Aplicação ao Estuário do Tejo e à Ria de Aveiro (Mestrado). Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal.
- Cramp, S., Simmons, K.E.L., 1983. *Handbook of the Birds of Europe the Middle East and Africa: The Birds of the Western Palearctic*. Oxford University Press, Oxford.
- Davis, R., Dalrymple, R., 2012. *Principles of Tidal Sedimentology*. Springer Science+Business Media B.V.
- Delany, S., Scott, D., 2006. *Waterbird Population Estimates*, 4^a. ed. Wetlands International, Wageningen, Países Baixos.
- Delaunay, B., 1934. “Sur la sphère vide. A la mémoire de Georges Voronoï.” *An. Acad. Ciênc. URSS*, VII 793–800.

- DGT, 2022. Sistemas de Referência | DGT [WWW Document]. URL <https://www.dgterritorio.gov.pt/geodesia/sistemas-referencia> (accessed 12.14.22).
- Dias, A.A., Marques, J.M., 1999. Estuários, in: Estuário Do Tejo: O Seu Valor e Um Pouco Da Sua História. Reserva Natural Do Estuário Do Tejo. p. 156.
- Dias, J.M.A., Taborada, R., 1988. EVOLUÇÃO RECENTE DO NÍVEL MÉDIO DO MAR: EM PORTUGAL*.
- Dierssen, H.M., Theberge, A.E., 2016. Bathymetry: Assessment, in: Encyclopedia of Natural Resources: Water. CRC Press, pp. 629–636. <https://doi.org/10.1081/e-enrw-120048588>
- Duarte, A., Vieira, J., 1997. Caracterização dos Ambientes Estuarinos: Mistura em Estuários. Eng. Civ. 6, 41–55.
- Ensing, E., de Swart, H.E., Schuttelaars, H.M., 2015. Sensitivity of tidal motion in well-mixed estuaries to cross-sectional shape, deepening, and sea level rise: An analytical study. Ocean Dyn. 65, 933–950. <https://doi.org/10.1007/s10236-015-0844-8>
- Fagherazzi, S., Kirwan, M.L., Mudd, S.M., Guntenspergen, G.R., Temmerman, S., D’Alpaos, A., Van De Koppel, J., Rybczyk, J.M., Reyes, E., Craft, C., Clough, J., 2012. Numerical models of salt marsh evolution: Ecological, geomorphic, and climatic factors. Rev. Geophys. 50. <https://doi.org/10.1029/2011RG000359>
- Fairbridge, R.W., 1980. The Estuary: its definition and geologic cycle, in: Olausson, E., Cato, I. (Eds.), Chemistry and Biogeochemistry of Estuaries. Wiley Interscience, Nova Iorque, EUA, pp. 1–36.
- Fitzgerald, D.M., Hughes, Z., 2019. Marsh Processes and Their Response to Climate Change and Sea-Level Rise. <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-082517>
- Freire, P., 1999. Evolução Morfo-Sedimentar de Margens Estuarinas (Estuário do Tejo, Portugal) (Doutoramento). Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal.
- Freire, P., Andrade, C., Taborada, R., 2006. Caracterização das Praias Estuarinas do Tejo. Assoc. Port. Recur. Hídricos.
- Gonçalves, P., 2016. Os sapais em Portugal Continental Levantamento e evolução das suas envolventes desde 1990 a 2012 (Mestrado). Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.
- Gornitz, V., White, T., Cushman, R., 1991. Vulnerability of the U.S. to Future Sea Level Rise.
- Guerreiro, M., Fortunato, A.B., Freire, P., Rilo, A., Taborada, R., Freitas, M.C., Andrade, C., Silva, T., 2012. Consequências da subida do nível médio do mar na hidrodinâmica do estuário do Tejo, in: Actas Das 2^{as} Jornadas de Engenharia Hidrográfica. Presented at the 2^{as} Jornadas de Engenharia Hidrográfica, Lisboa, Portugal, pp. 143–146.
- Guth, P.L., Van Niekerk, A., Grohmann, C.H., Muller, J.P., Hawker, L., Florinsky, I.V., Gesch, D., Reuter, H.I., Herrera-Cruz, V., Riazanoff, S., López-Vázquez, C., Carabajal, C.C., Albinet, C., Strobl, P., 2021. Digital elevation models: Terminology and definitions. Remote Sens. 13. <https://doi.org/10.3390/rs13183581>
- Hidroprojecto - Engenharia E Gestão S.A., 2007a. Etapa 1 - Descrição, in: Plano de Ordenamento e Gestão Para a Reserva Natural Do Estuário Do Tejo - Estudos de Base. ICNB, p. 239.
- Hidroprojecto - Engenharia E Gestão S.A., 2007b. Etapa 1 - Descrição, in: Plano de Ordenamento e Gestão Para a Reserva Natural Do Estuário Do Tejo - Estudos de Base. ICNB, p. 305.
- Hidroprojecto - Engenharia E Gestão S.A., 2007c. Etapa 1 - Descrição, in: Plano de Ordenamento e Gestão Para a Reserva Natural Do Estuário Do Tejo - Estudos de Base. ICNB, p. 229.
- Höhle, J., Höhle, M., 2009. Accuracy assessment of digital elevation models by means of robust statistical methods. ISPRS J. Photogramm. Remote Sens. 64, 398–406. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2009.02.003>
- ICNF, 2022. Livro Vermelho dos Vertebrados de Portugal [WWW Document]. URL <https://www.icnf.pt/biodiversidade/patrimoniounatural/livrovermelhosvertebradosdeportugal> (accessed 12.14.22).
- ICNF, 2000. Plano Sectorial da Rede Natura 2000: Zonas de Proteção Especial.
- IH, 2022. Instituto Hidrográfico [WWW Document]. URL <https://www.hidrografico.pt/infoteca/1/1> (accessed 12.14.22).
- Inácio, M., 2017. Evolução morfossedimentar do sapal da Caldeira de Tróia em contexto de subida do nível médio do mar Mestrado em Geologia do Ambiente, Riscos Geológicos e Ordenamento do Território Dissertação orientada por: Professora Doutora Maria da Conceição Pombo Freitas (Mestrado). Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa.

- Khojasteh, D., Glamore, W., Heimhuber, V., Felder, S., 2021. Sea level rise impacts on estuarine dynamics: A review. *Sci. Total Environ.* 780. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146470>
- Khojasteh, D., Hottinger, S., Felder, S., De Cesare, G., Heimhuber, V., Hanslow, D.J., Glamore, W., 2020. Estuarine tidal response to sea level rise: The significance of entrance restriction. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 244. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.106941>
- Leitão, D., Catry, P., Costa, H., Elias, G.L., Reino, L.M., 1998. As Aves do Estuário do Tejo. Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas, Lisboa, Portugal.
- McFeeters, S.K., 1996. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *Int. J. Remote Sens.* 17, 1425–1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>
- Melet, A., Meyssignac, B., Almar, R., Le Cozannet, G., 2018. Under-estimated wave contribution to coastal sea-level rise. *Nat. Clim. Change* 8, 234–239. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0088-y>
- Moftakhari, H., Schubert, J.E., AghaKouchak, A., Matthew, R.A., Sanders, B.F., 2019. Linking statistical and hydrodynamic modeling for compound flood hazard assessment in tidal channels and estuaries. *Adv. Water Resour.* 128, 28–38. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2019.04.009>
- Moreira, M.E., 1995. O limite marítimo do Estuário do Sado a partir de imagens satelitais. *Finisterra* 30, 139–148.
- Moreira, M.E., 1987. Estudo fitogeográfico do ecossistema de sapal do estuário do Sado. *Finisterra* 22, 247–296. <https://doi.org/10.18055/FINIS2000>
- NOAA, 2022a. What is bathymetry? [WWW Document]. URL <https://oceanservice.noaa.gov/facts/bathymetry.html> (accessed 12.14.22).
- NOAA, 2022b. Coastal Blue Carbon [WWW Document]. URL <https://oceanservice.noaa.gov/ecosystems/coastal-blue-carbon/> (accessed 12.14.22).
- Pritchard, D.W., 1971. Hydrodynamic models, Part I: Three dimensional models., in: *Estuarine Modeling: An Assessment*. Tracor Inc., Austin, Texas, pp. 5–21.
- Pugh, D., 2004. *Changing Sea Levels: Effects of Tides, Weather and Climate*. Cambridge University Press, Reino Unido.
- Redweik, P., 2021. Produção Cartográfica - Modelos Digitais de Elevação. Texto não publicado. Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- Ribeiro, J.L., 2010. Riscos Costeiros Estratégias de prevenção, mitigação e protecção, no âmbito do planeamento de emergência e do ordenamento do território, Caderno Técnico PROCIV. Autoridade nacional de Protecção Civil.
- Rocha, C., 2016. Estudo e Análise da Vulnerabilidade Costeira face a Cenários de subida do Nível Médio do Mar e Eventos Extremos devido ao efeito das Alterações Climáticas (Mestrado). Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Rolim, J., 2014. Modelação hidrodinâmica da sobrelevação do nível do mar de origem meteorológica no estuário do Tejo Engenharia Civil (Mestrado). Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal.
- Rolim, J., António Alexandre Trigo Teixeira Doutora Maria Amélia Vieira da Costa Araújo Júri Presidente, P., Luís Manuel Coelho Guerreiro Orientador, P., Maria Amélia Vieira da Costa Araújo Vogal, D., António Alberto Pires Silva, P., 2014. Modelação hidrodinâmica da sobrelevação do nível do mar de origem meteorológica no estuário do Tejo Engenharia Civil.
- Rosa, M., 2010. Estudo de modelação hidrodinâmica e biogeoquímica do estuário do Sado (Mestrado). Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal.
- Sagar, S., Roberts, D., Bala, B., Lymburner, L., 2017. Extracting the intertidal extent and topography of the Australian coastline from a 28 year time series of Landsat observations. *Remote Sens. Environ.* 195, 153–169. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.04.009>
- Santos, F.D., Forbes, R., 2002. SIAM - Alterações climáticas em Portugal: cenários, impactos e medidas de adaptação [WWW Document]. URL <http://cciam.fc.ul.pt/prj/siam/> (accessed 12.15.22).
- Savenije, H.H.G., Toffolon, M., Haas, J., Veling, E.J.M., 2008. Analytical description of tidal dynamics in convergent estuaries. *J. Geophys. Res. Oceans* 113. <https://doi.org/10.1029/2007JC004408>
- Silva, A., 2005. Importância energética da alimentação nocturna de aves limícolas invernantes no estuário do Tejo. (Estágio Profissionalizante da licenciatura em Biologia aplicada aos Recursos

- Animais, variante Terrestres). Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal.
- Silva, A., Freire, E., Crisóstomo, G., 2008. VARIACÕES DO NÍVEL MÉDIO ANUAL DO MAR EM CASCAIS: CARACTERÍSTICAS E TENDÊNCIAS. *Estud. Quaternário* 5, 51–66.
- Silva, M., 2000. Estuários - Critérios para uma Classificação Ambiental. *Rev. Bras. Recur. Hídricos* 5, 25–35.
- Silva, T., 2013. Sedimentologia e morfodinâmica de sapais do estuário do Tejo em cenários de alteração climática (Mestrado). Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Taborda, R., Ribeiro, M.A., 2015. A simple model to estimate the impact of sea-level rise on platform beaches. *Geomorphology* 234, 204–210. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.01.015>
- Talke, S.A., Jay, D.A., 2019. Changing Tides: The Role of Natural and Anthropogenic Factors. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010419>
- Titus, J.G., 1986. Greenhouse effect, sea level rise, and coastal zone management. *Coast. Zone Manag. J.* 14, 147–171. <https://doi.org/10.1080/08920758609362000>
- Van Rijn, L.C., 2011. Analytical and numerical analysis of tides and salinities in estuaries; Part I: Tidal wave propagation in convergent estuaries, in: *Ocean Dynamics*. pp. 1719–1741. <https://doi.org/10.1007/s10236-011-0453-0>
- Vieira, R., Antunes, C., Taborda, R., 2012. Caracterização da Sobreelevação Meteorológica em Cascais nos Últimos 50 Anos. Presented at the 2^{as} Jornadas da Engenharia Hidrográfica, Lisboa, Portugal.
- Williams, L.L., Lück-Vogel, M., 2020. Comparative assessment of the GIS based bathtub model and an enhanced bathtub model for coastal inundation. *J. Coast. Conserv.* 24, 23. <https://doi.org/10.1007/s11852-020-00735-x>
- Woodroffe, C.D., Murray-Wallace, C.V., 2012. Sea-level rise and coastal change: The past as a guide to the future. *Quat. Sci. Rev.* 54, 4–11. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2012.05.009>
- Xu, H., 2006. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *Int. J. Remote Sens.* 27, 3025–3033. <https://doi.org/10.1080/01431160600589179>

Anexos

A. POLÍGONOS DOS EI PARA OS VÁRIOS CENÁRIOS DE SUBIDA DO NMM SEM ASSOREAMENTO

i. Cenários com Preservação das Áreas Agrícolas

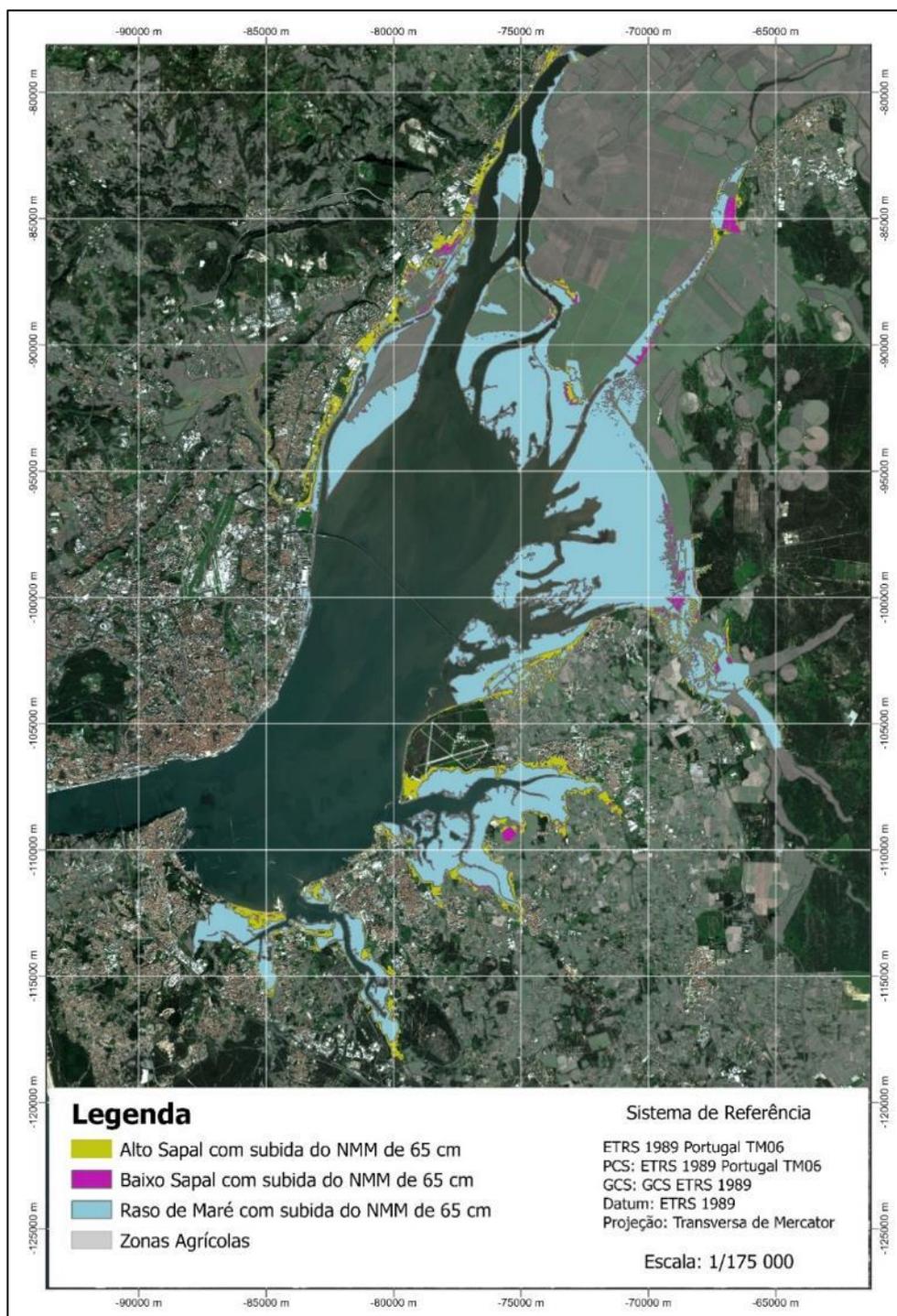


Figura A-1 - Polígonos dos EI para uma subida do NMM de 50 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 65 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) e com preservação das áreas agrícolas

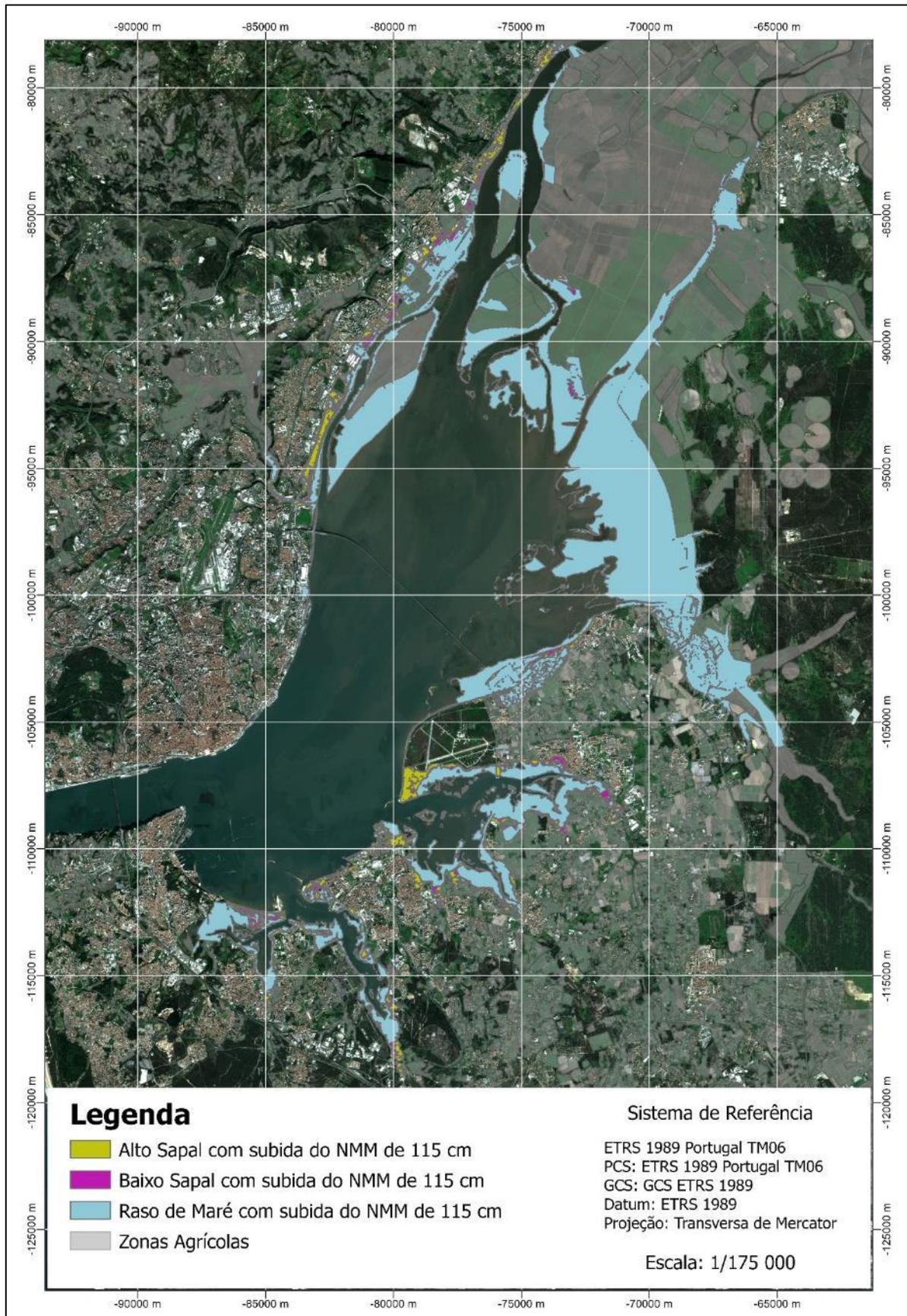


Figura A-2 - Polígonos dos EI para uma subida do NMM de 100 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 115 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) e com preservação das áreas agrícolas

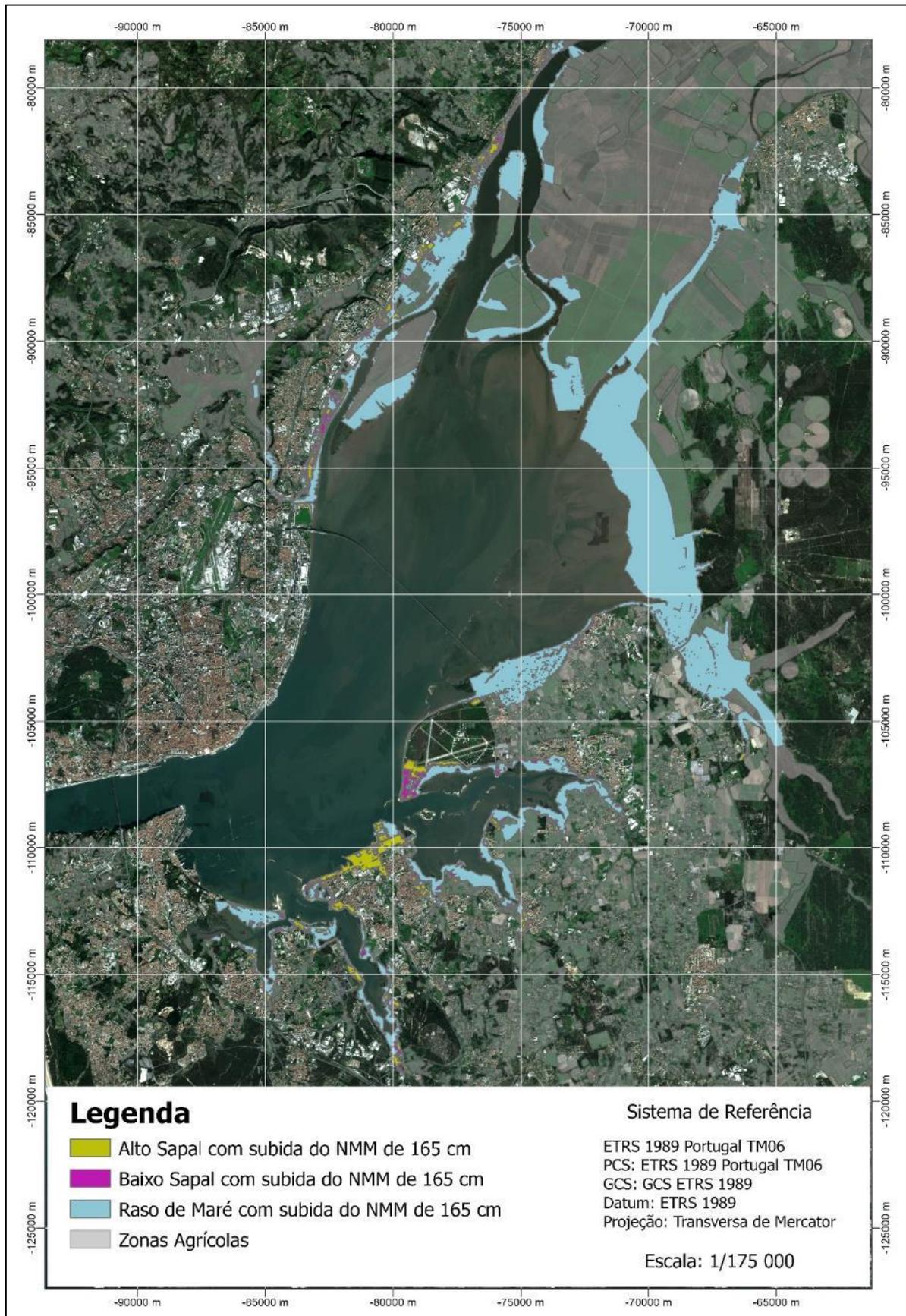


Figura A-3 - Polígonos dos EI para uma subida do NMM de 150 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 165 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) e com preservação das áreas agrícolas

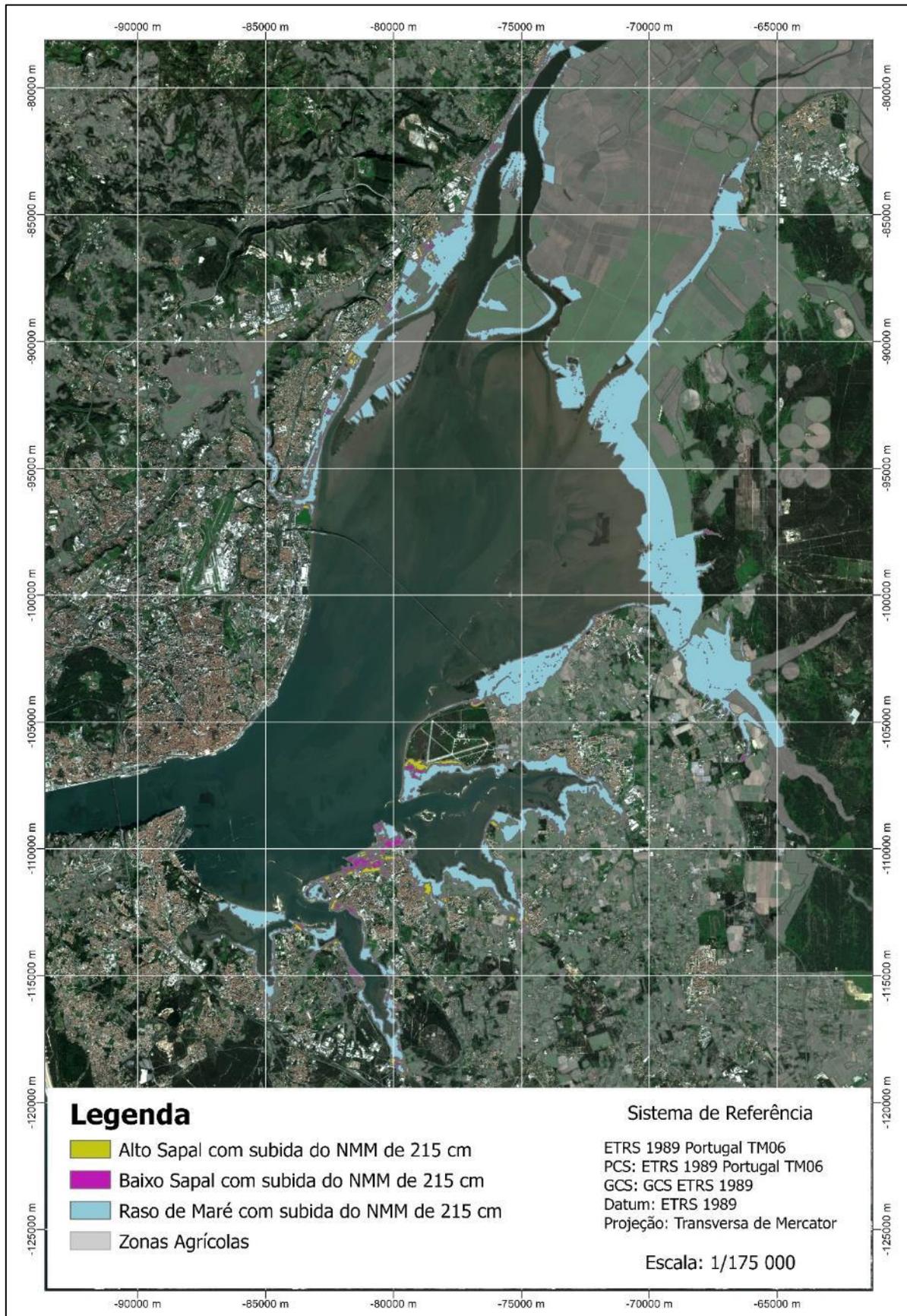


Figura A-4 - Polígonos dos EI para uma subida do NMM de 200 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 215 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) e com preservação das áreas agrícolas

B. POLÍGONOS DOS EI PARA OS VÁRIOS CENÁRIOS DE SUBIDA DO NMM COM ASSOREAMENTO

i. Cenários com Preservação das Áreas Artificializadas

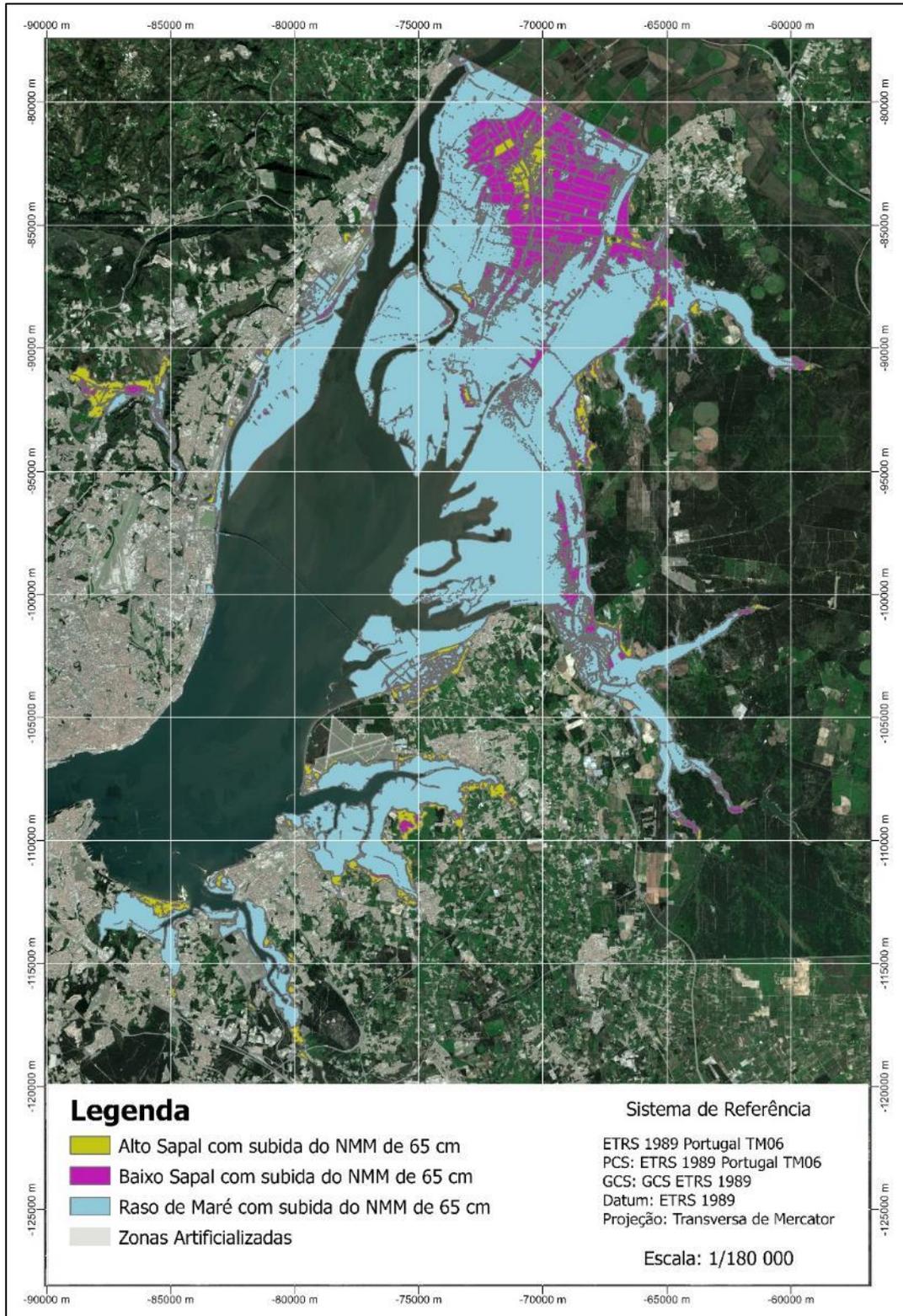


Figura B-1 - Polígonos dos EI para uma subida do NMM de 50 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 65 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) e com preservação das áreas artificializadas - Com Assoreamento

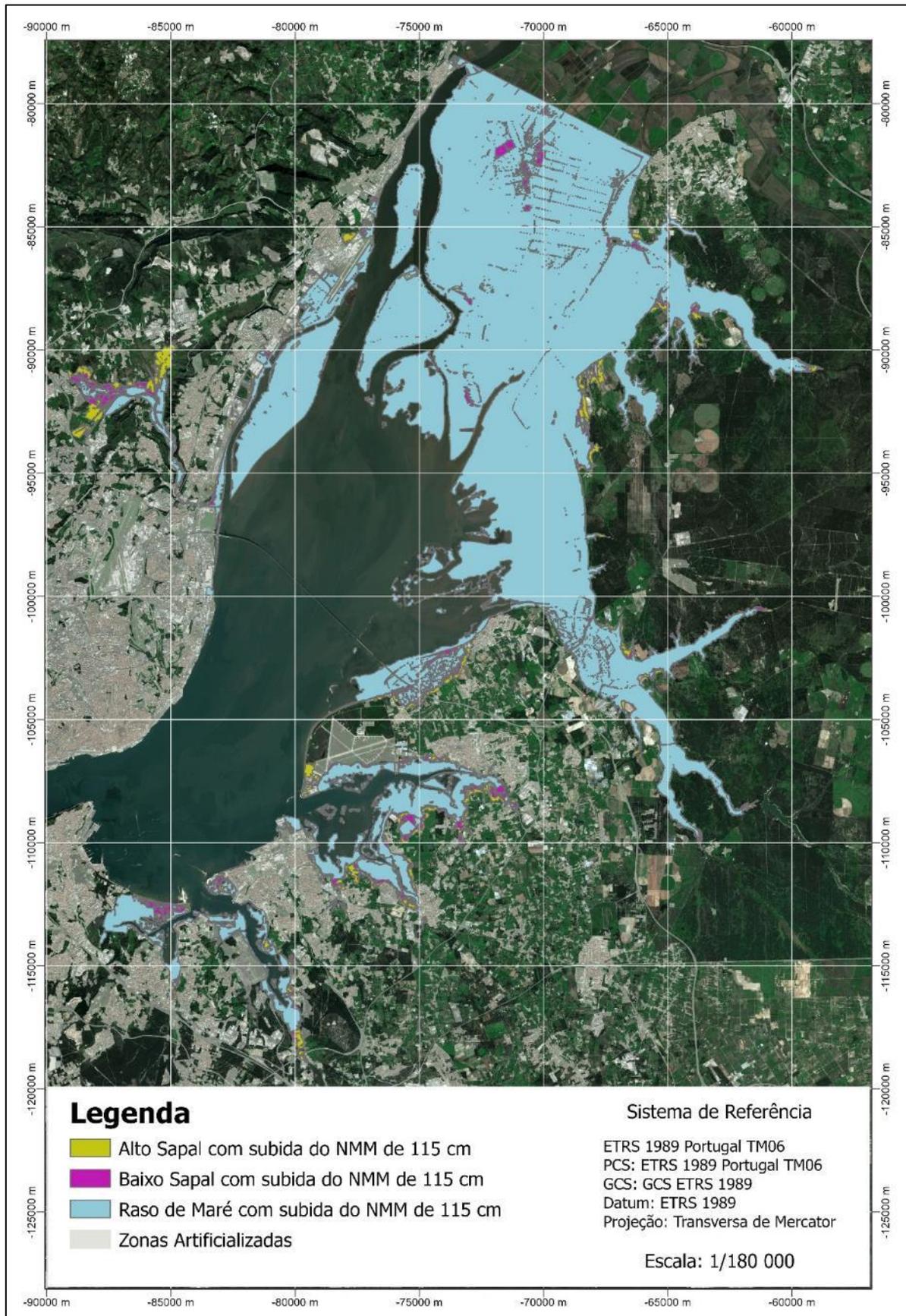


Figura B-2 - Polígonos dos EI para uma subida do NMM de 100 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 115 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) e com preservação das áreas artificializadas - Com Assoreamento

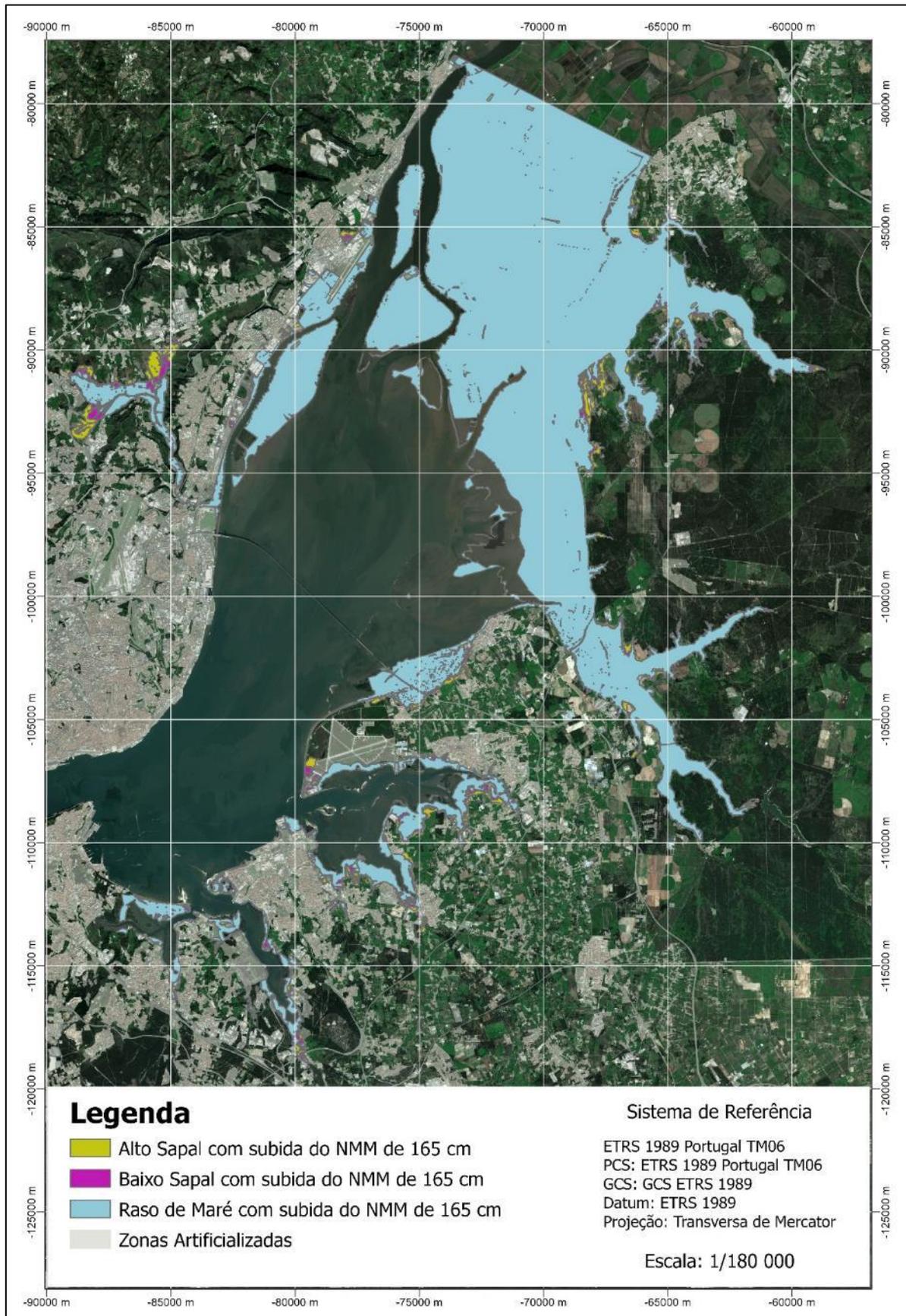


Figura B-3 - Polígonos dos EI para uma subida do NMM de 150 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 165 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) e com preservação das áreas artificializadas - Com Assoreamento

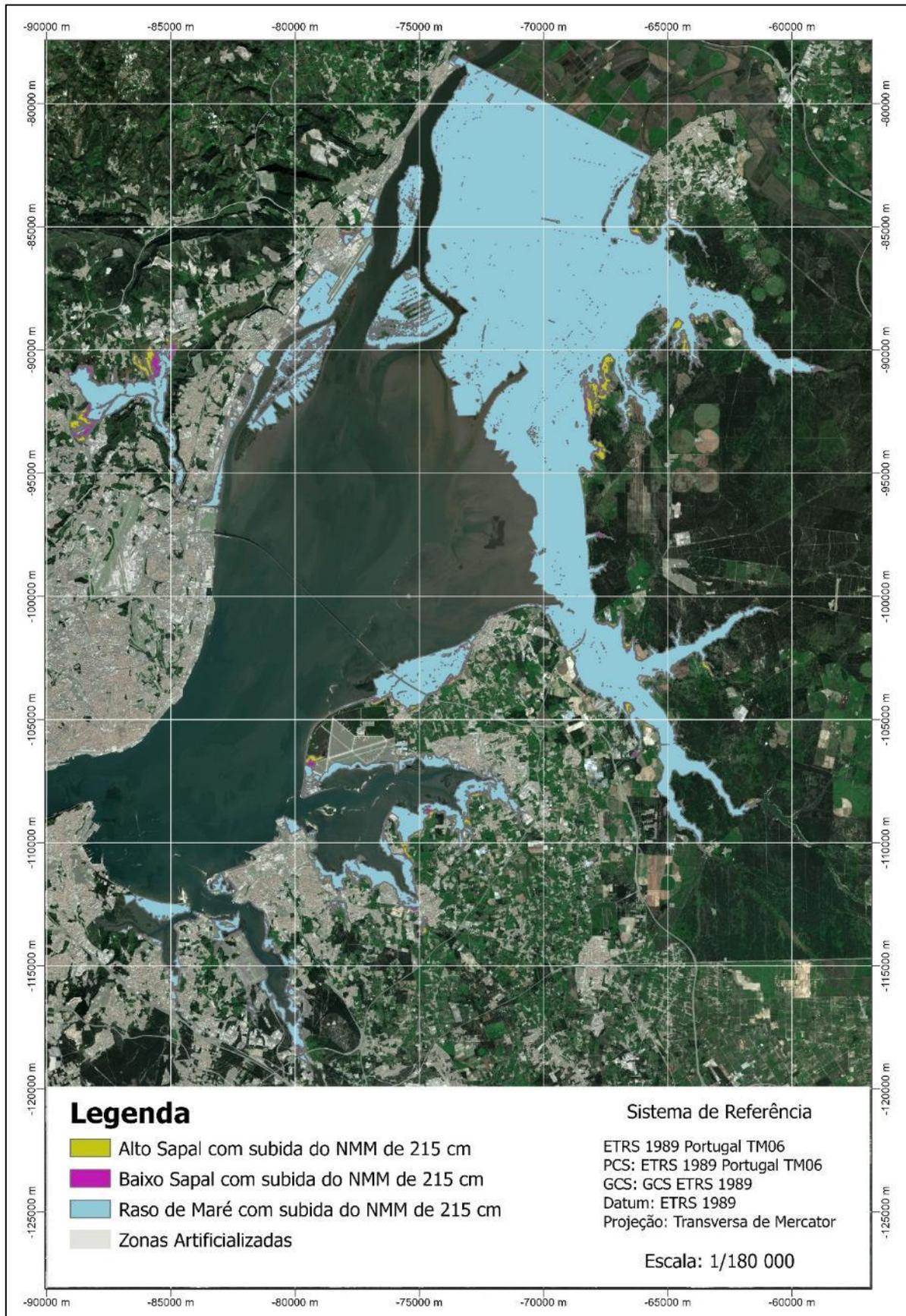


Figura B-4 - Polígonos dos EI para uma subida do NMM de 200 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 215 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) e com preservação das áreas artificializadas - Com Assoreamento

C. POLÍGONOS DOS EI DA AVIFAUNA PARA OS VÁRIOS CENÁRIOS DE SUBIDA DO NMM

i. Pluvialis squatarola

a. Classificação em EI da Core Area (50%)

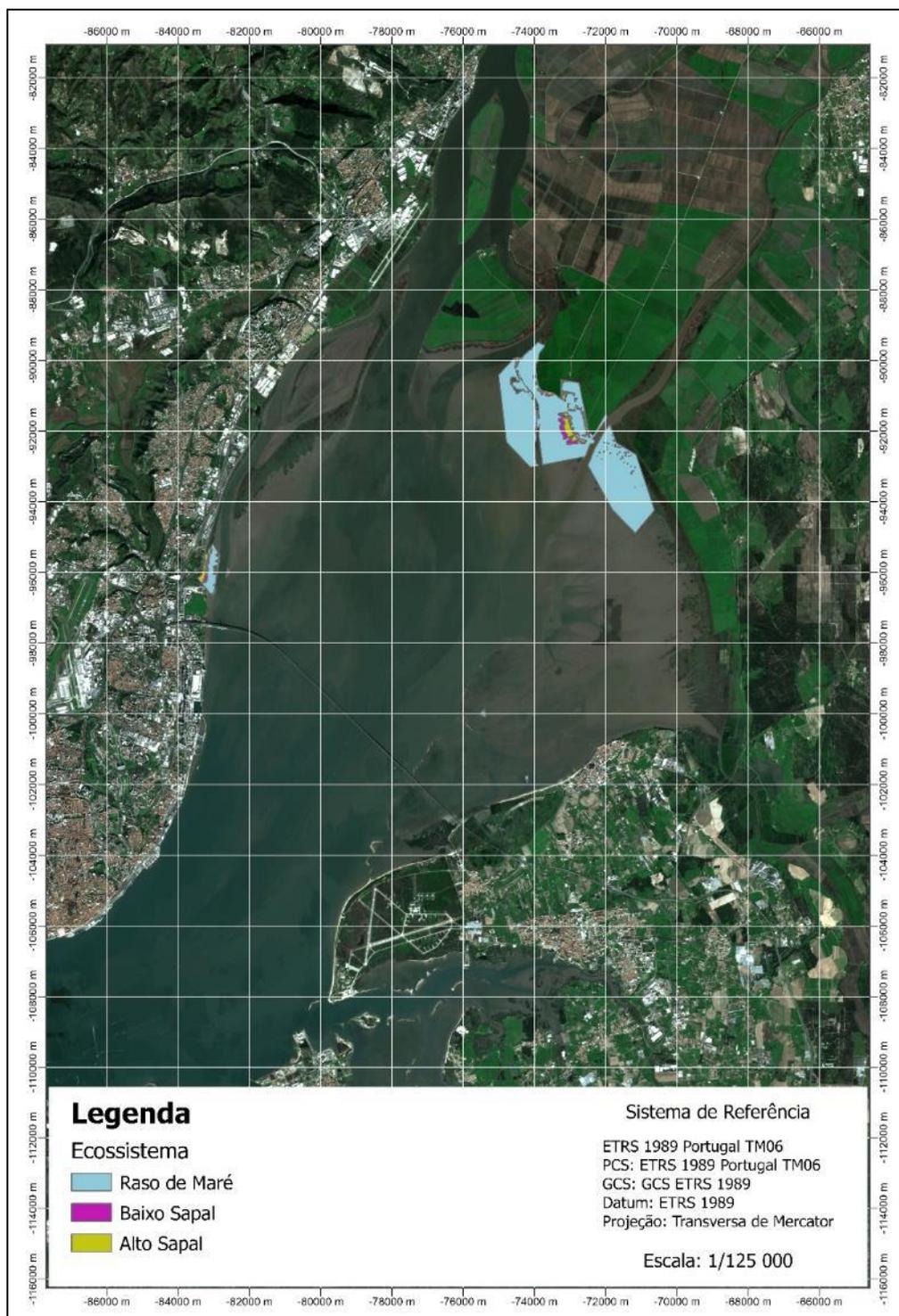


Figura C-1 - Classificação em EI da Core Area (50%) da Espécie *Pluvialis squatarola* para uma subida do NMM de 50 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 65 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) com preservação de áreas agrícolas e artificializadas

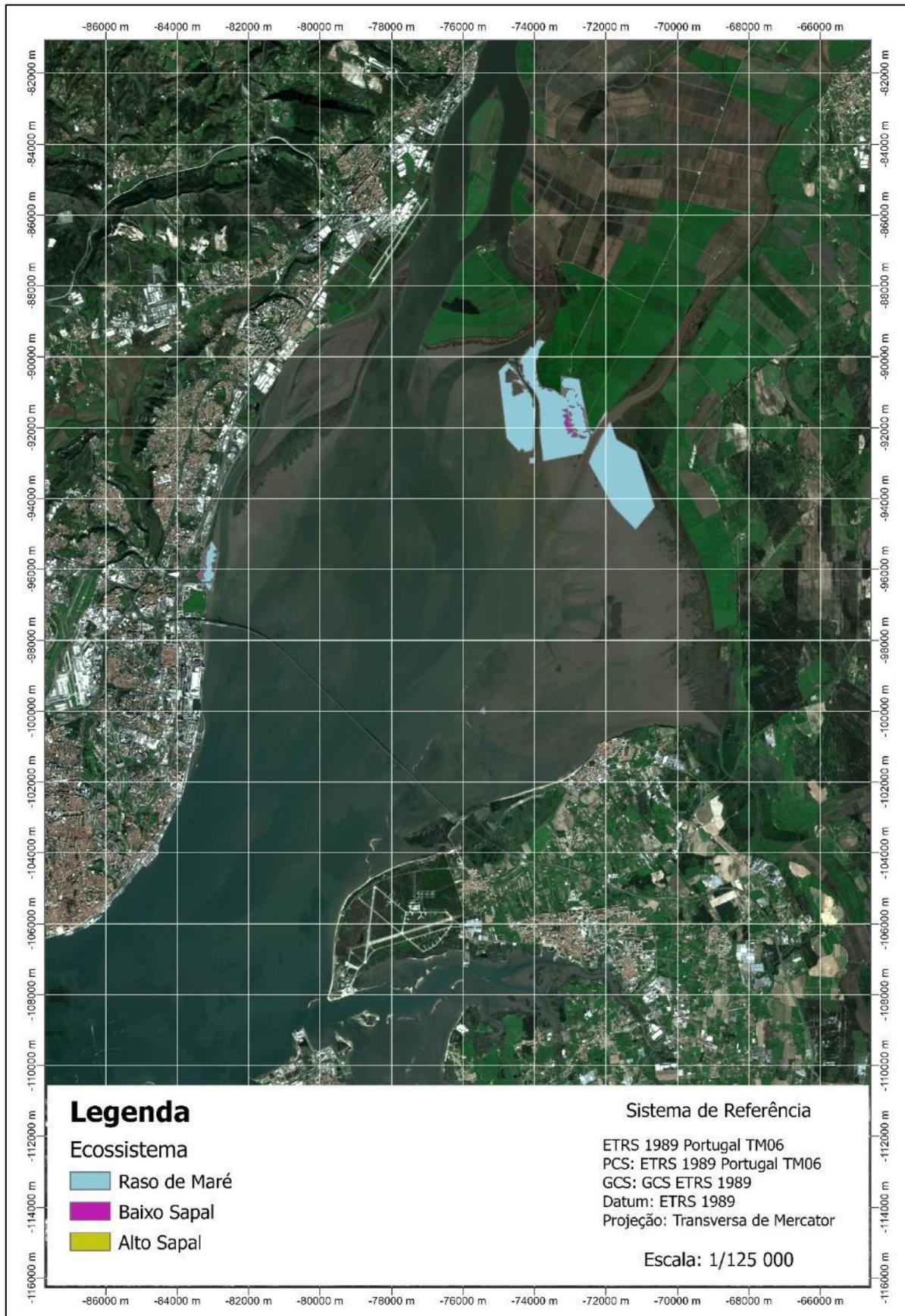


Figura C-2 - Classificação em EI da Core Area (50%) da Espécie *Pluvialis squatarola* para uma subida do NMM de 100 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 115 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) com preservação de áreas agrícolas e artificializadas

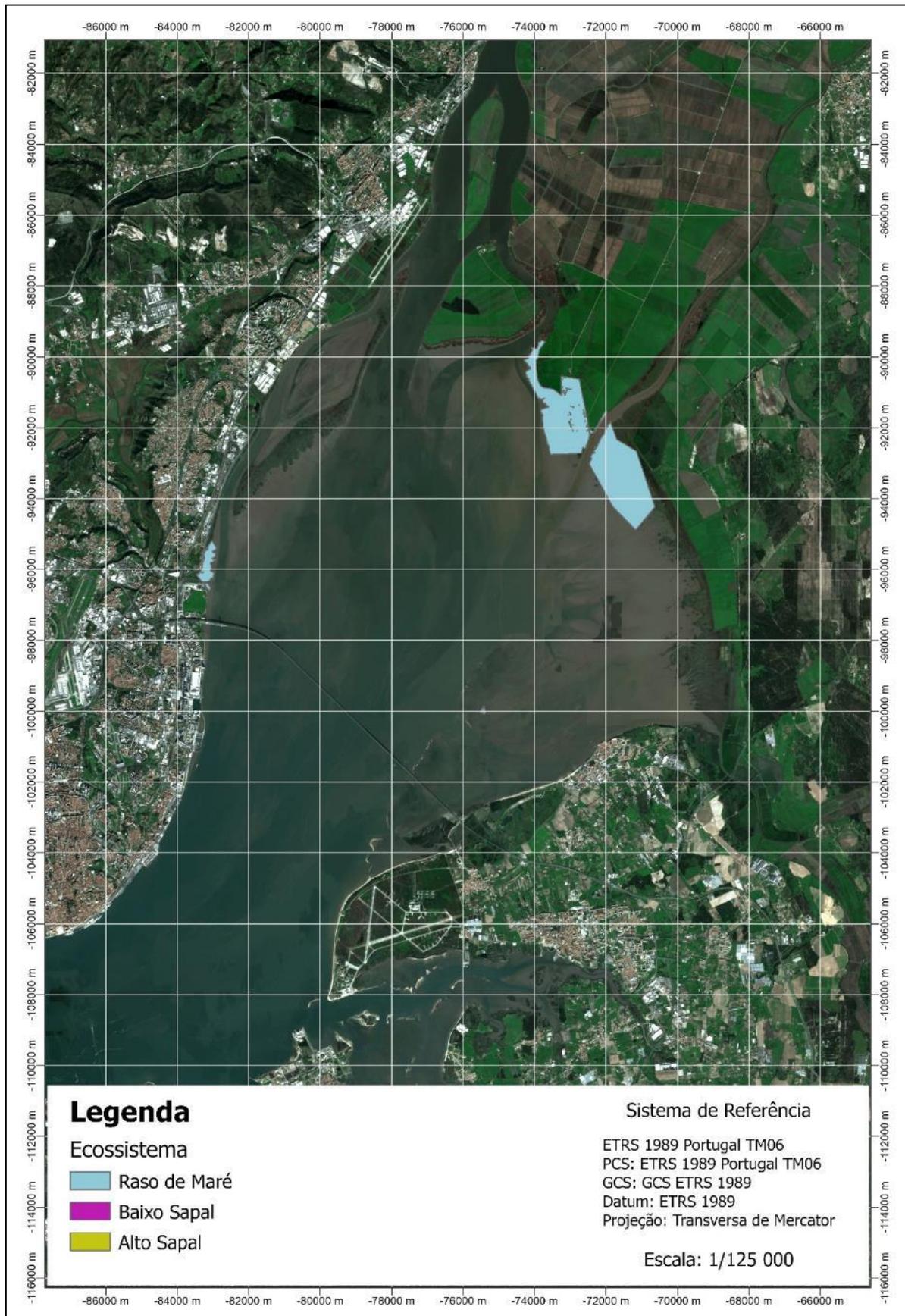


Figura C-3 - Classificação em EI da Core Area (50%) da Espécie *Pluvialis squatarola* para uma subida do NMM de 150 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 165 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) com preservação de áreas agrícolas e artificializadas

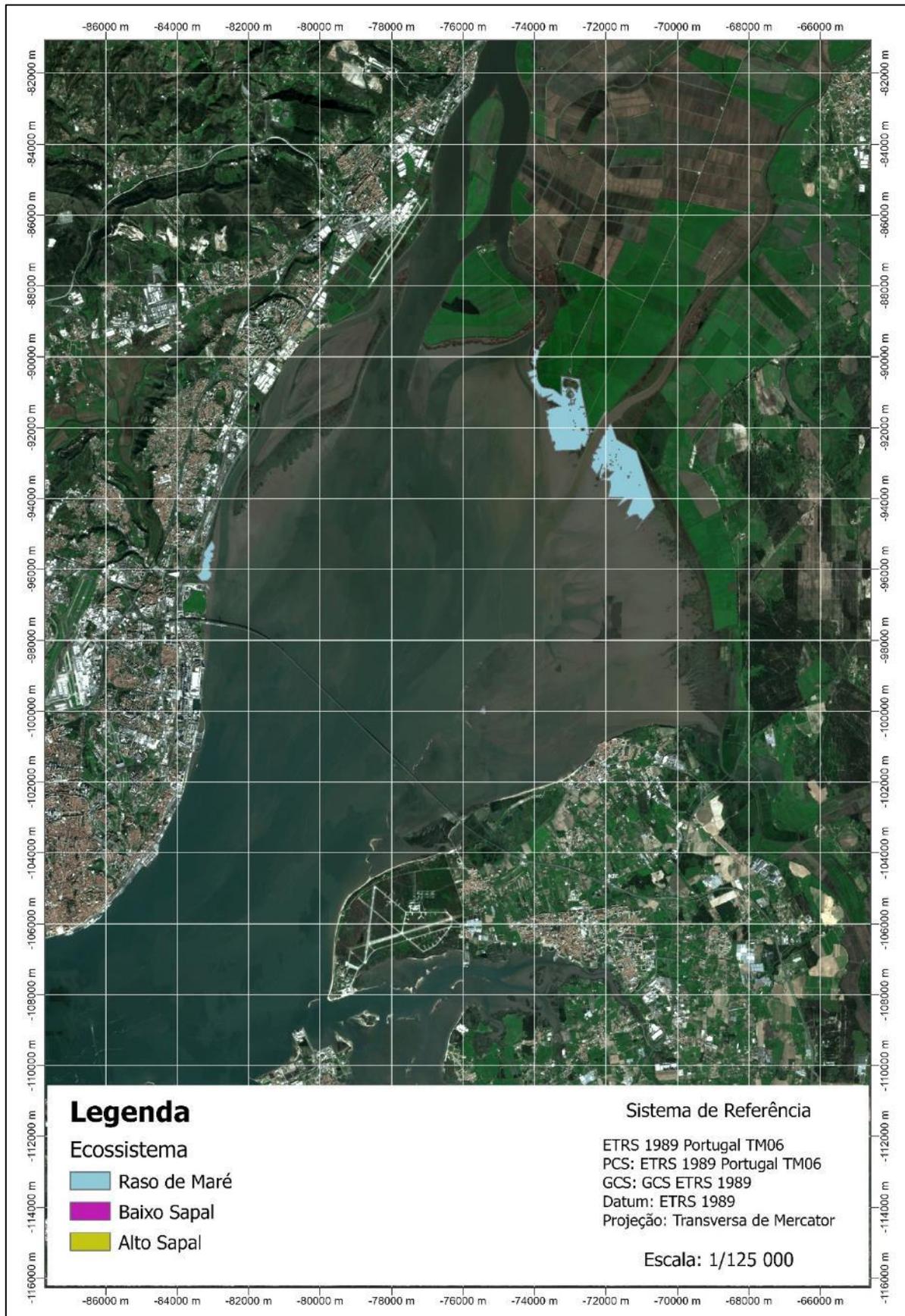


Figura C-4 - Classificação em EI da Core Area (50%) da Espécie *Pluvialis squatarola* para uma subida do NMM de 200 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 215 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) com preservação de áreas agrícolas e artificializadas

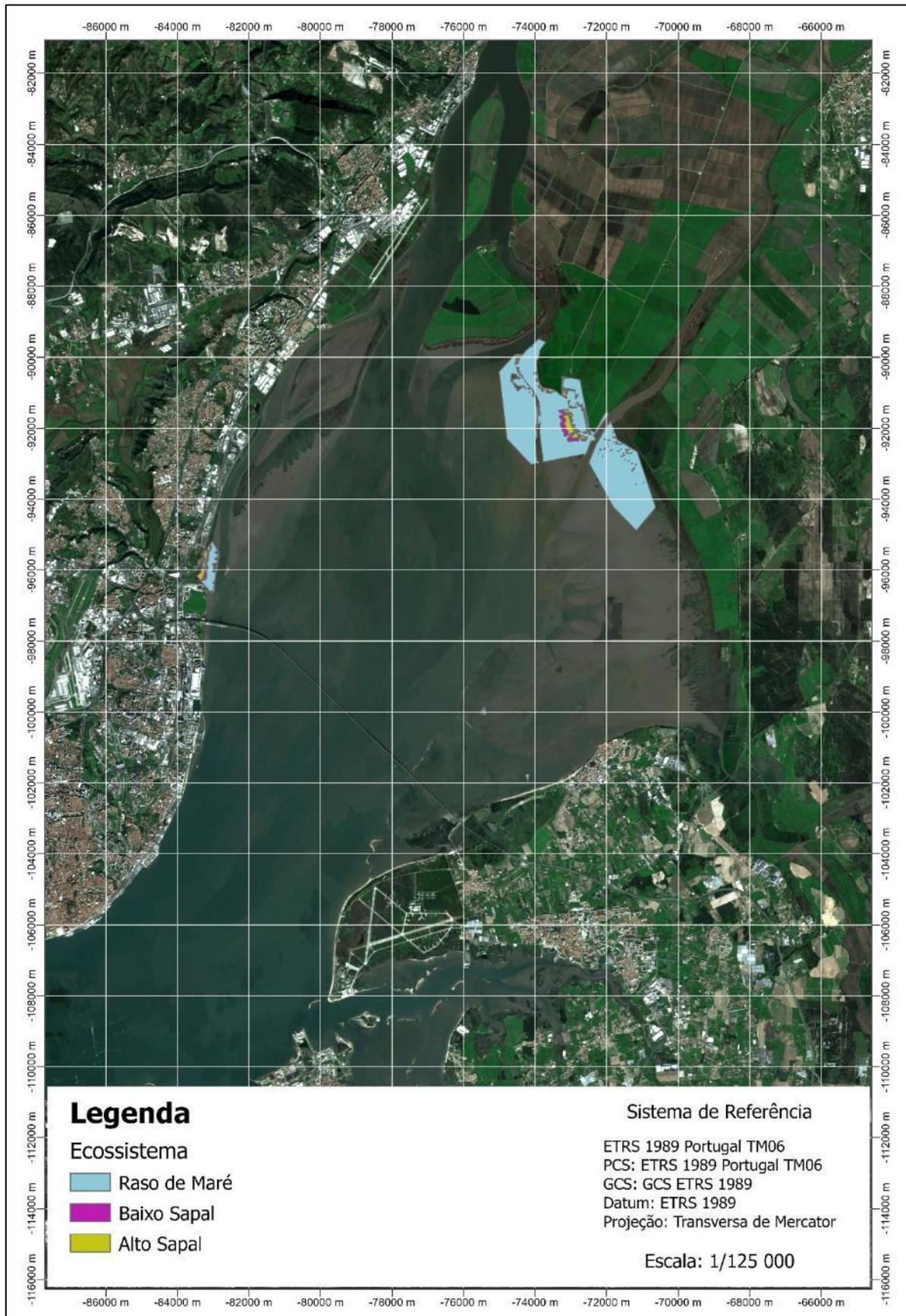


Figura C-5 - Classificação em EI da Core Area (50%) da Espécie *Pluvialis squatarola* para uma subida do NMM de 50 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 65 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) com preservação de áreas agrícolas

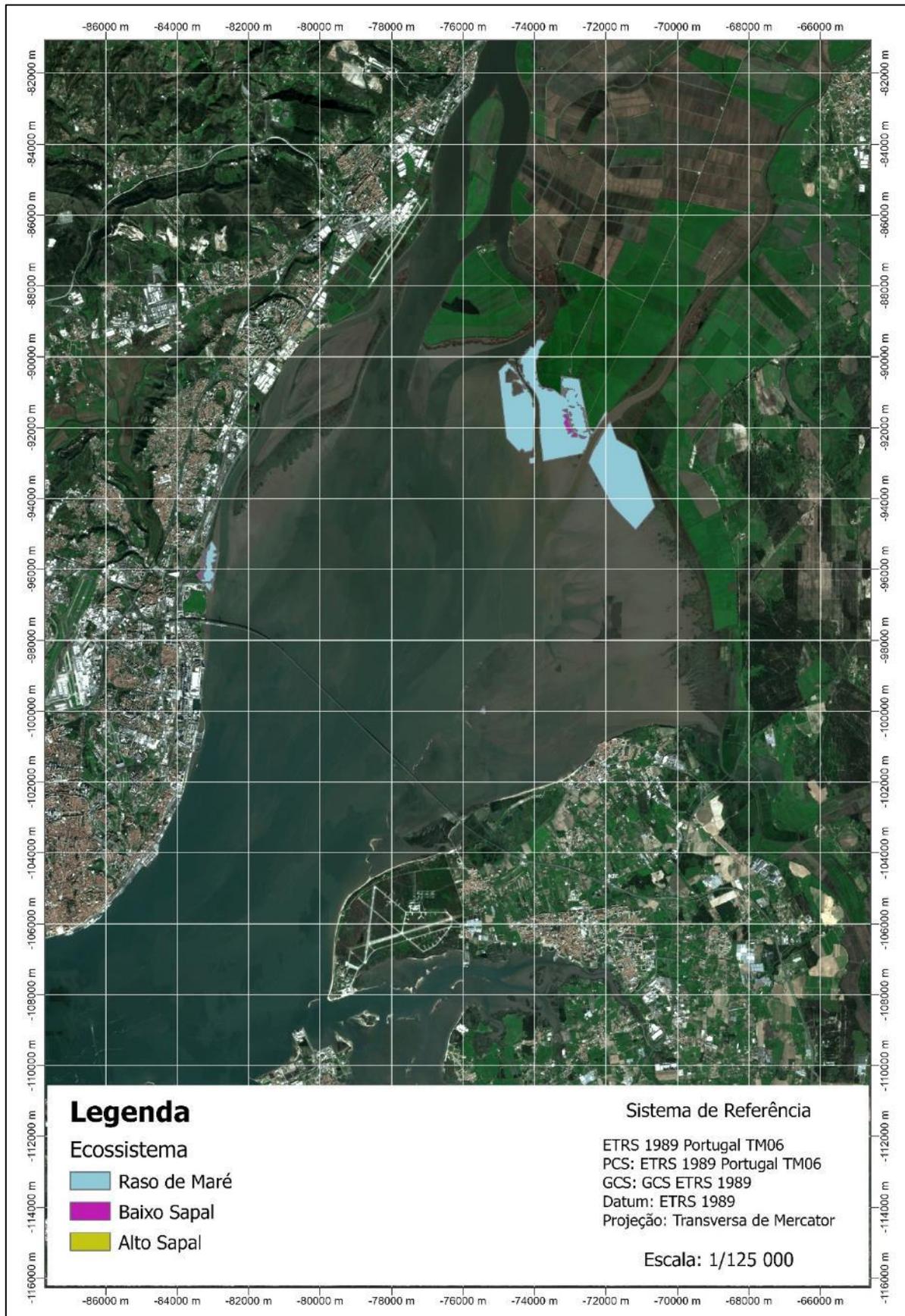


Figura C-6 - Classificação em EI da Core Area (50%) da Espécie *Pluvialis squatarola* para uma subida do NMM de 100 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 115 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) com preservação de áreas agrícolas

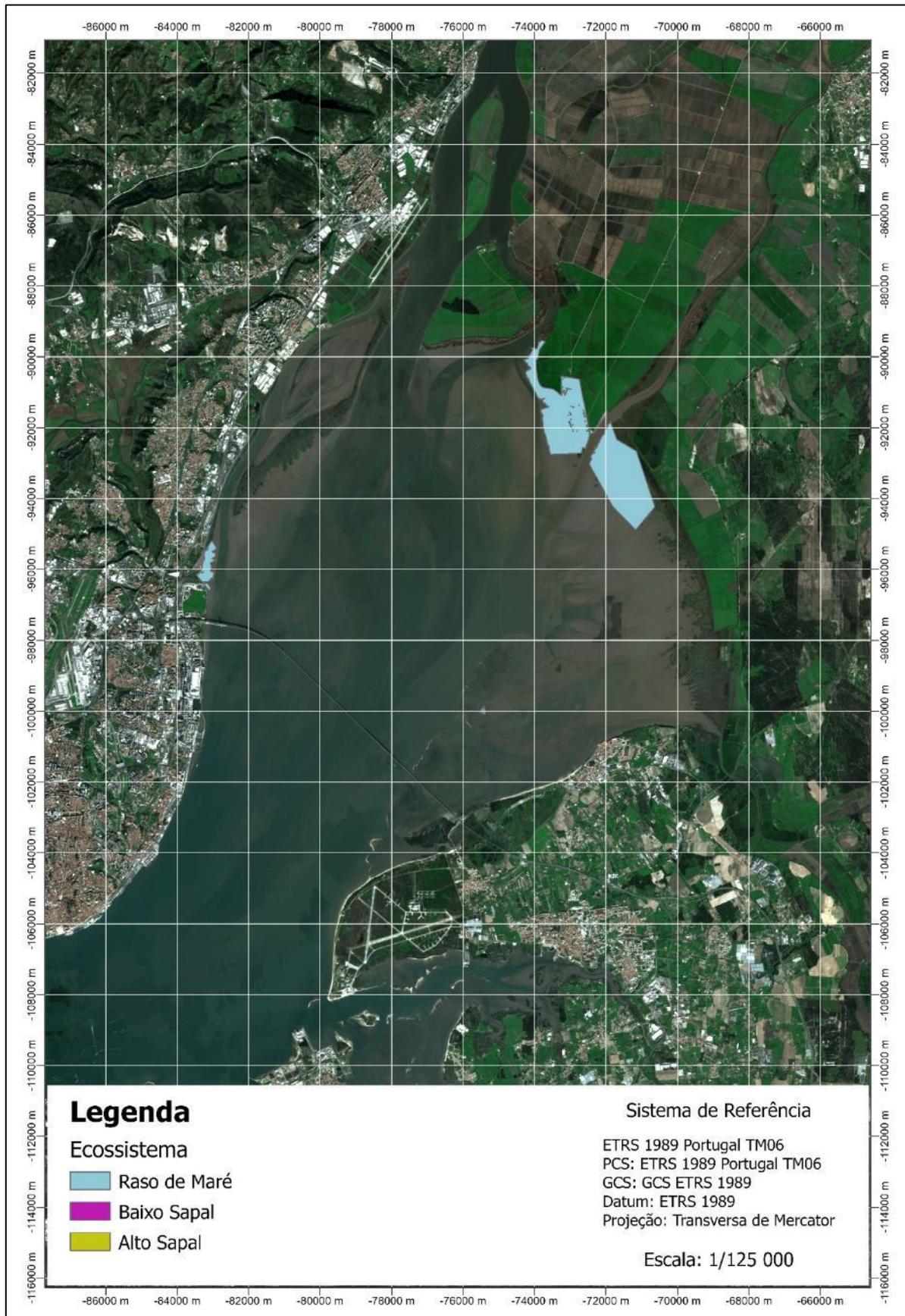


Figura C-7 - Classificação em EI da Core Area (50%) da Espécie *Pluvialis squatarola* para uma subida do NMM de 150 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 165 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) com preservação de áreas agrícolas

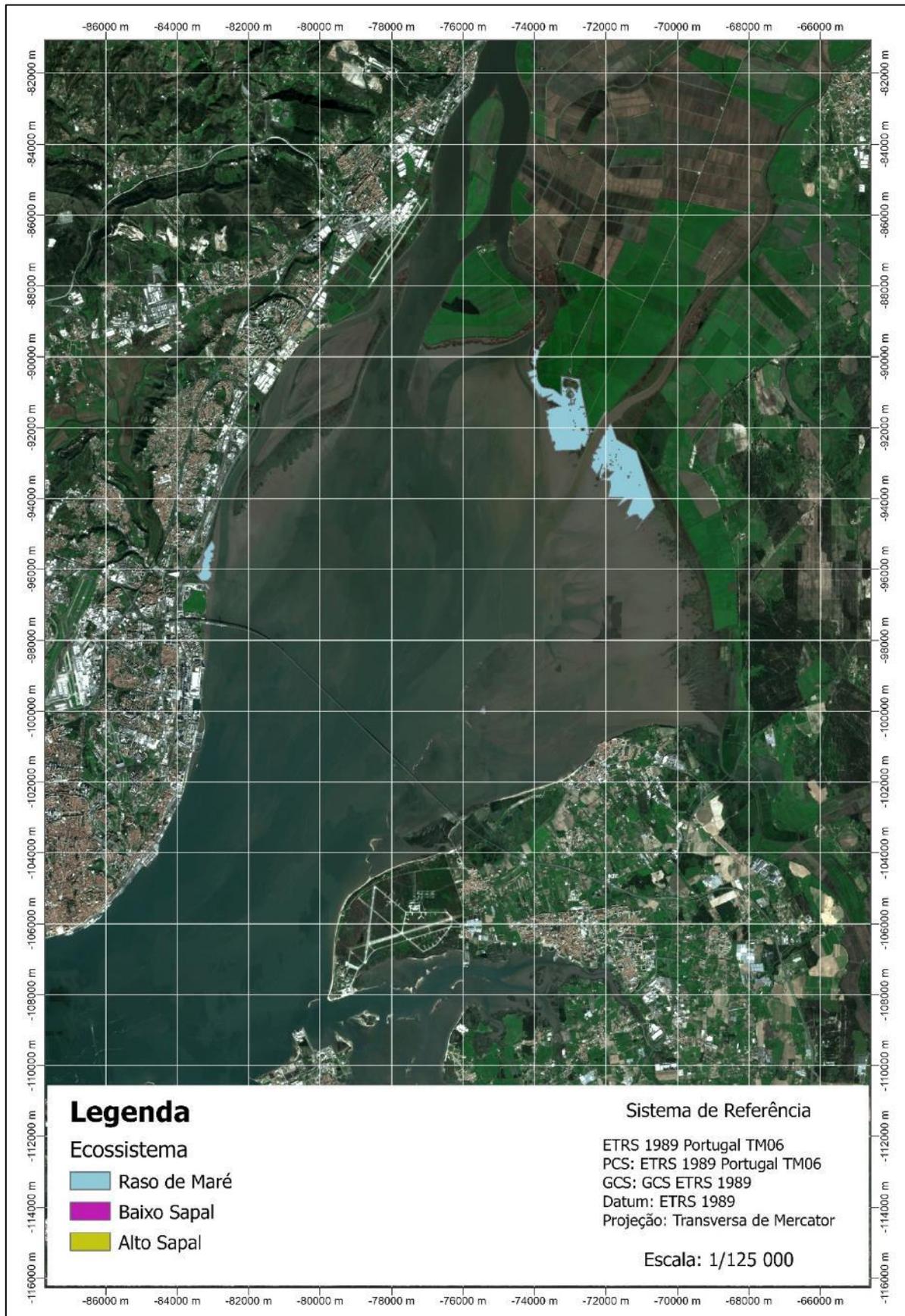


Figura C-8 - Classificação em EI da Core Area (50%) da Espécie *Pluvialis squatarola* para uma subida do NMM de 200 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 215 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) com preservação de áreas agrícolas

b. Classificação em EI do Home Range (95%)

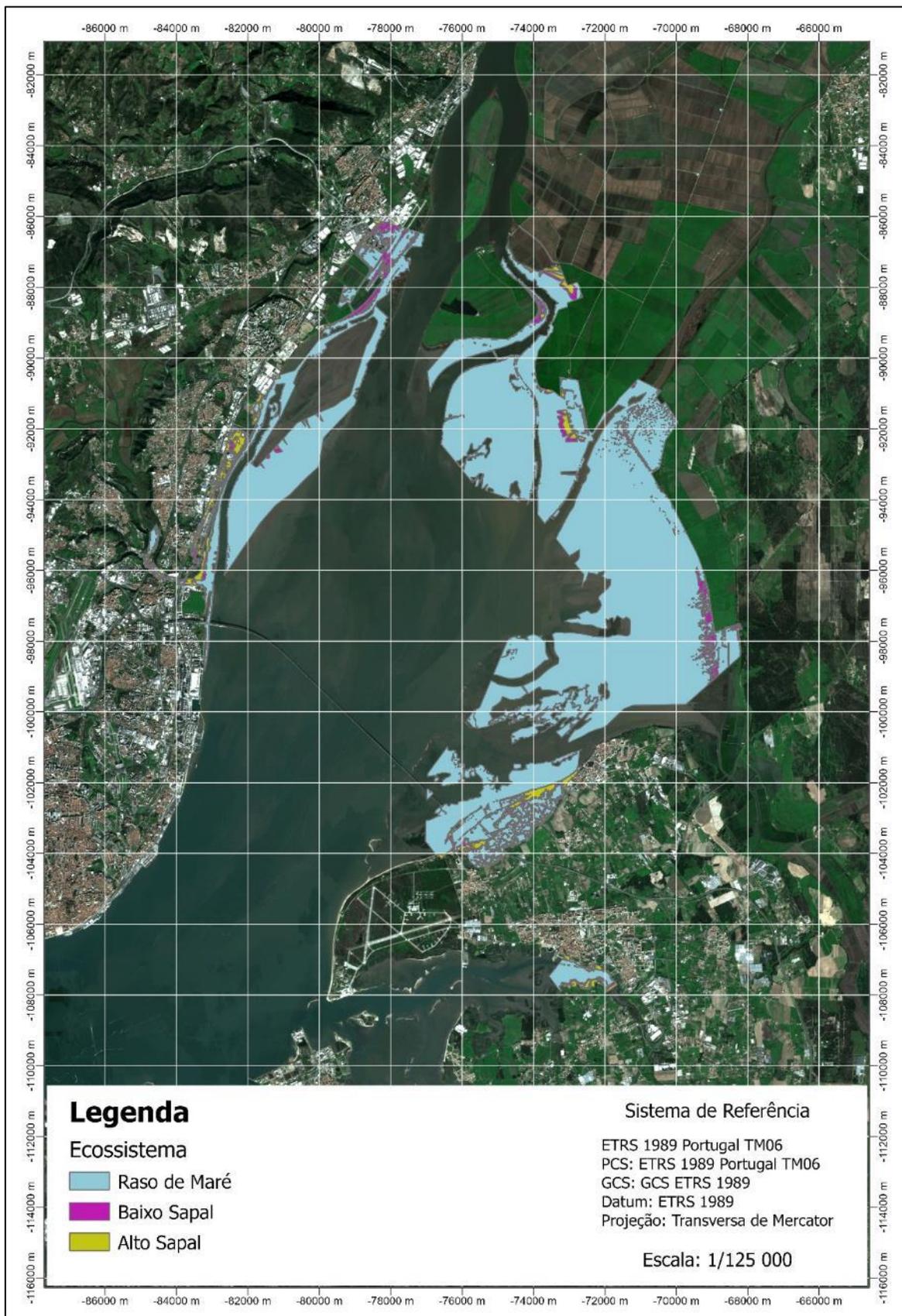


Figura C-9- Classificação em EI do Home Range (95%) da Espécie *Pluvialis squatarola* para uma subida do NMM de 50 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 65 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) com preservação de áreas agrícolas

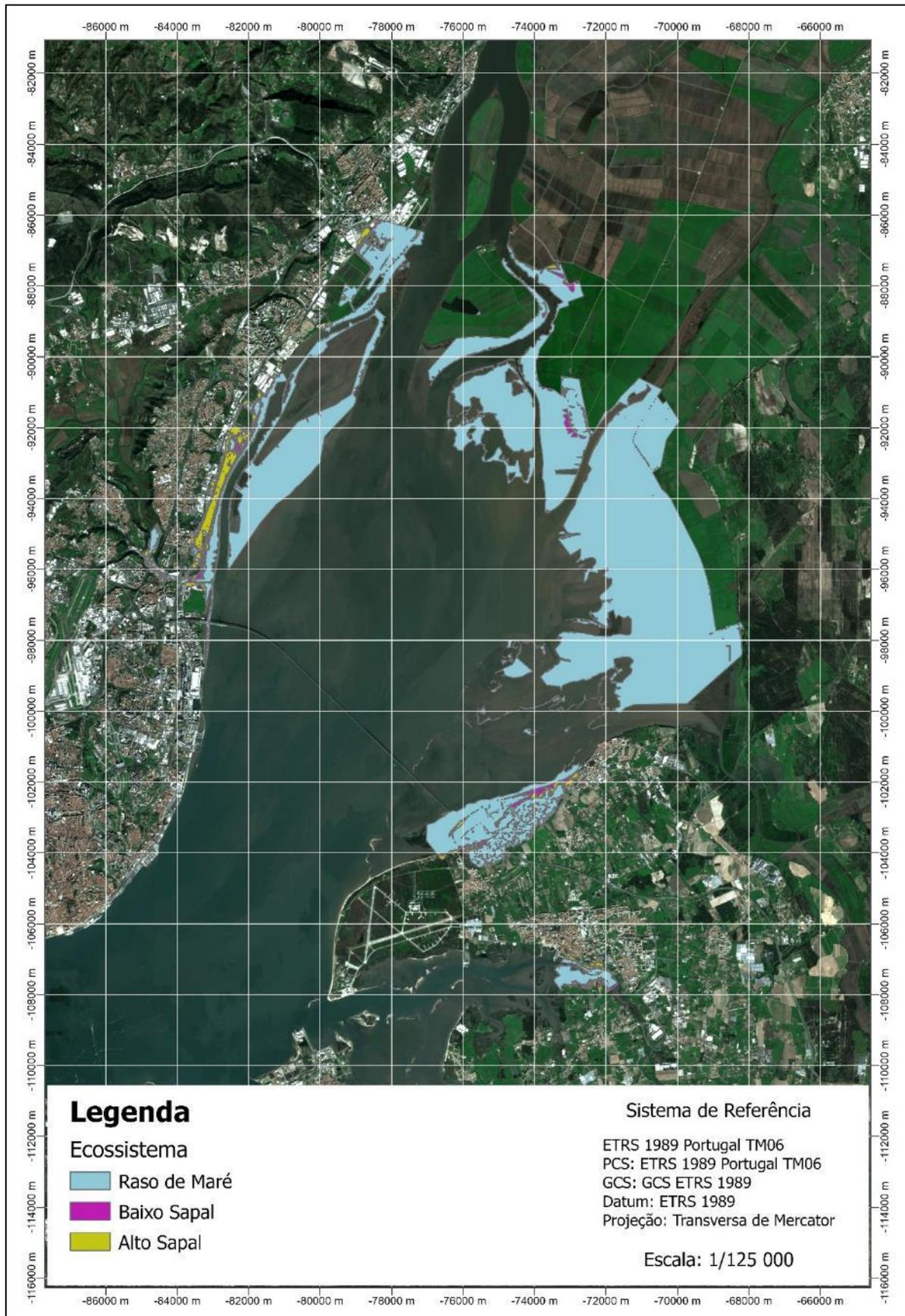


Figura C-10 - Classificação em EI do Home Range (95%) da Espécie *Pluvialis squatarola* para uma subida do NMM de 100 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 115 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) com preservação de áreas agrícolas

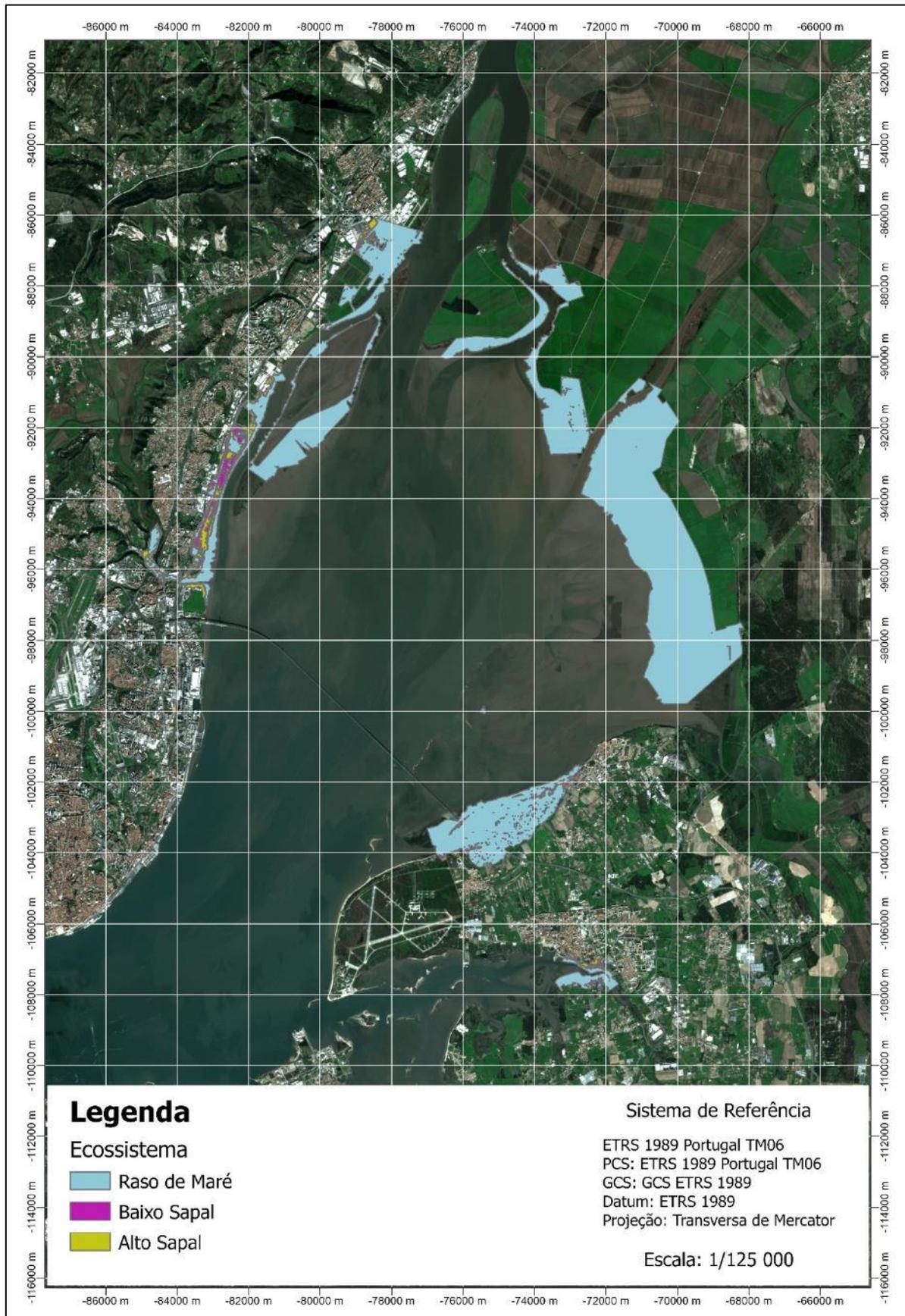


Figura C-11 - Classificação em EI do Home Range (95%) da Espécie *Pluvialis squatarola* para uma subida do NMM de 150 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 165 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) com preservação de áreas agrícolas

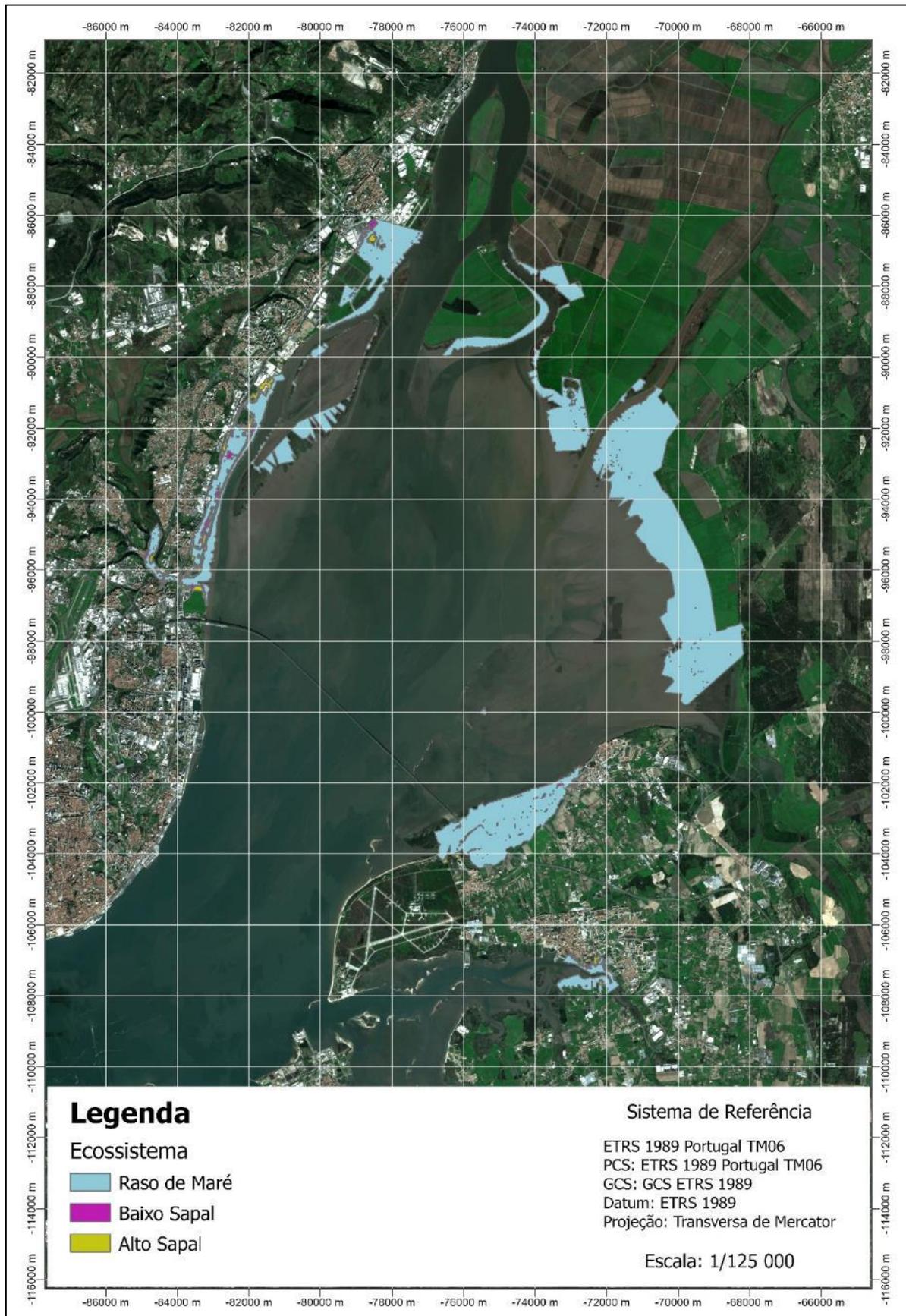


Figura C-12 - Classificação em EI do Home Range (95%) da Espécie *Pluvialis squatarola* para uma subida do NMM de 200 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 215 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) com preservação de áreas agrícolas

ii. *Limosa limosa*

a. Classificação em EI da *Core Area* (50%)

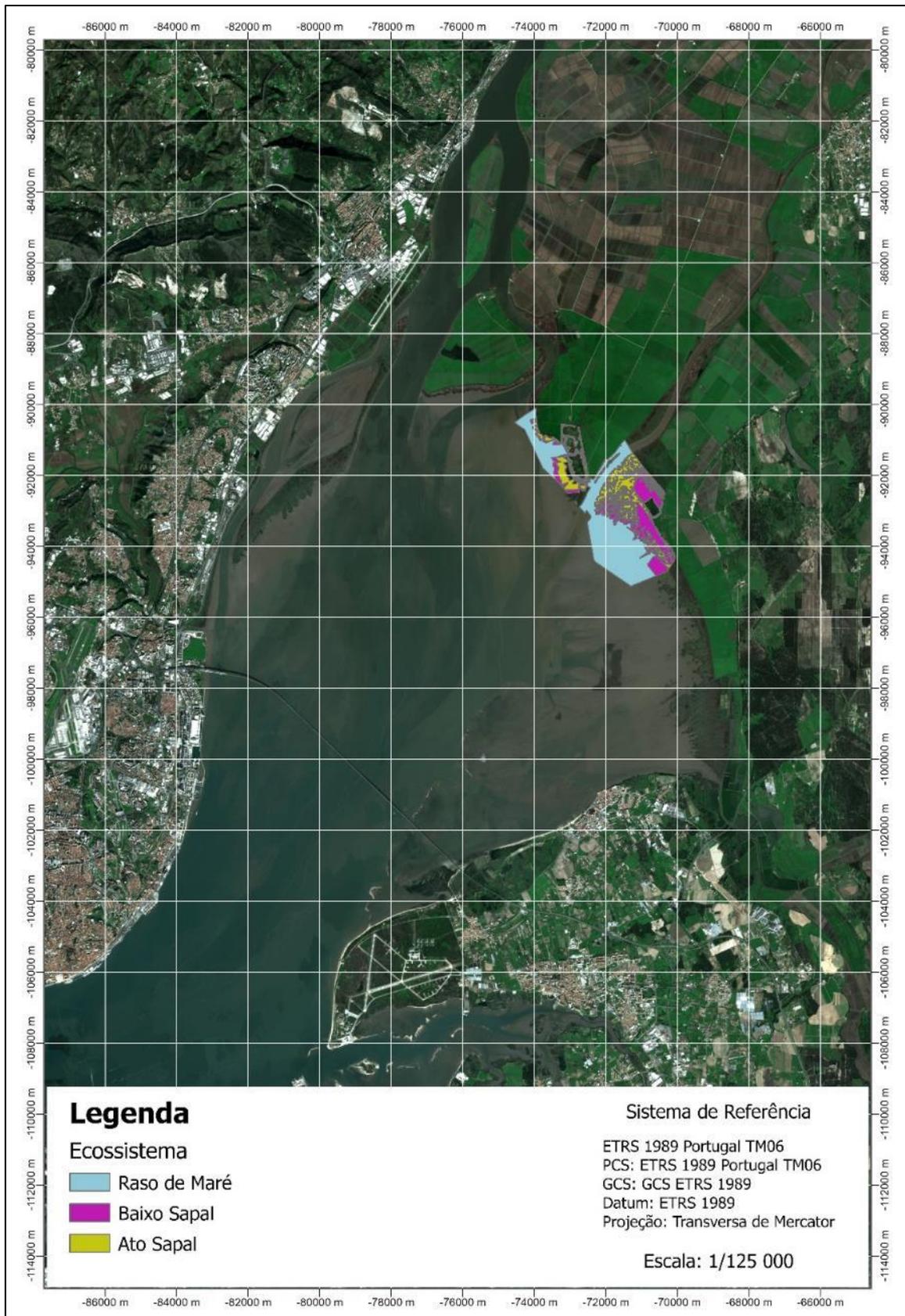


Figura C-13 - Classificação em EI da *Core Area* (50%) da Espécie *Limosa limosa* para o Período de Referência

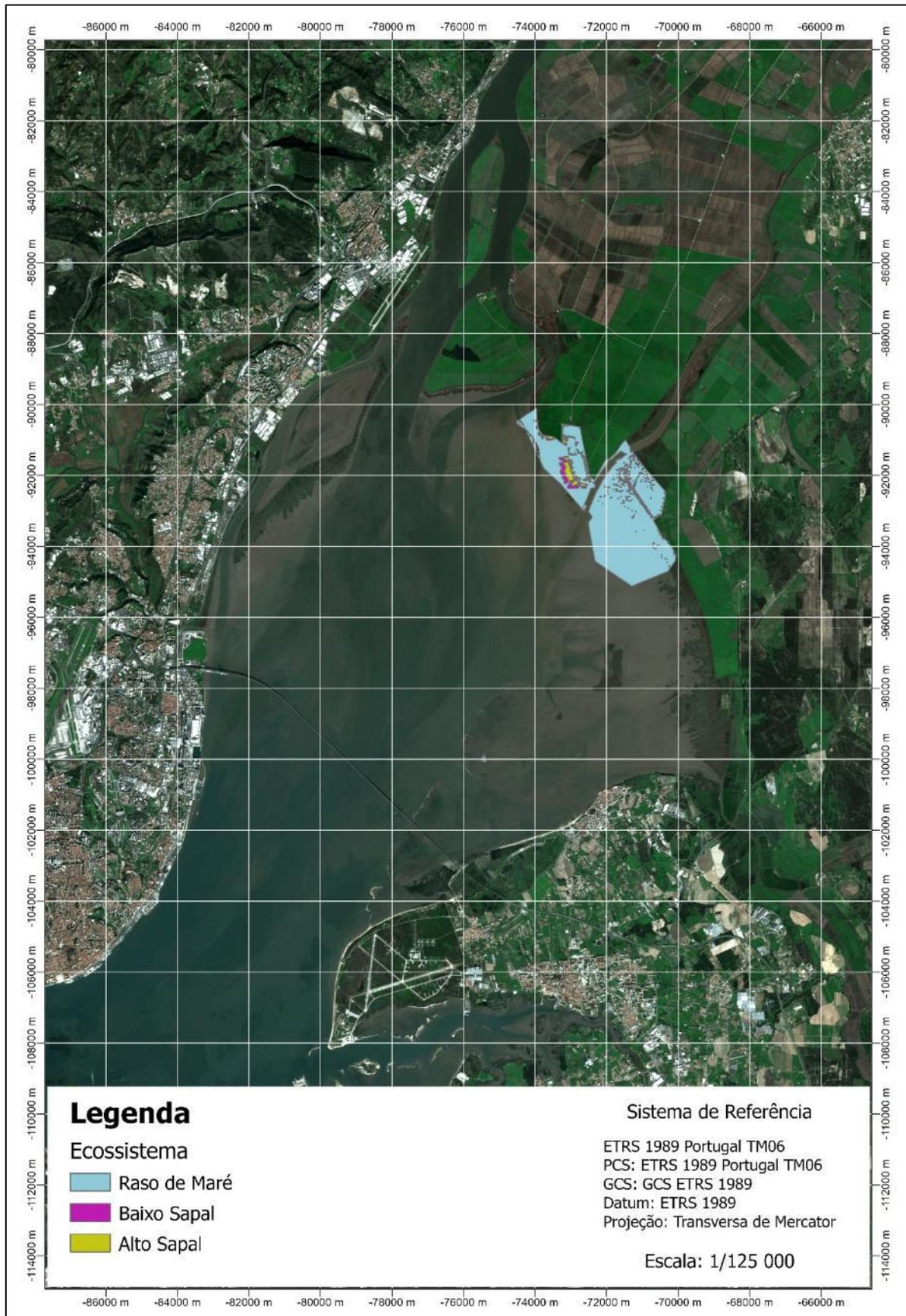


Figura C-14 - Classificação em EI da Core Area (50%) da Espécie *Limosa limosa* para uma subida do NMM de 50 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 65 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) com preservação de áreas agrícolas e artificializadas

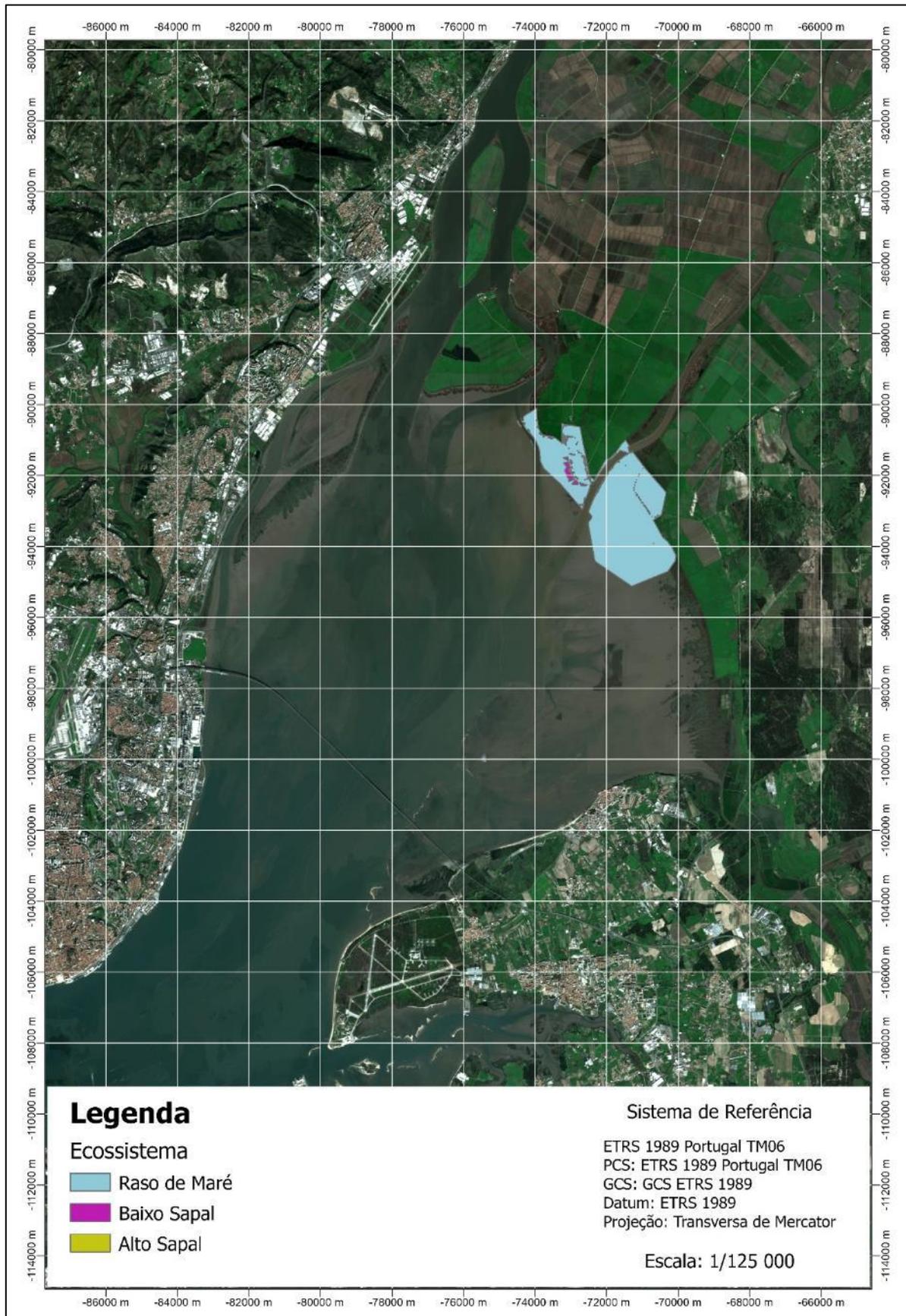


Figura C-15 - Classificação em EI da Core Area (50%) da Espécie *Limosa limosa* para uma subida do NMM de 100 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 115 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) com preservação de áreas agrícolas e artificializadas

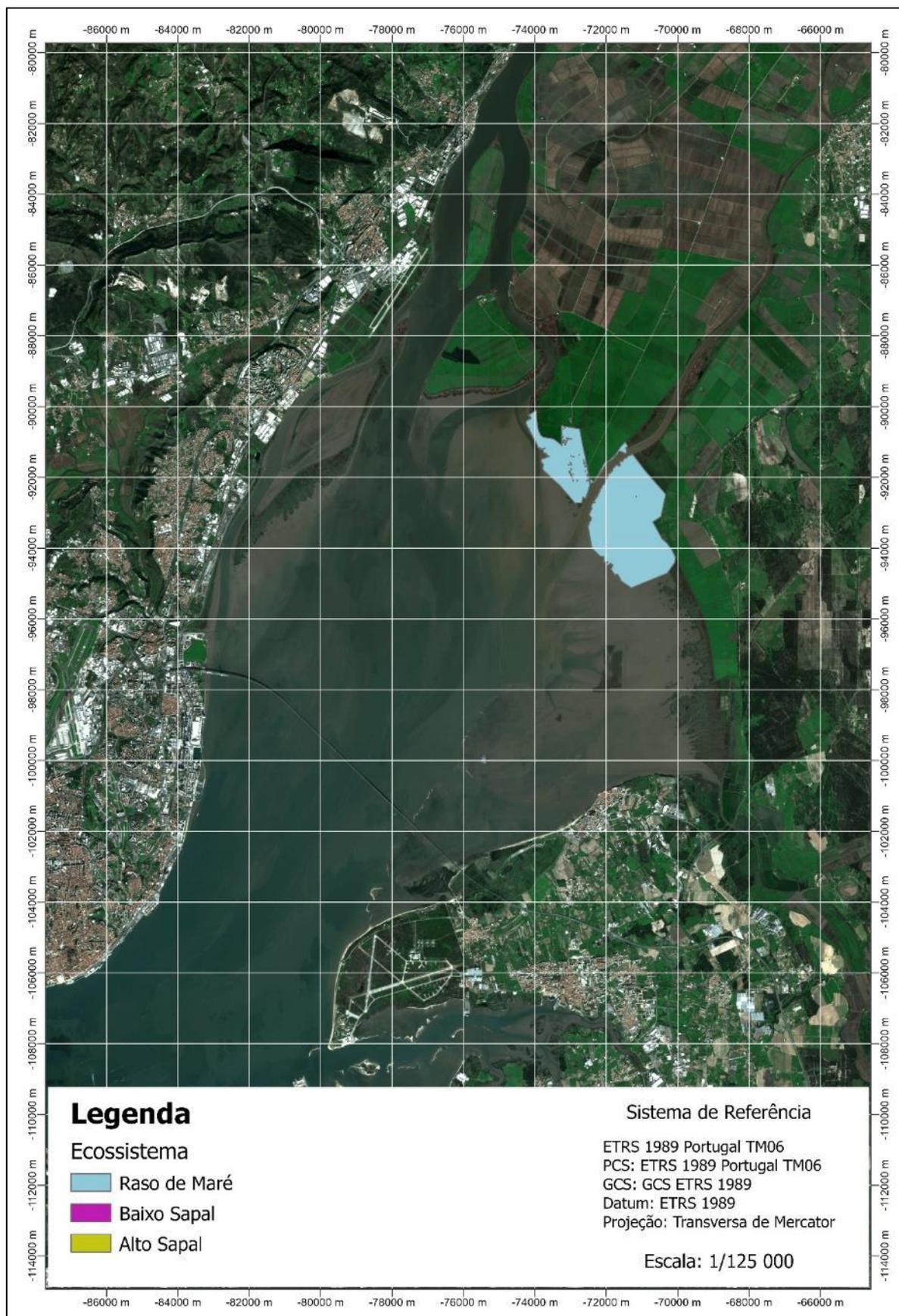


Figura C-16 - Classificação em EI da Core Area (50%) da Espécie *Limosa limosa* para uma subida do NMM de 150 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 165 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) com preservação de áreas agrícolas e artificializadas

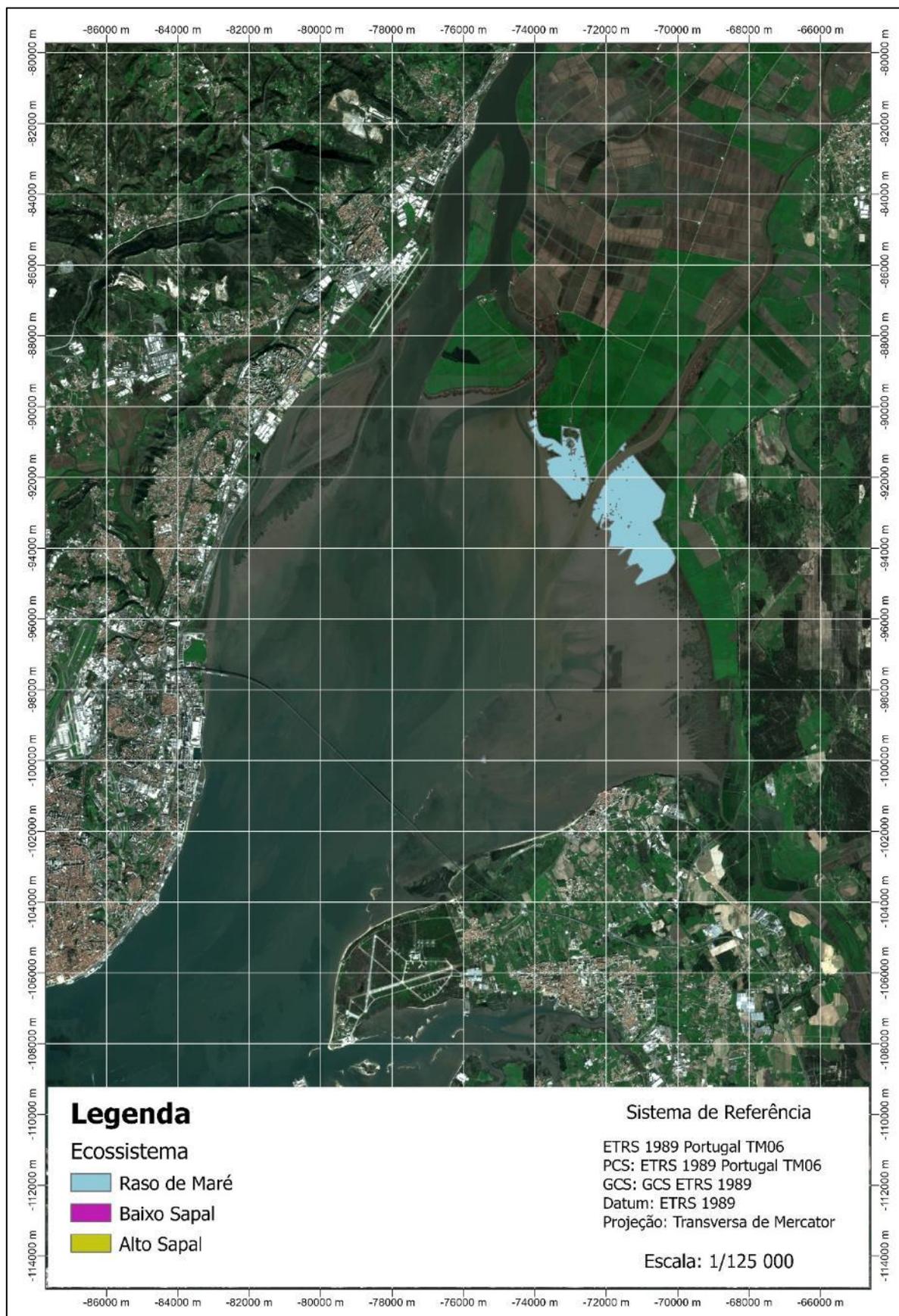


Figura C-17 - Classificação em EI da Core Area (50%) da Espécie *Limosa limosa* para uma subida do NMM de 200 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 215 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) com preservação de áreas agrícolas e artificializadas

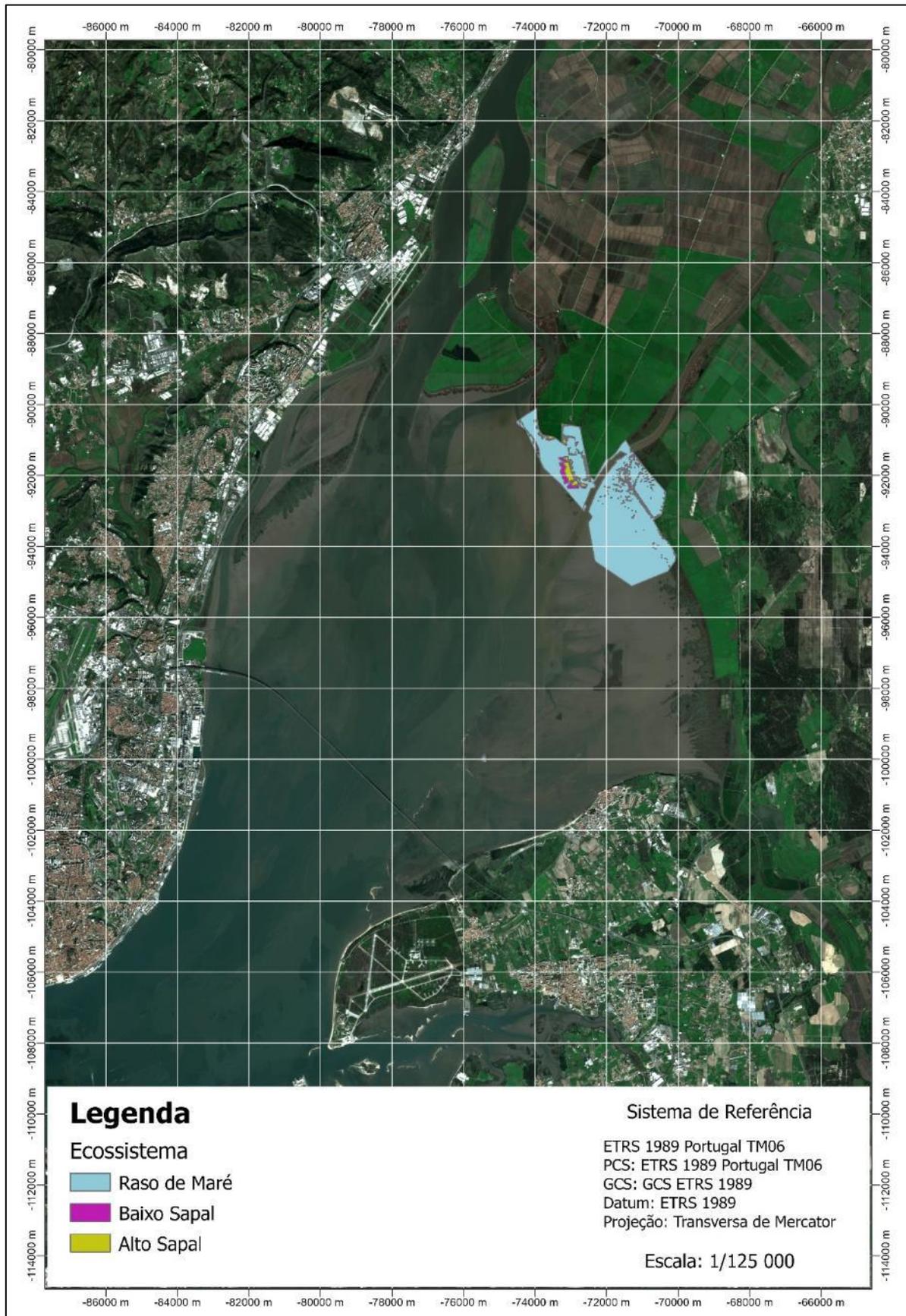


Figura C-18 - Classificação em EI da Core Area (50%) da Espécie *Limosa limosa* para uma subida do NMM de 50 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 65 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) com preservação de áreas agrícolas

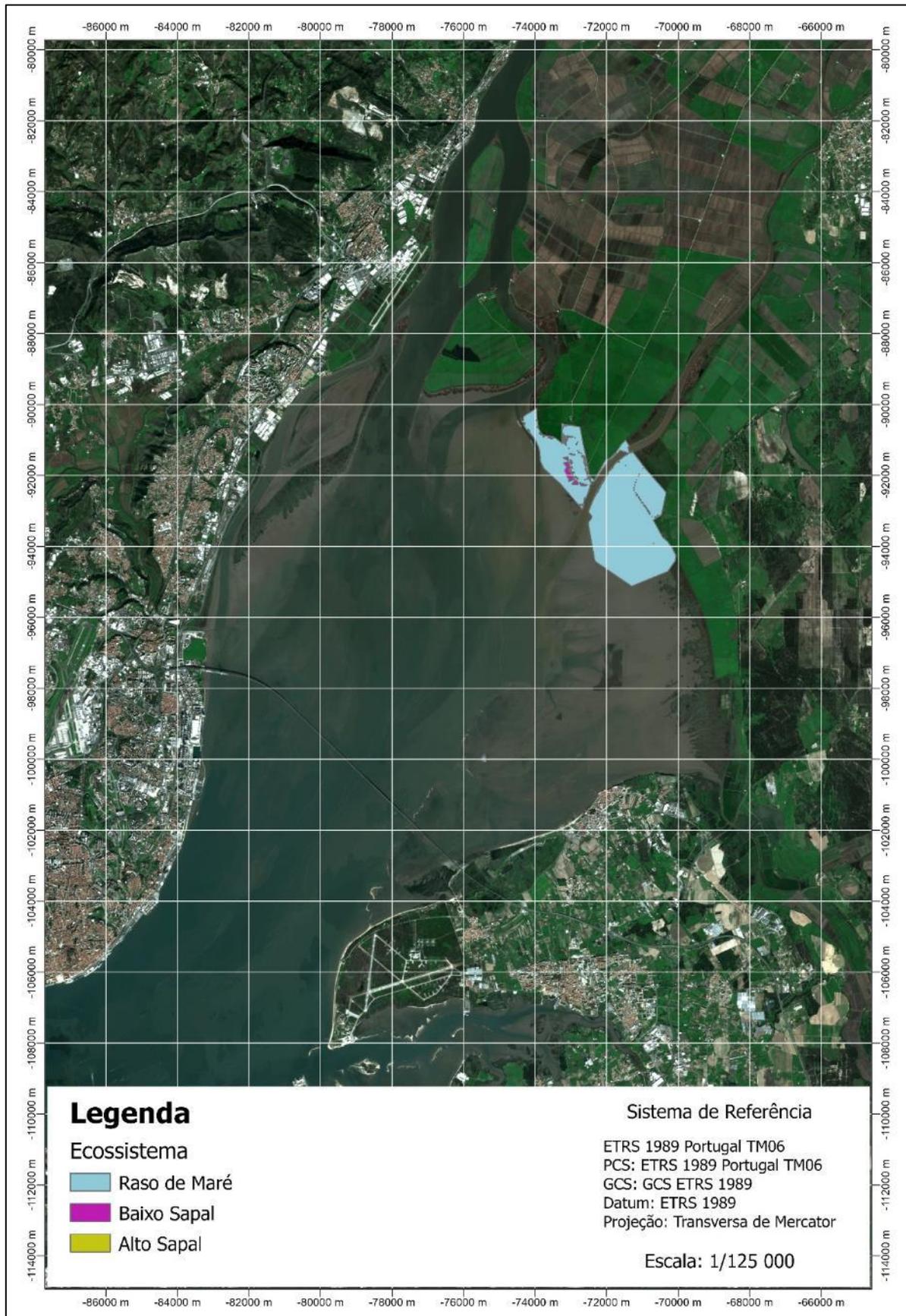


Figura C-19 - Classificação em EI da Core Area (50%) da Espécie *Limosa limosa* para uma subida do NMM de 100 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 115 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) com preservação de áreas agrícolas

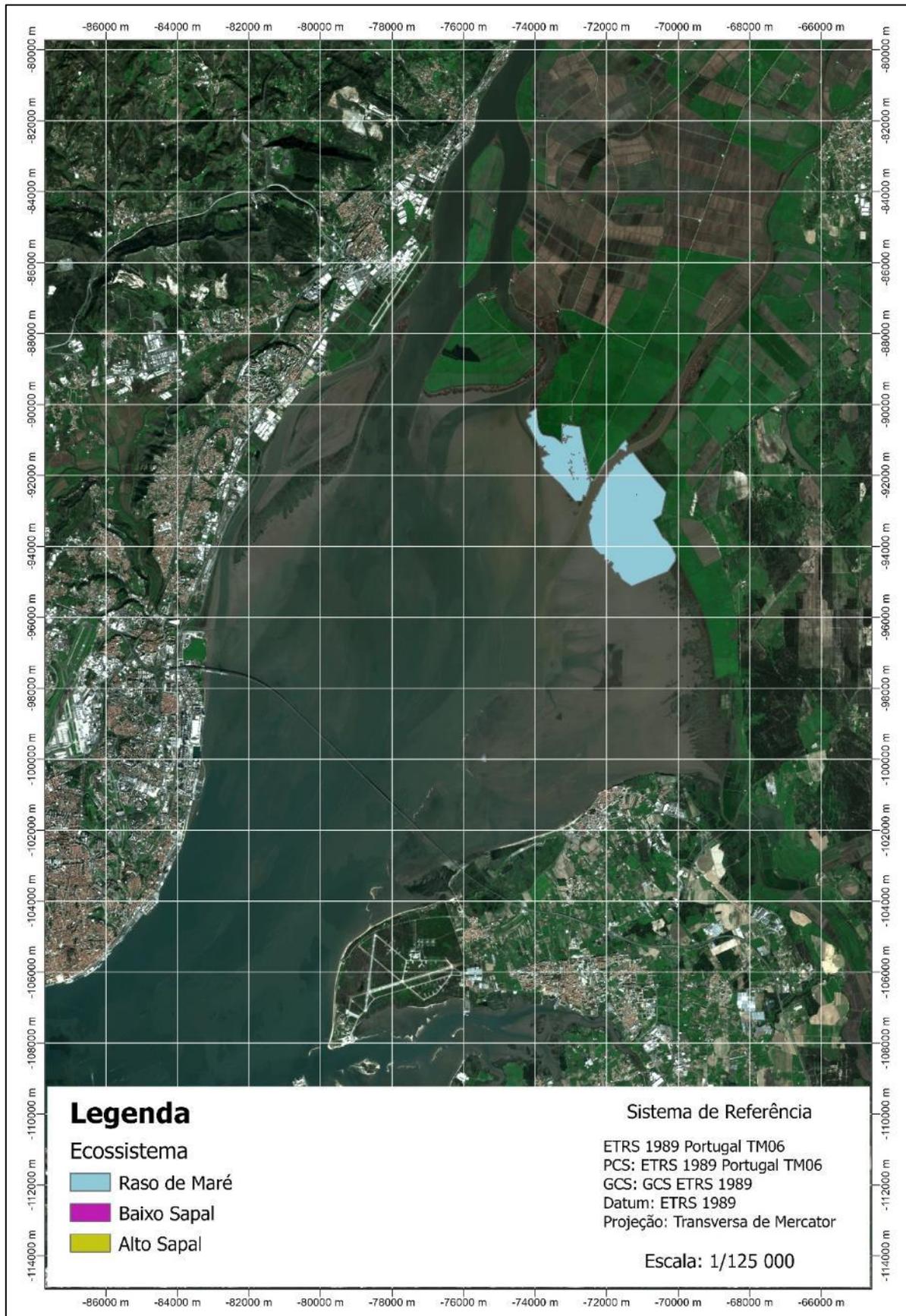


Figura C-20 - Classificação em EI da Core Area (50%) da Espécie *Limosa limosa* para uma subida do NMM de 150 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 165 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) com preservação de áreas agrícolas

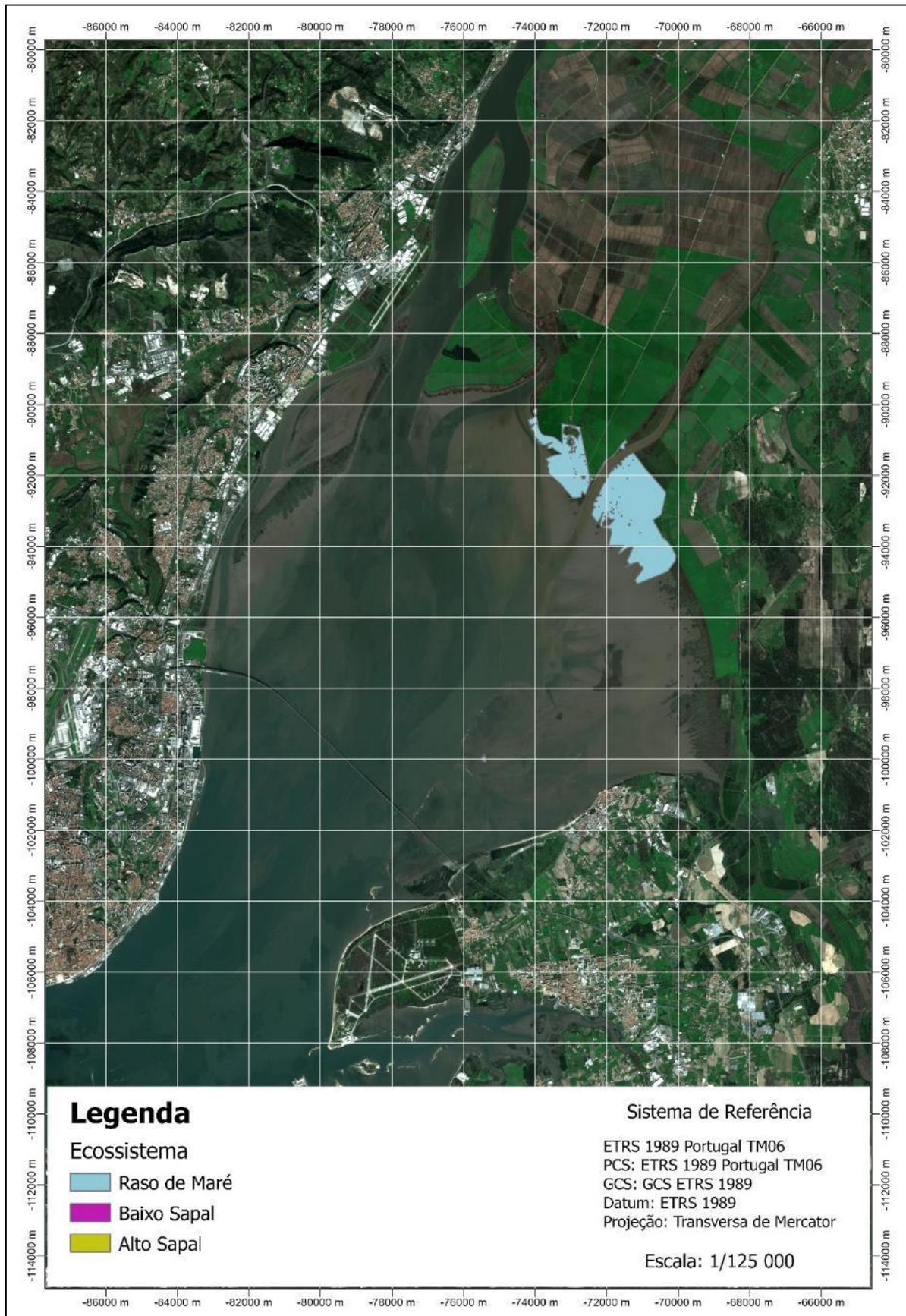


Figura C-21 - Classificação em EI da Core Area (50%) da Espécie *Limosa limosa* para uma subida do NMM de 200 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 215 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) com preservação de áreas agrícolas

a. Classificação em EI do *Home Range* (95%)

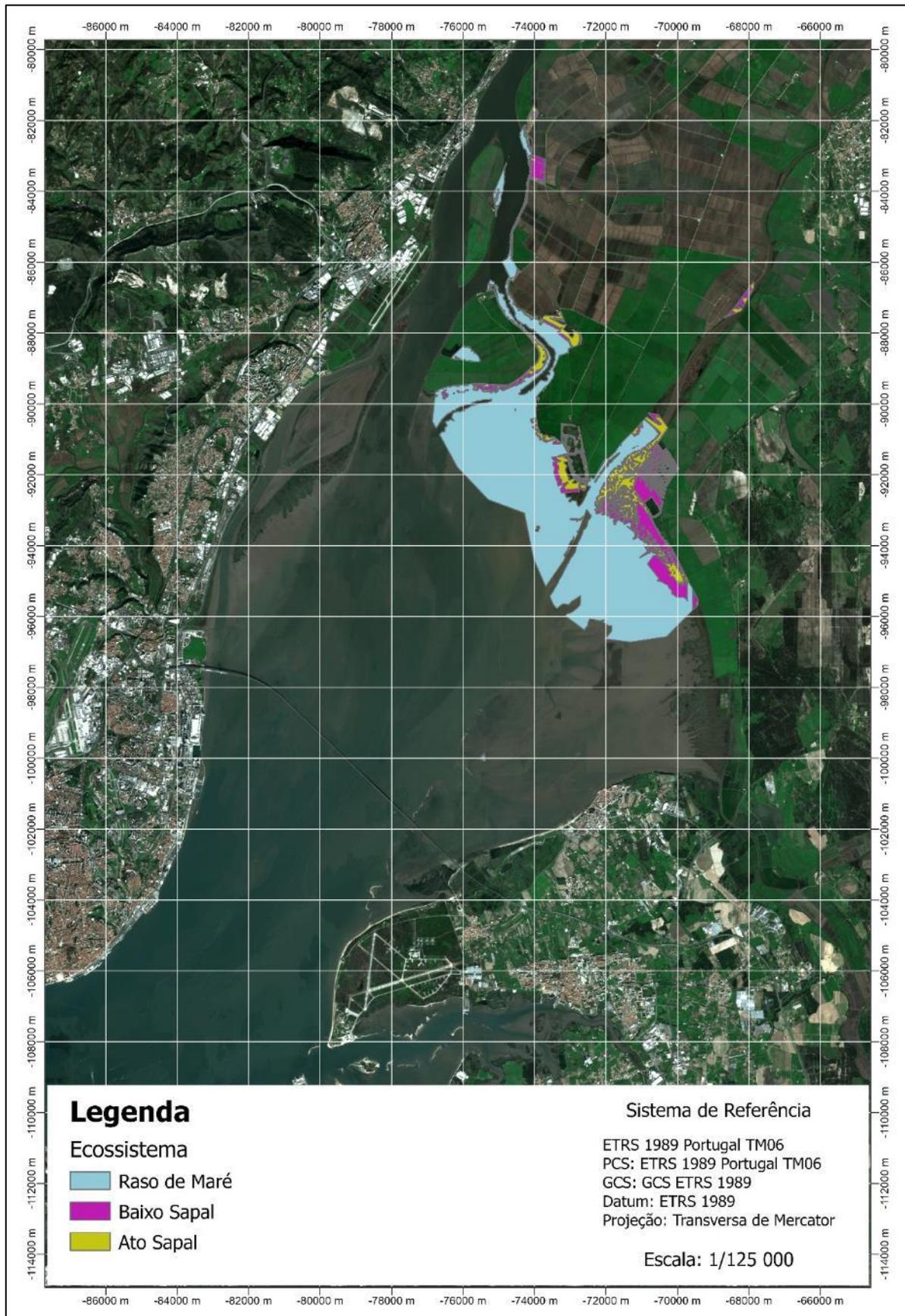


Figura C-22 - Classificação em EI do *Home Range* (95%) da Espécie *Limosa limosa* para o Período de Referência

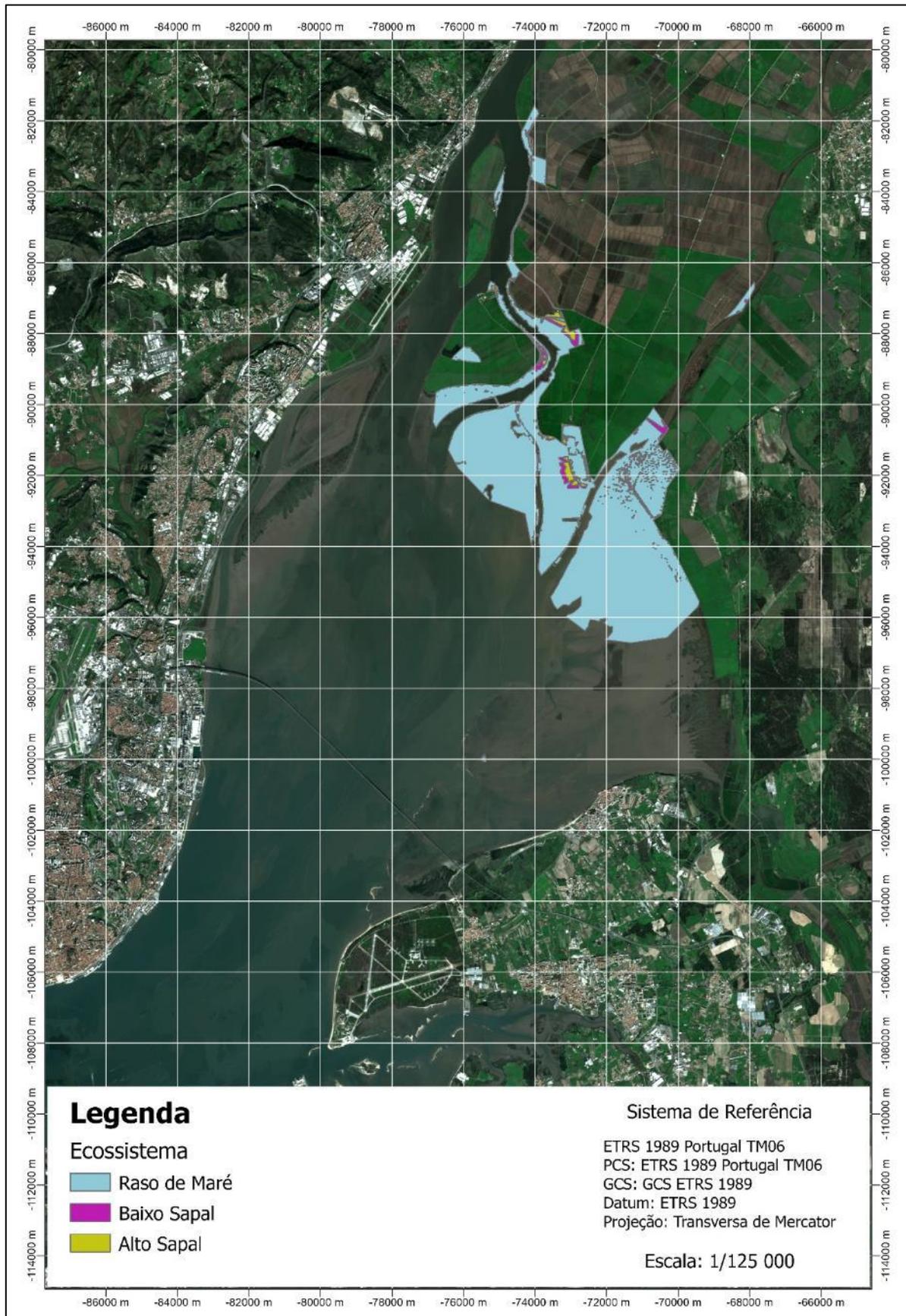


Figura C-23 - Classificação em EI do Home Range (95%) da Espécie *Limosa limosa* para uma subida do NMM de 50 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 65 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) com preservação de áreas agrícolas e artificializadas

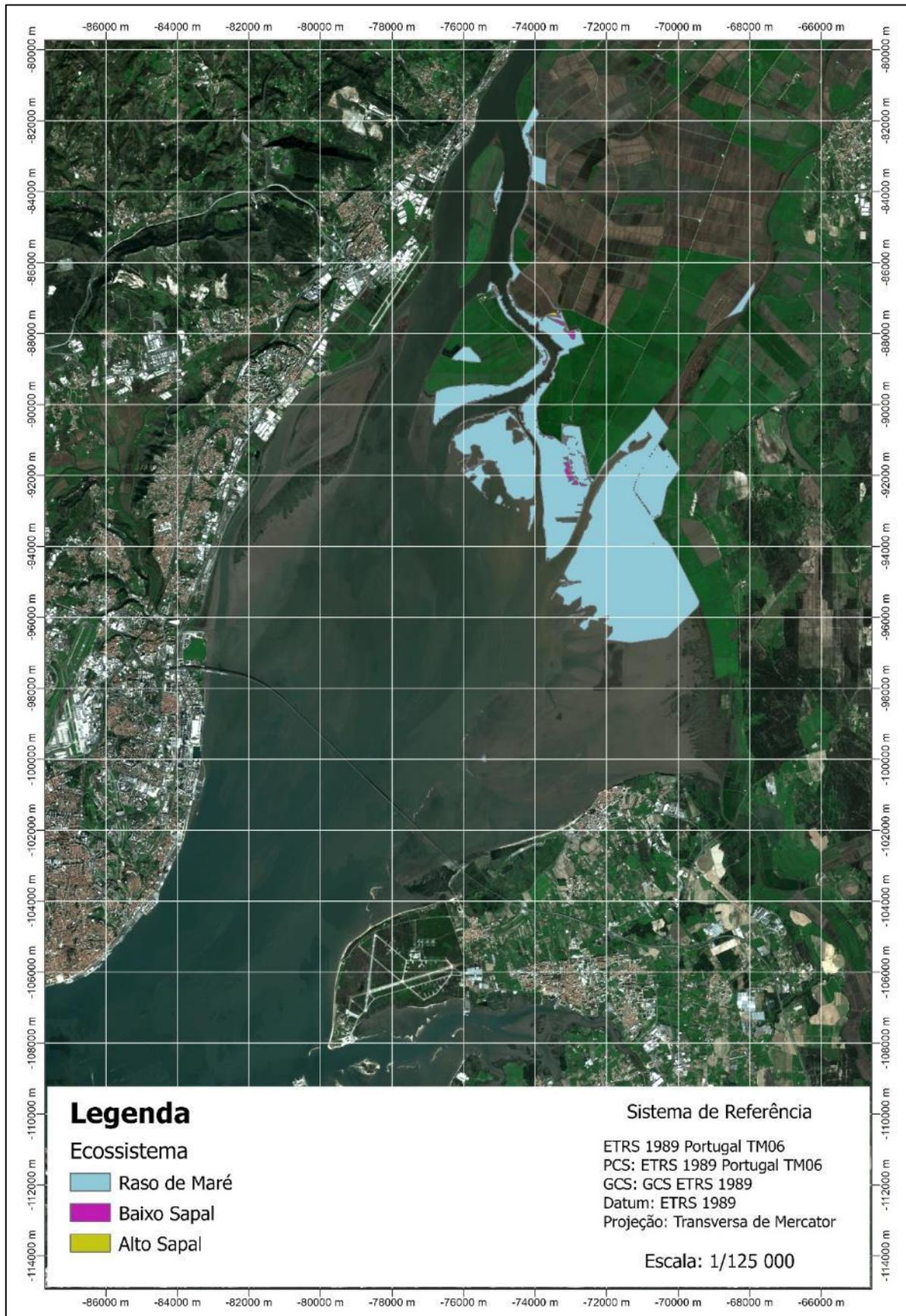


Figura C-24 - Classificação em EI do Home Range (95%) da Espécie *Limosa limosa* para uma subida do NMM de 100 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 115 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) com preservação de áreas agrícolas e artificializadas

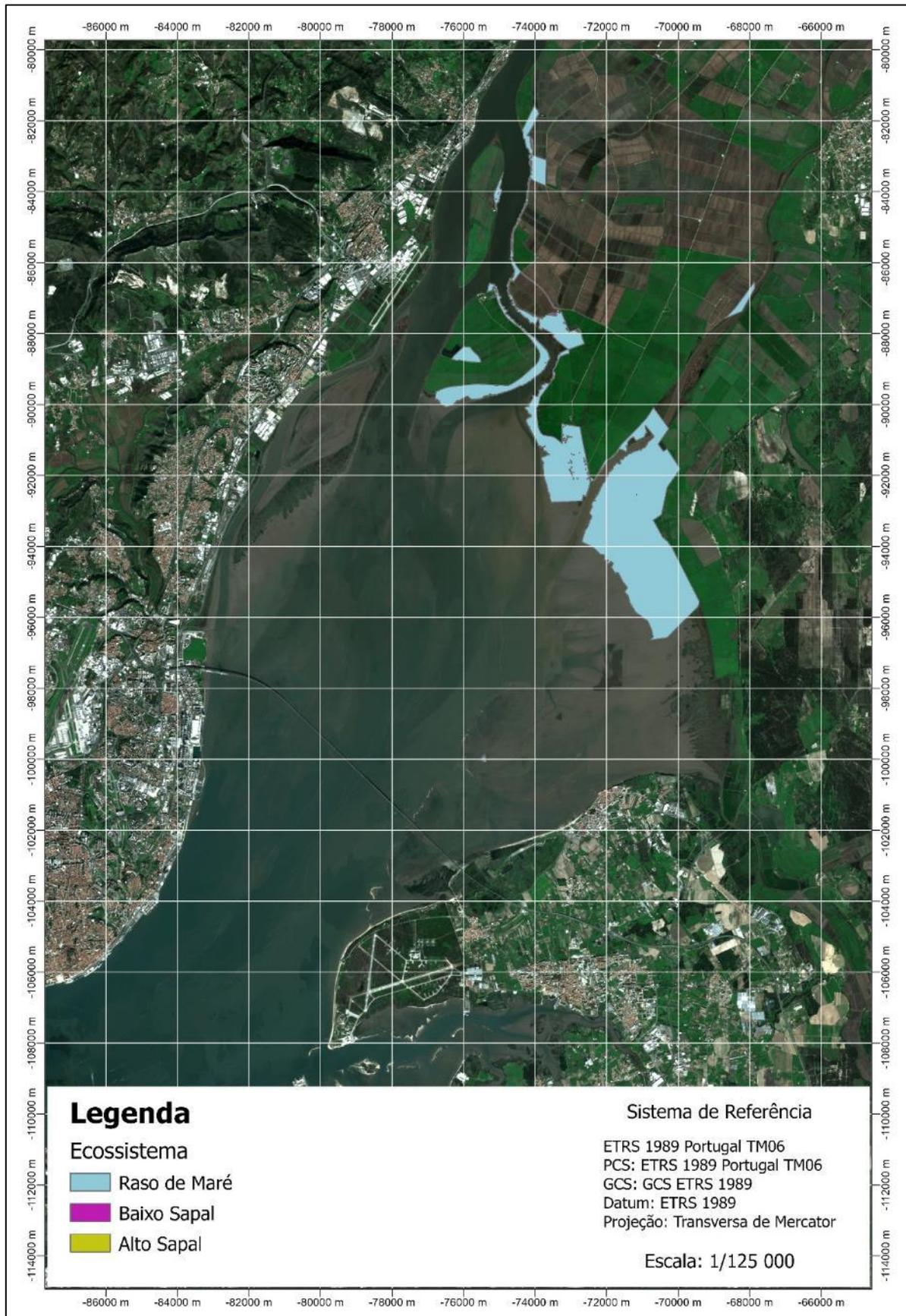


Figura C-25 - Classificação em EI do Home Range (95%) da Espécie *Limosa limosa* para uma subida do NMM de 150 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 165 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) com preservação de áreas agrícolas e artificializadas

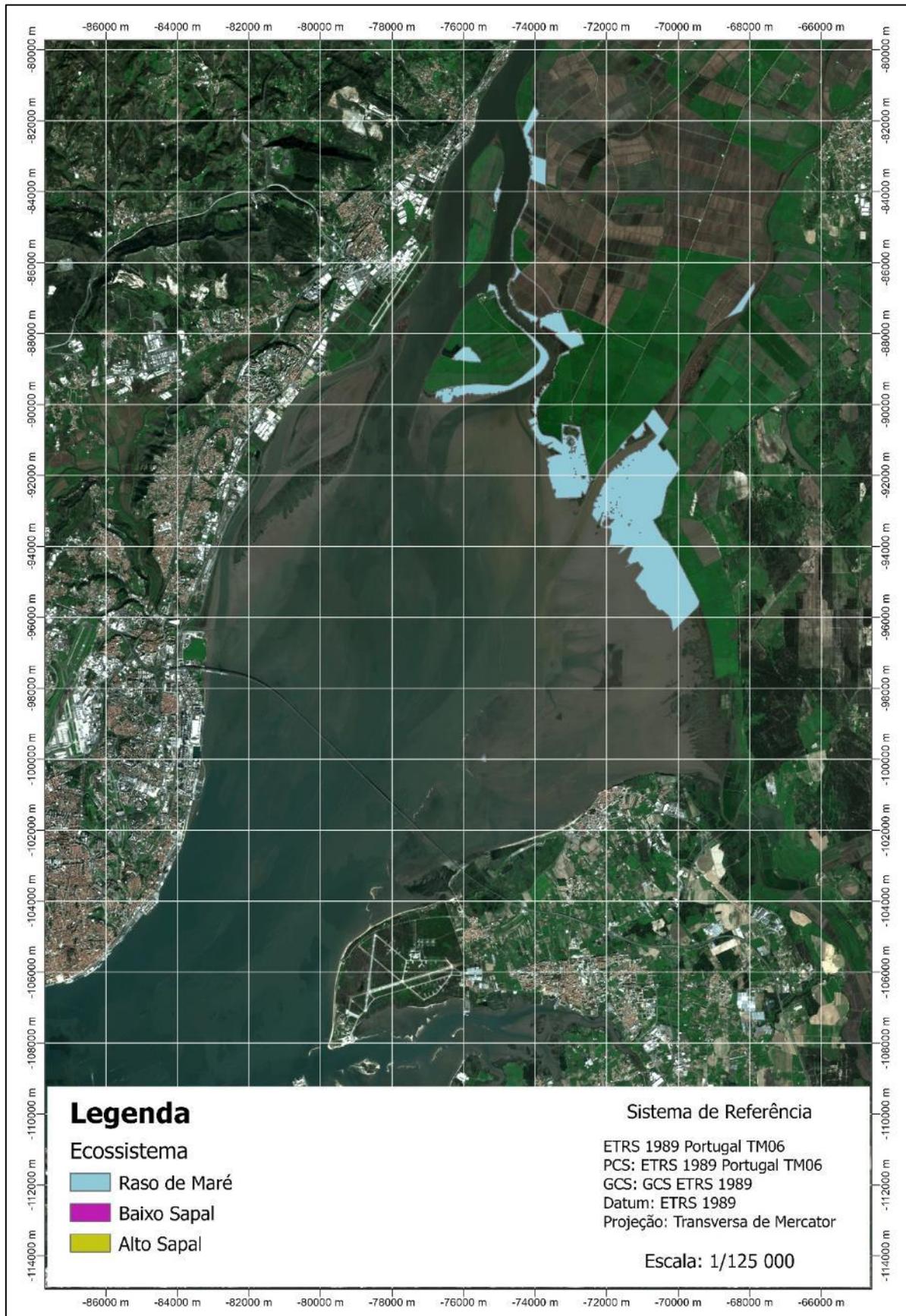


Figura C-26 - Classificação em EI do Home Range (95%) da Espécie *Limosa limosa* para uma subida do NMM de 200 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 215 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) com preservação de áreas agrícolas e artificializadas

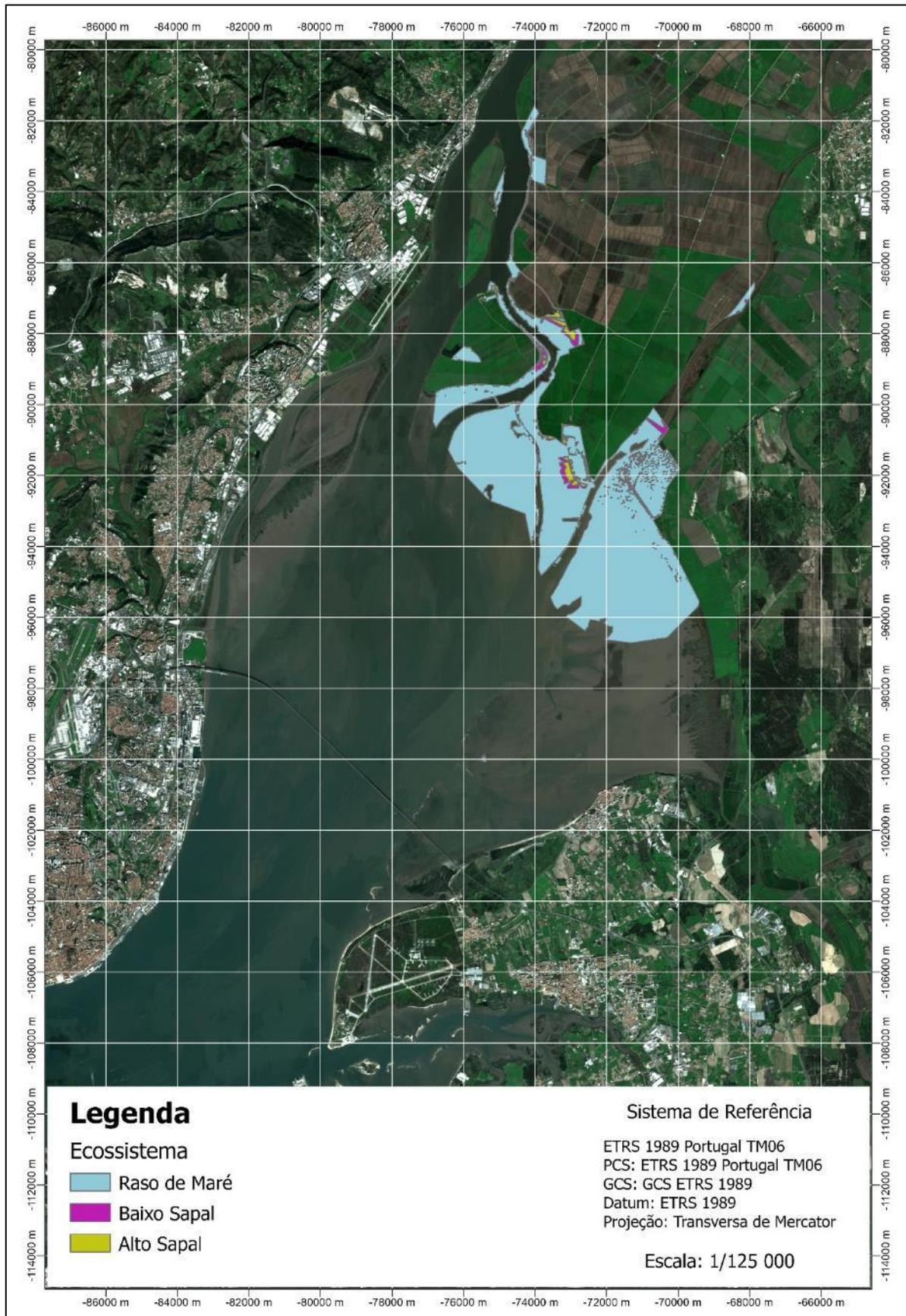


Figura C-27 - Classificação em EI do Home Range (95%) da Espécie *Limosa limosa* para uma subida do NMM de 50 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 65 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) com preservação de áreas agrícolas

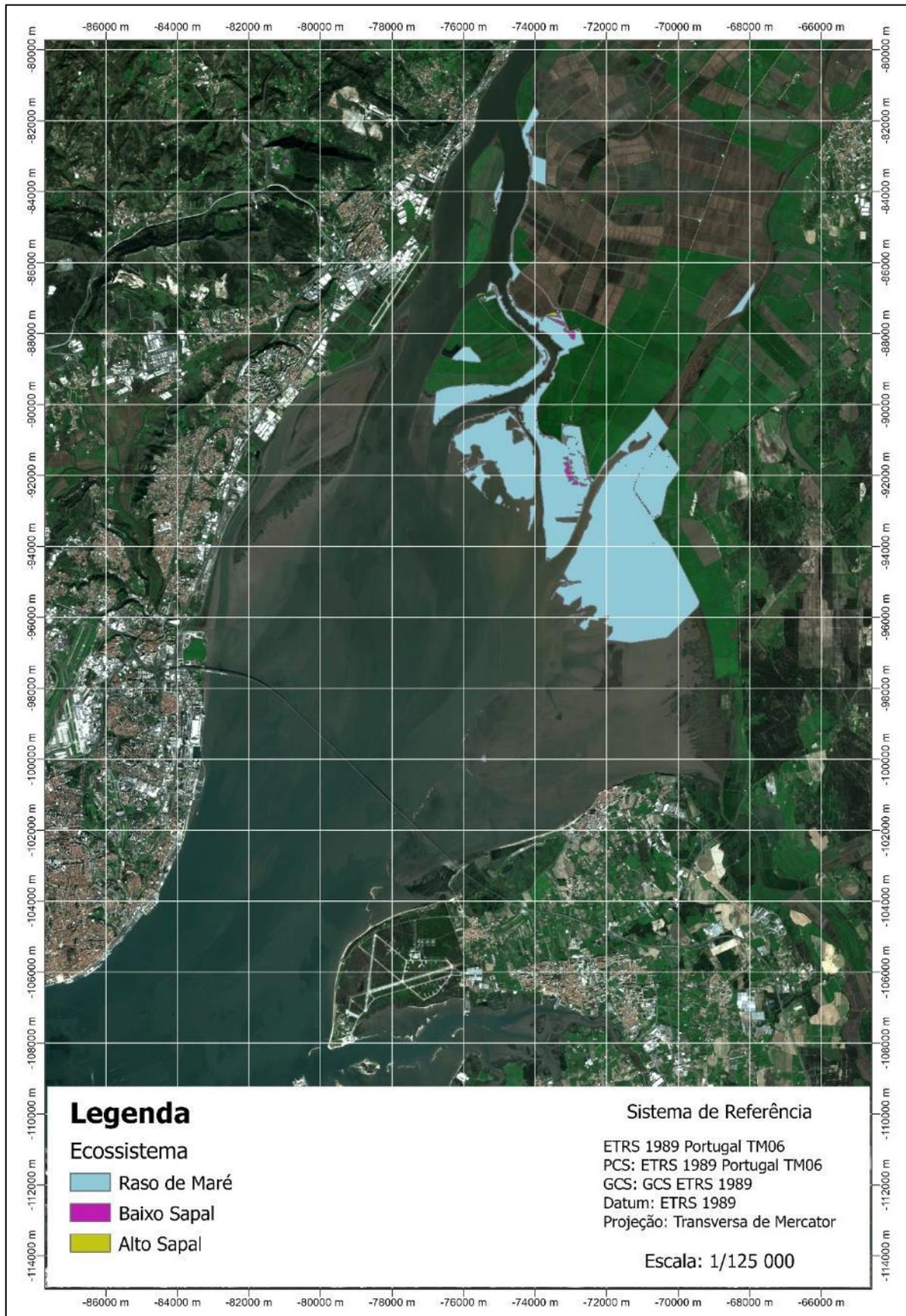


Figura C-28 - Classificação em EI do Home Range (95%) da Espécie *Limosa limosa* para uma subida do NMM de 100 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 115 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) com preservação de áreas agrícolas

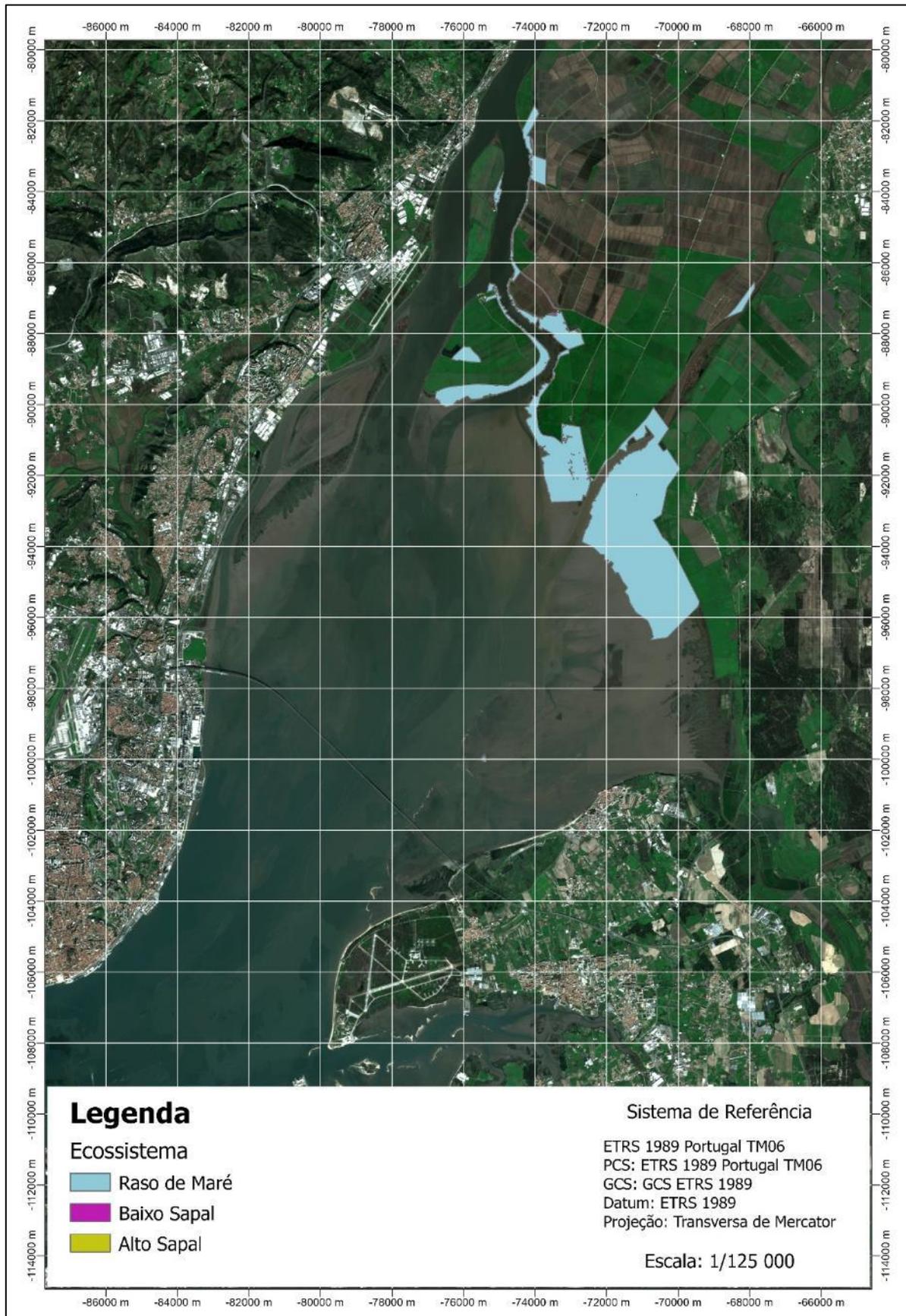


Figura C-29 - Classificação em EI do Home Range (95%) da Espécie *Limosa limosa* para uma subida do NMM de 150 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 165 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) com preservação de áreas agrícolas

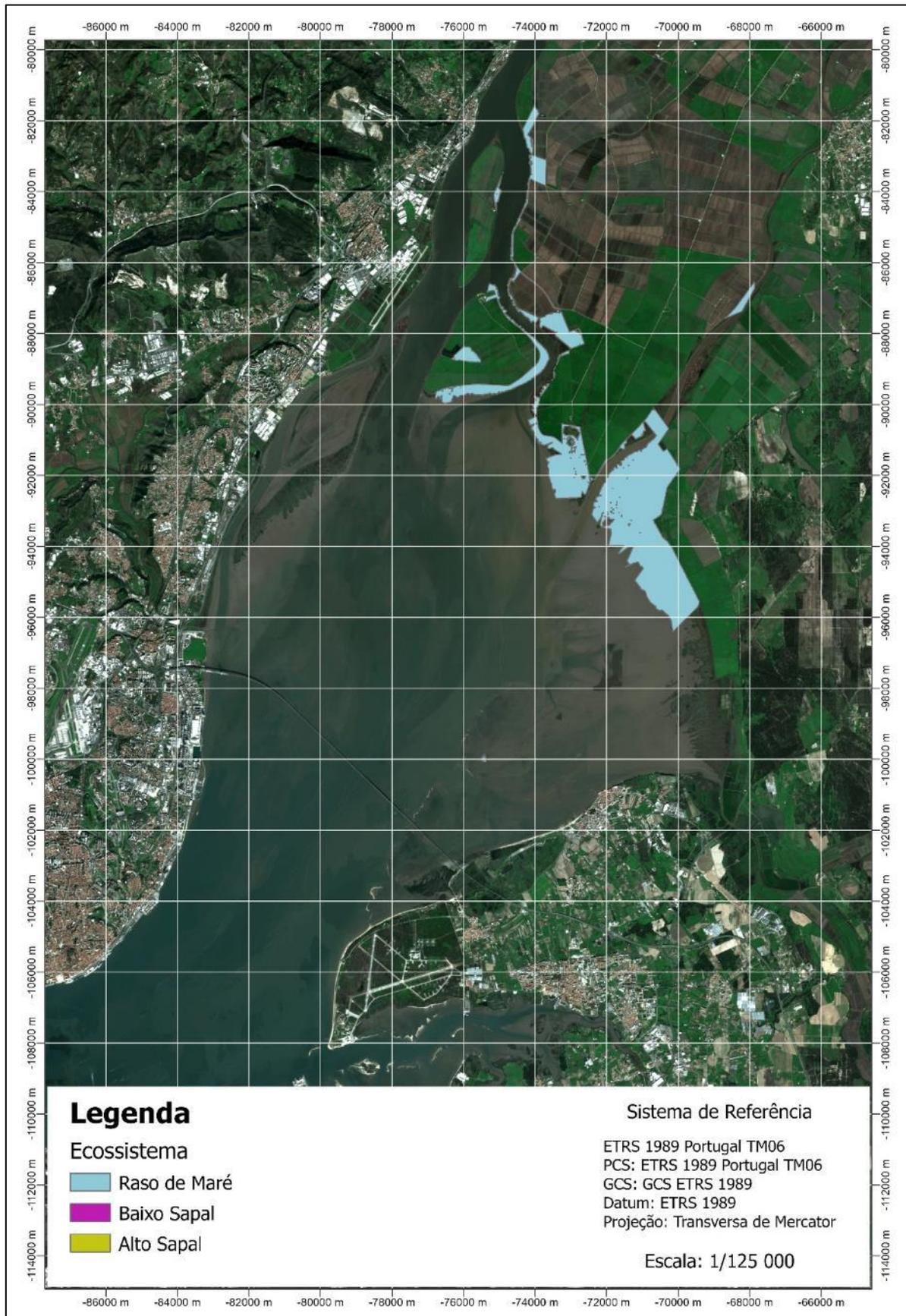


Figura C-30 - Classificação em EI do Home Range (95%) da Espécie *Limosa limosa* para uma subida do NMM de 200 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 215 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) com preservação de áreas agrícolas

iii. *Tringa totanus*

a. Classificação em EI da *Core Area* (50%)

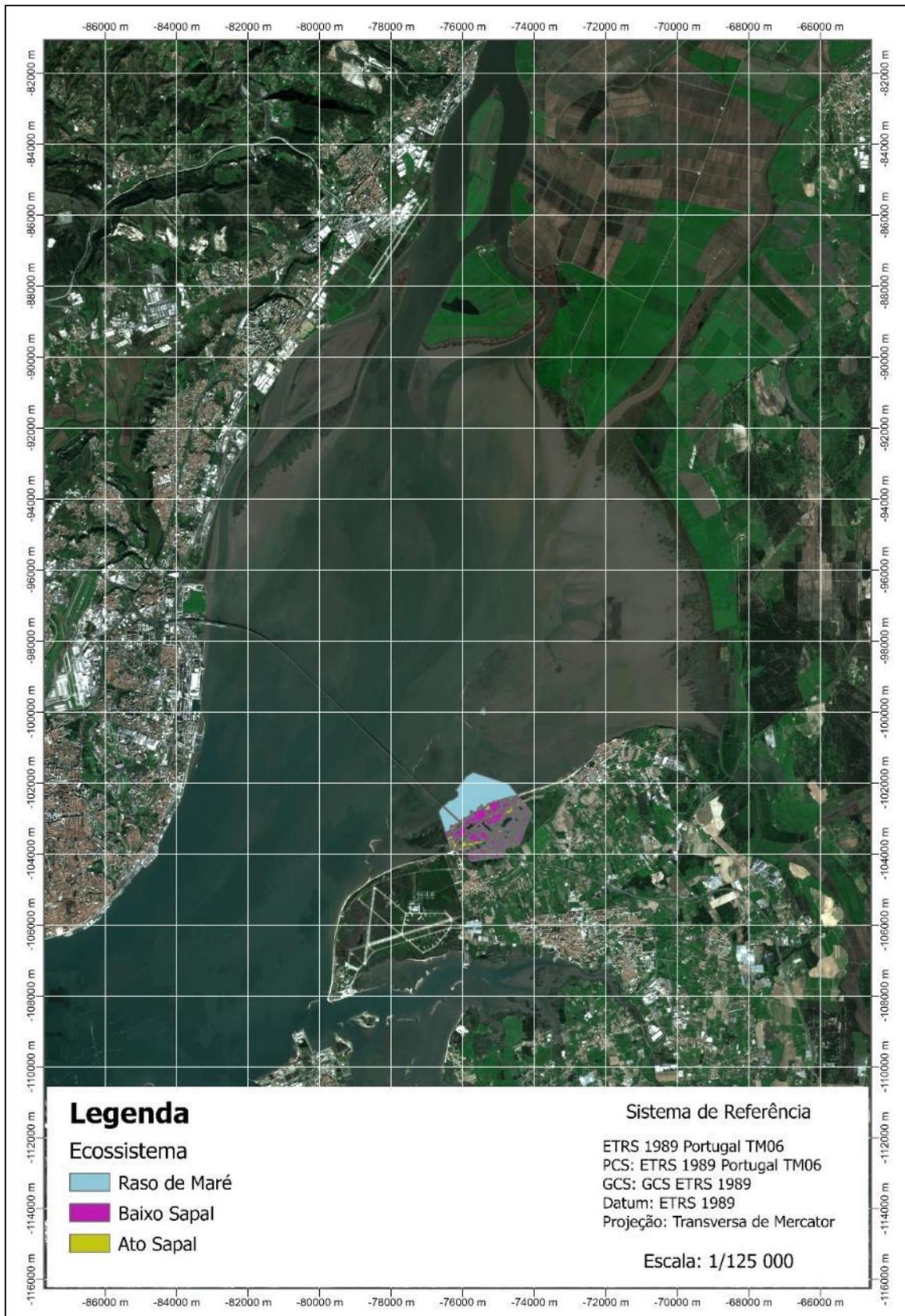


Figura C-31 - Classificação em EI do Home Range (50%) da Espécie *Tringa totanus* para o Período de Referência

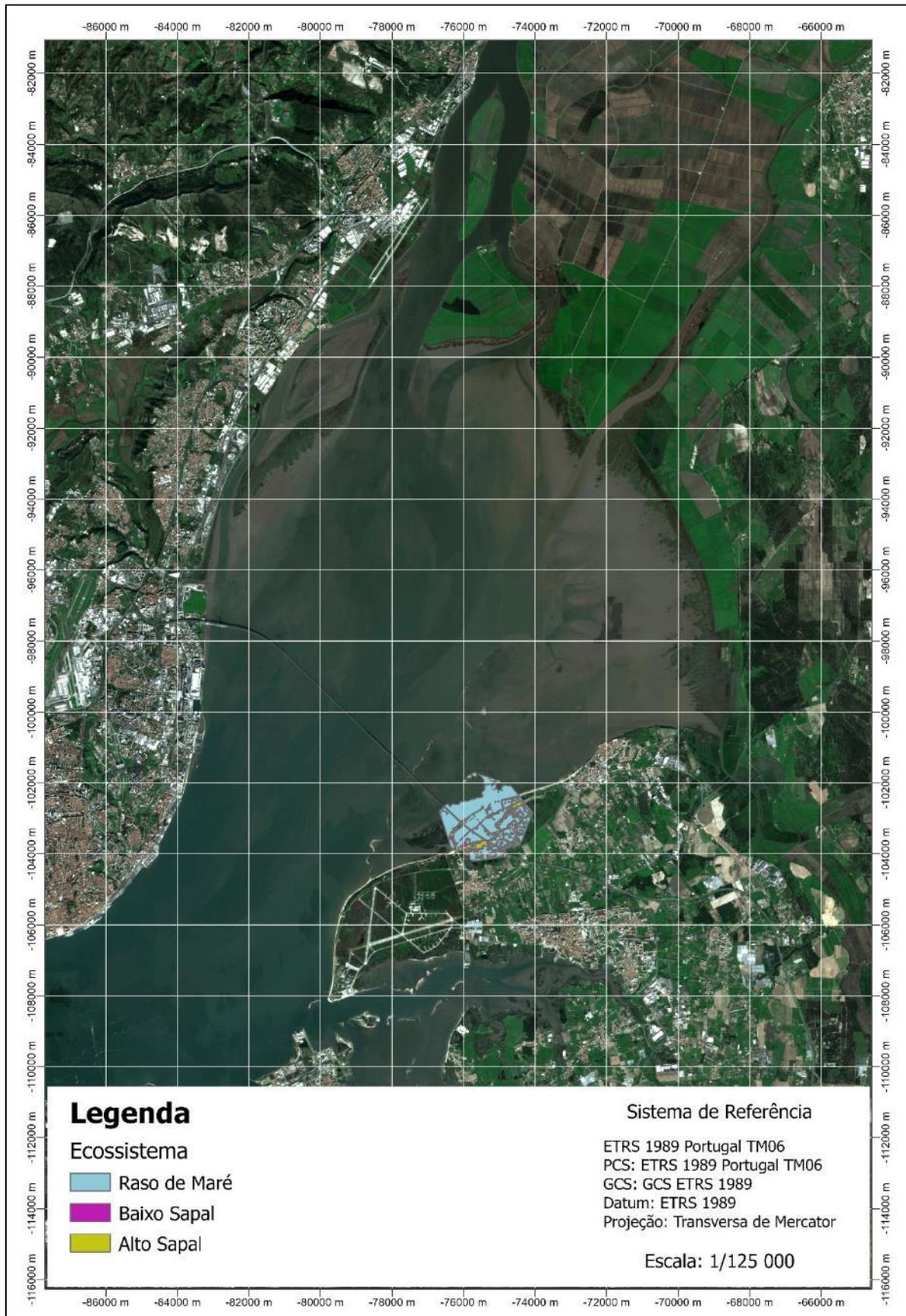


Figura C-32 - Classificação em EI da Core Area (50%) da Espécie *Tringa totanus* para uma subida do NMM de 50 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 65 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) com preservação de áreas agrícolas e artificializadas

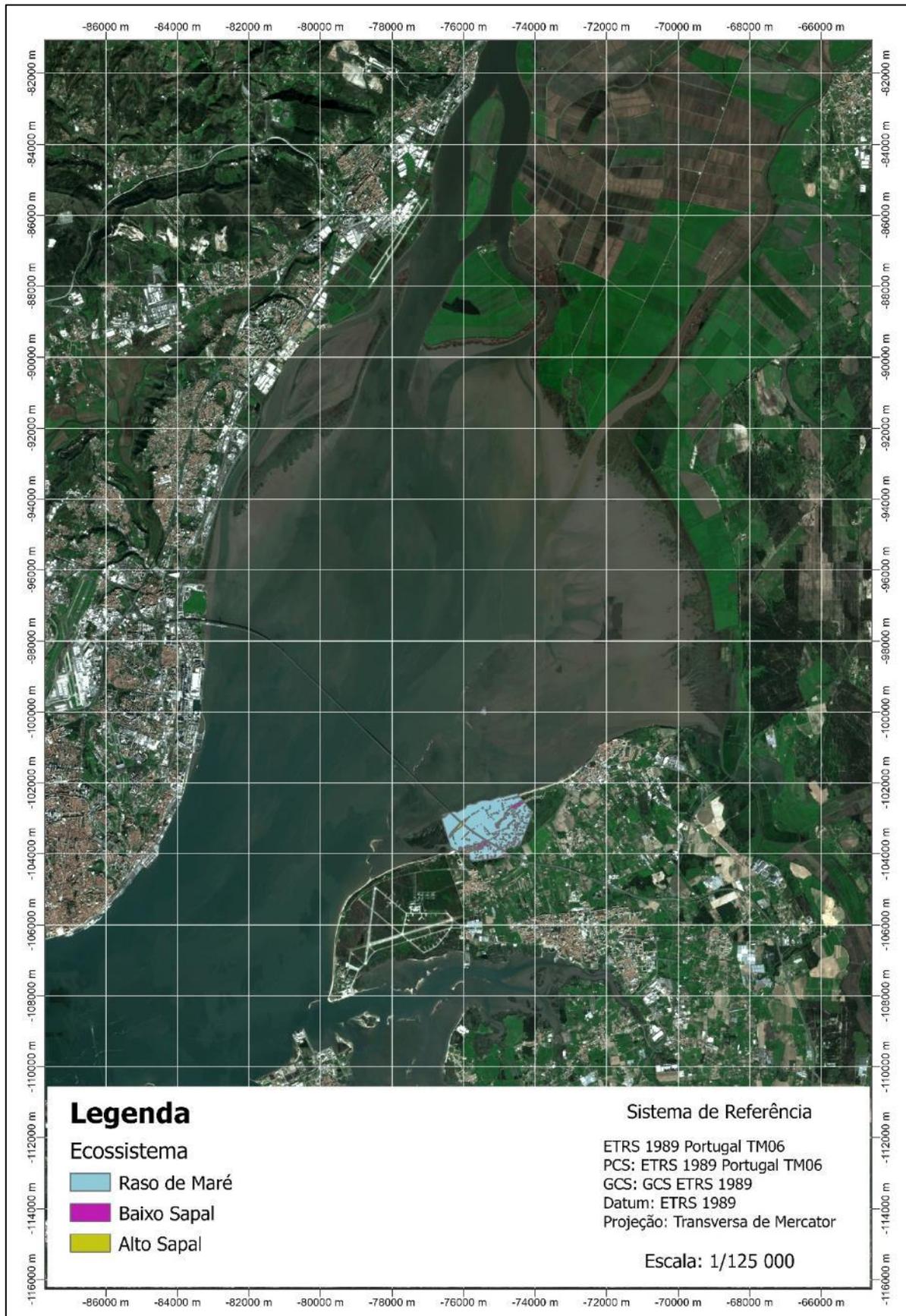


Figura C-33 - Classificação em EI da Core Area (50%) da Espécie *Tringa totanus* para uma subida do NMM de 100 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 115 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) com preservação de áreas agrícolas e artificializadas

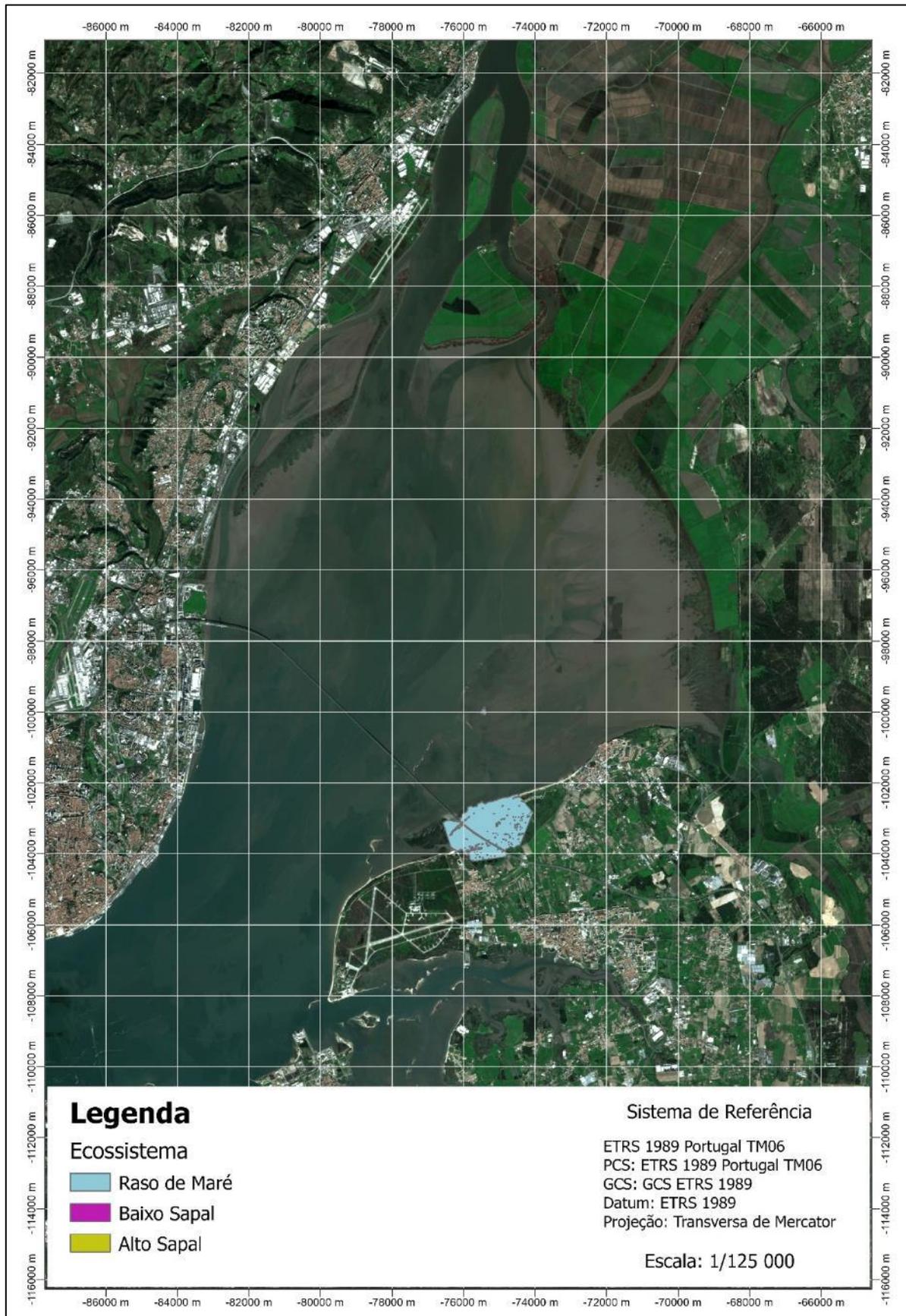


Figura C-34 - Classificação em EI da Core Area (50%) da Espécie *Tringa totanus* para uma subida do NMM de 150 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 165 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) com preservação de áreas agrícolas e artificializadas

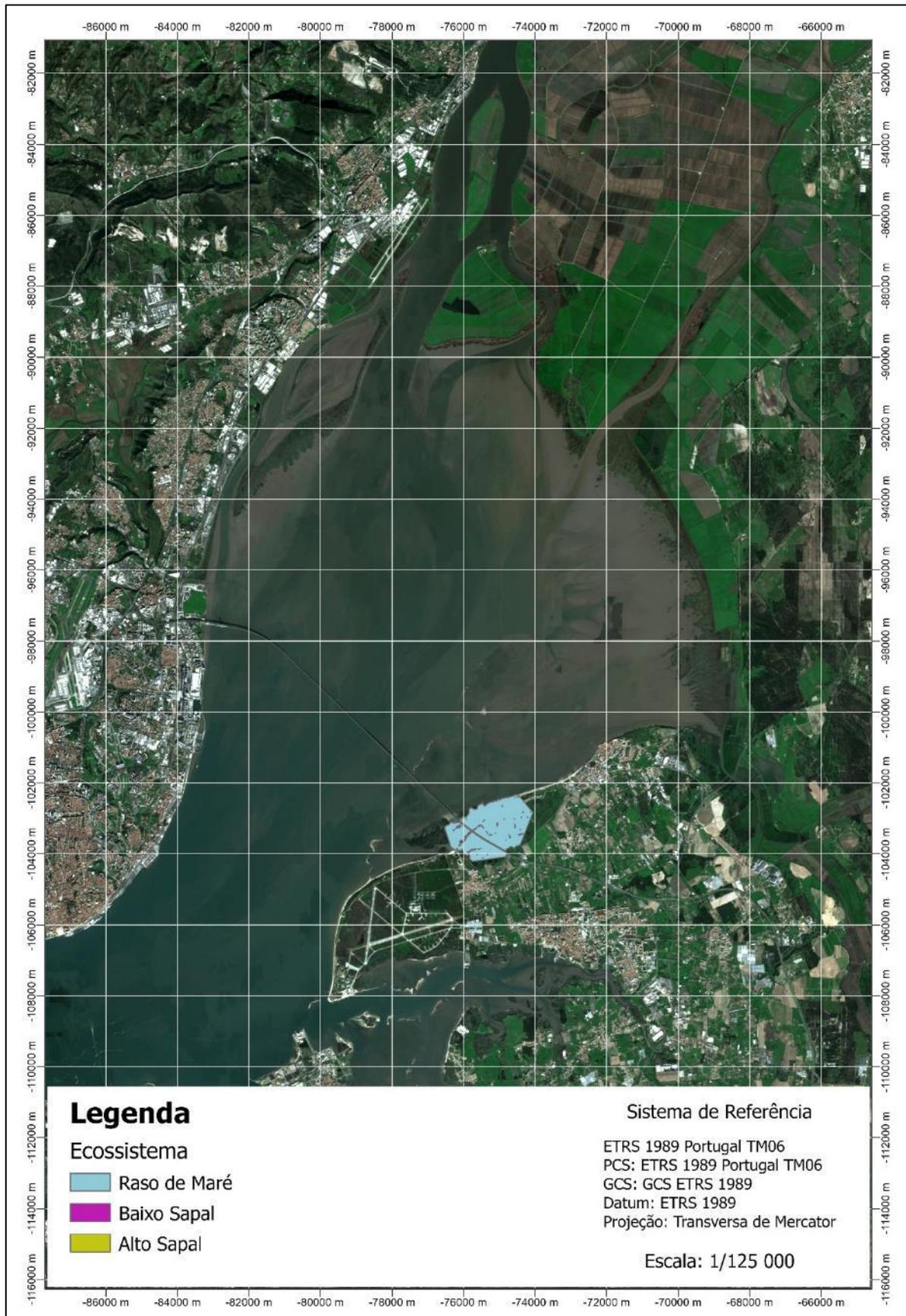


Figura C-35 - Classificação em EI da Core Area (50%) da Espécie *Tringa totanus* para uma subida do NMM de 200 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 215 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) com preservação de áreas agrícolas e artificializadas

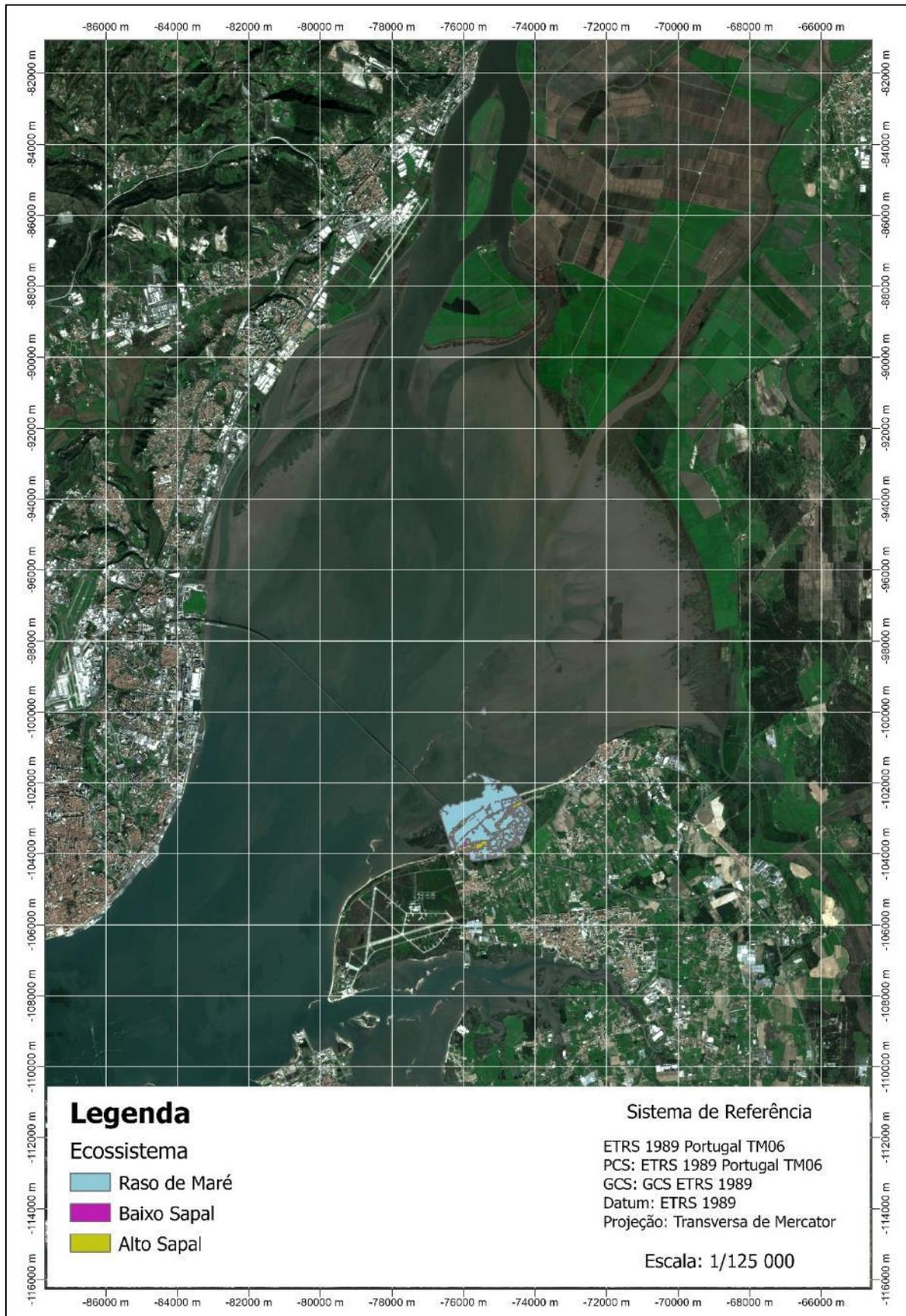


Figura C-36 - Classificação em EI da Core Area (50%) da Espécie *Tringa totanus* para uma subida do NMM de 50 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 65 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) com preservação de áreas agrícolas

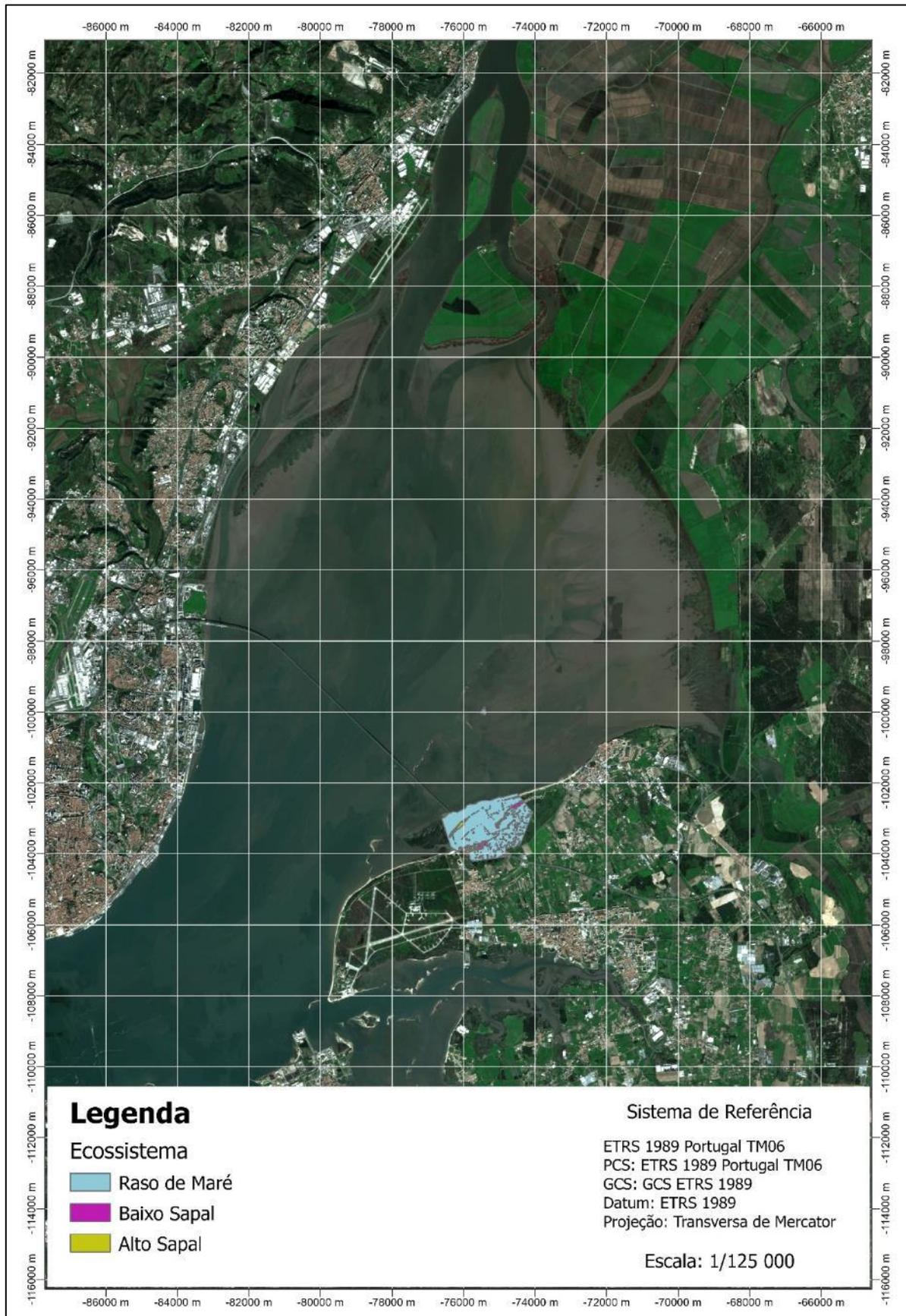


Figura C-37 - Classificação em EI da Core Area (50%) da Espécie *Tringa totanus* para uma subida do NMM de 100 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 115 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) com preservação de áreas agrícolas

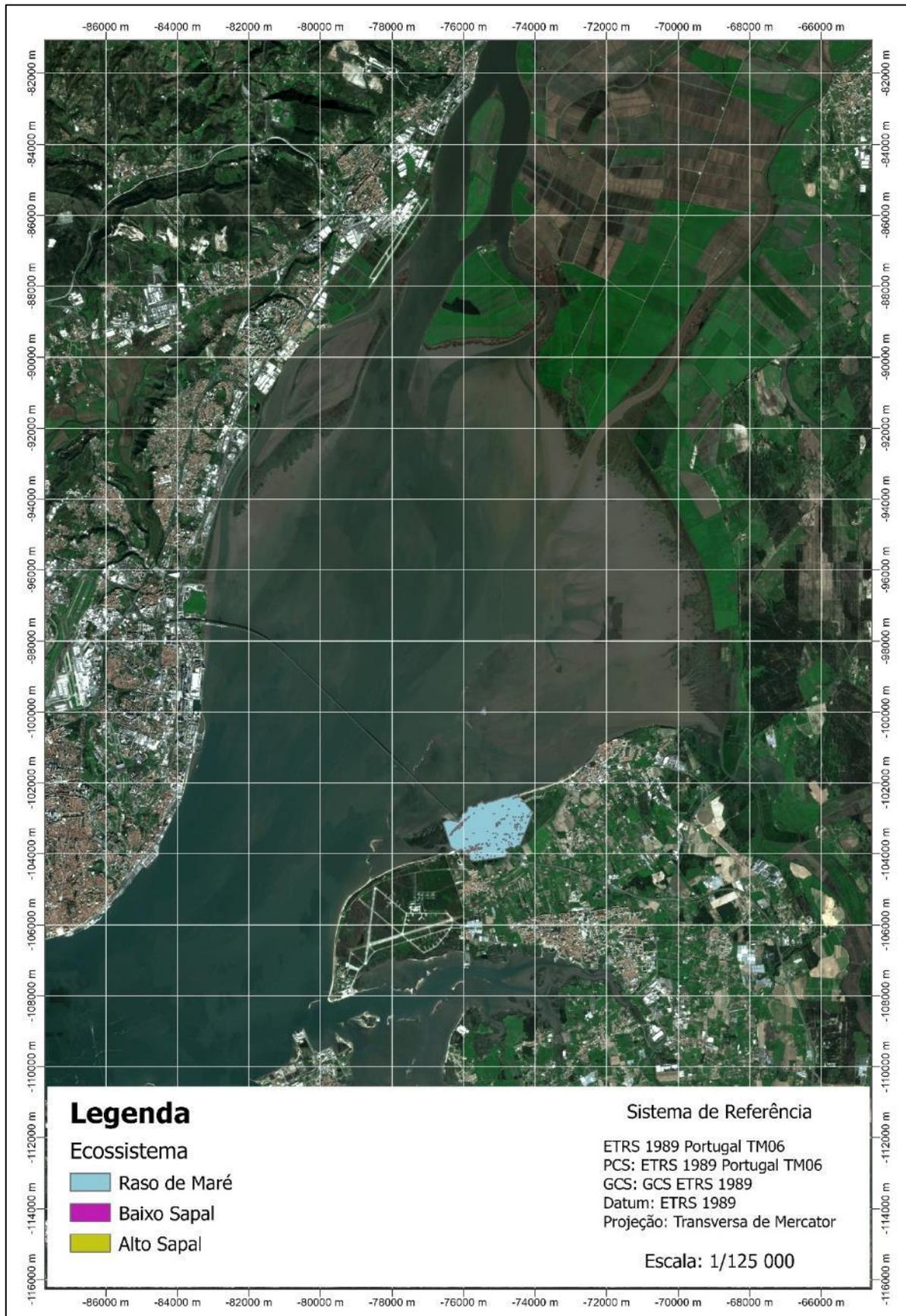


Figura C-38 - Classificação em EI da Core Area (50%) da Espécie *Tringa totanus* para uma subida do NMM de 150 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 165 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) com preservação de áreas agrícolas

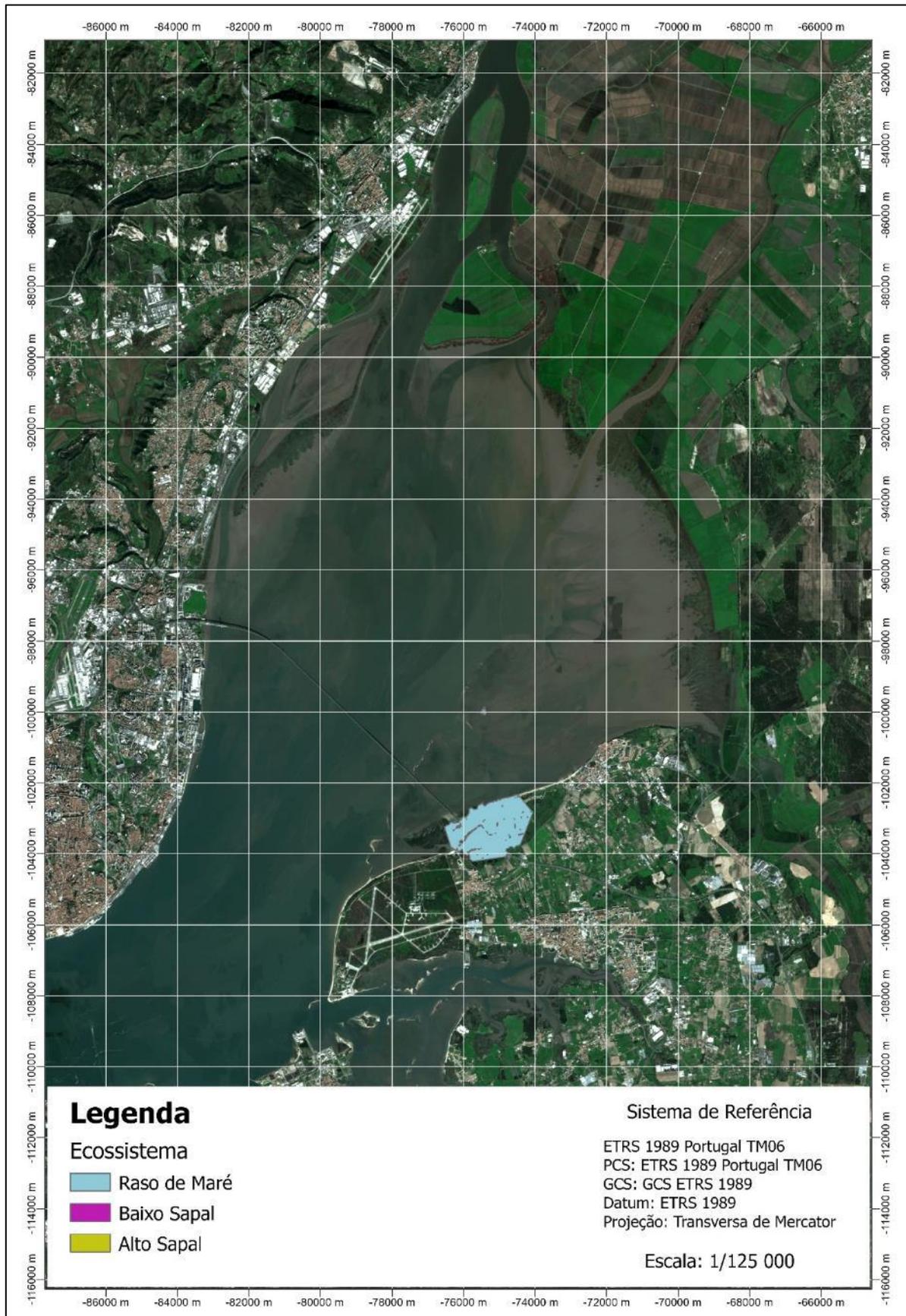


Figura C-39 - Classificação em EI da Core Area (50%) da Espécie *Tringa totanus* para uma subida do NMM de 200 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 215 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) com preservação de áreas agrícolas

b. Classificação em EI do *Home Range* (95%)

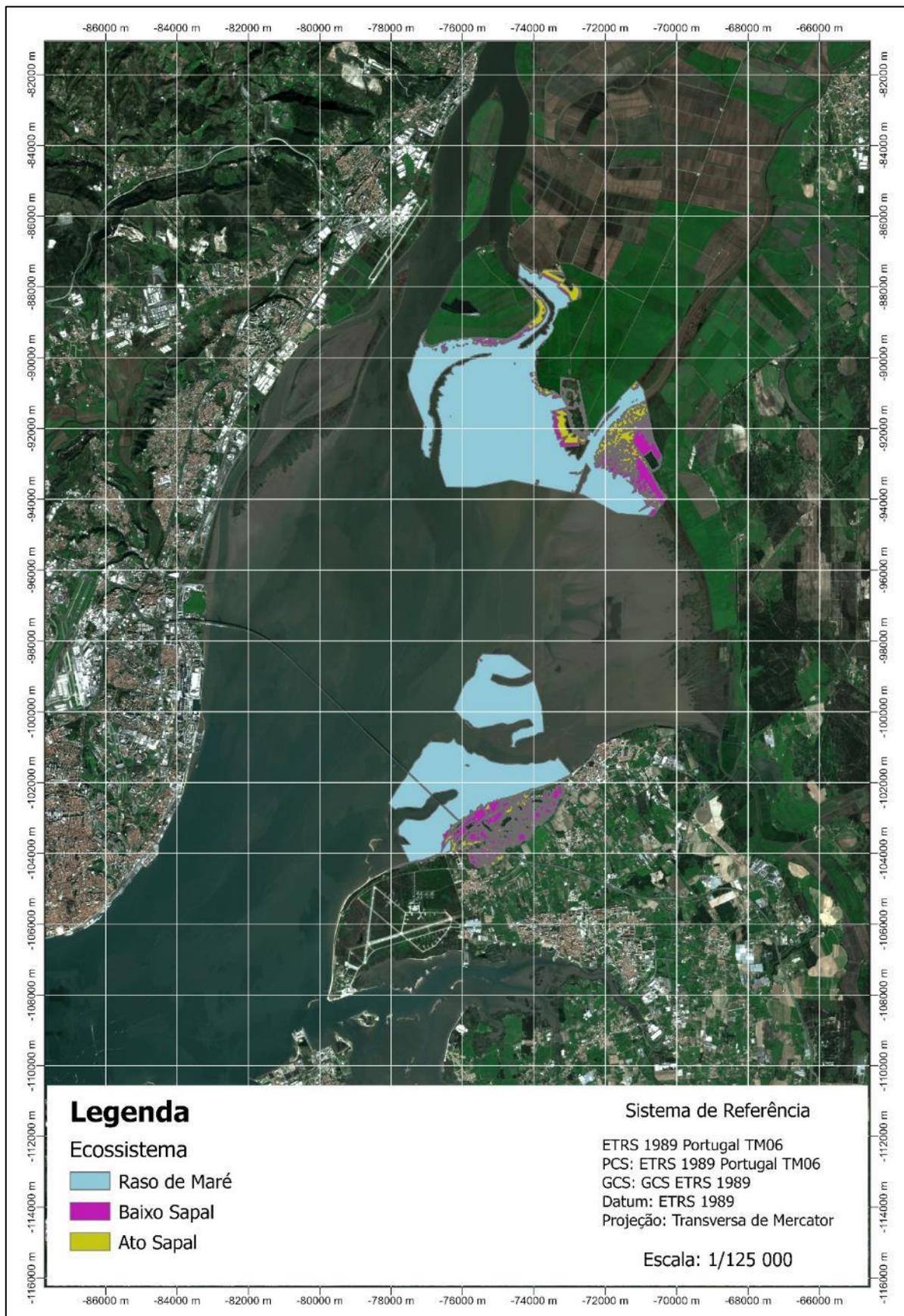


Figura C-40 - Classificação em EI do *Home Range* (95%) da Espécie *Tringa totanus* para o Período de Referência

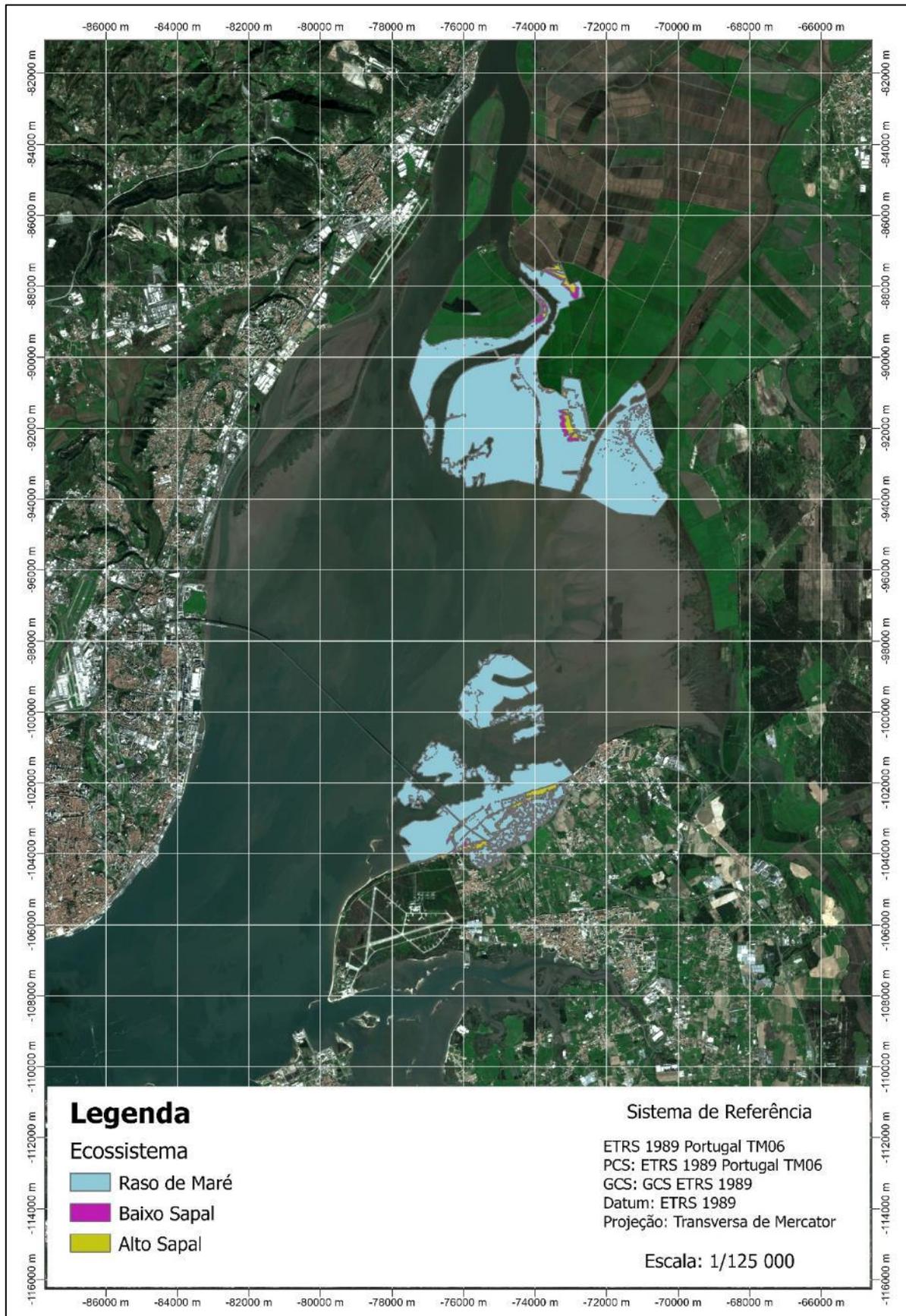


Figura C-41 - Classificação em EI do Home Range (95%) da Espécie *Tringa totanus* para uma subida do NMM de 50 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 65 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) com preservação de áreas agrícolas e artificializadas

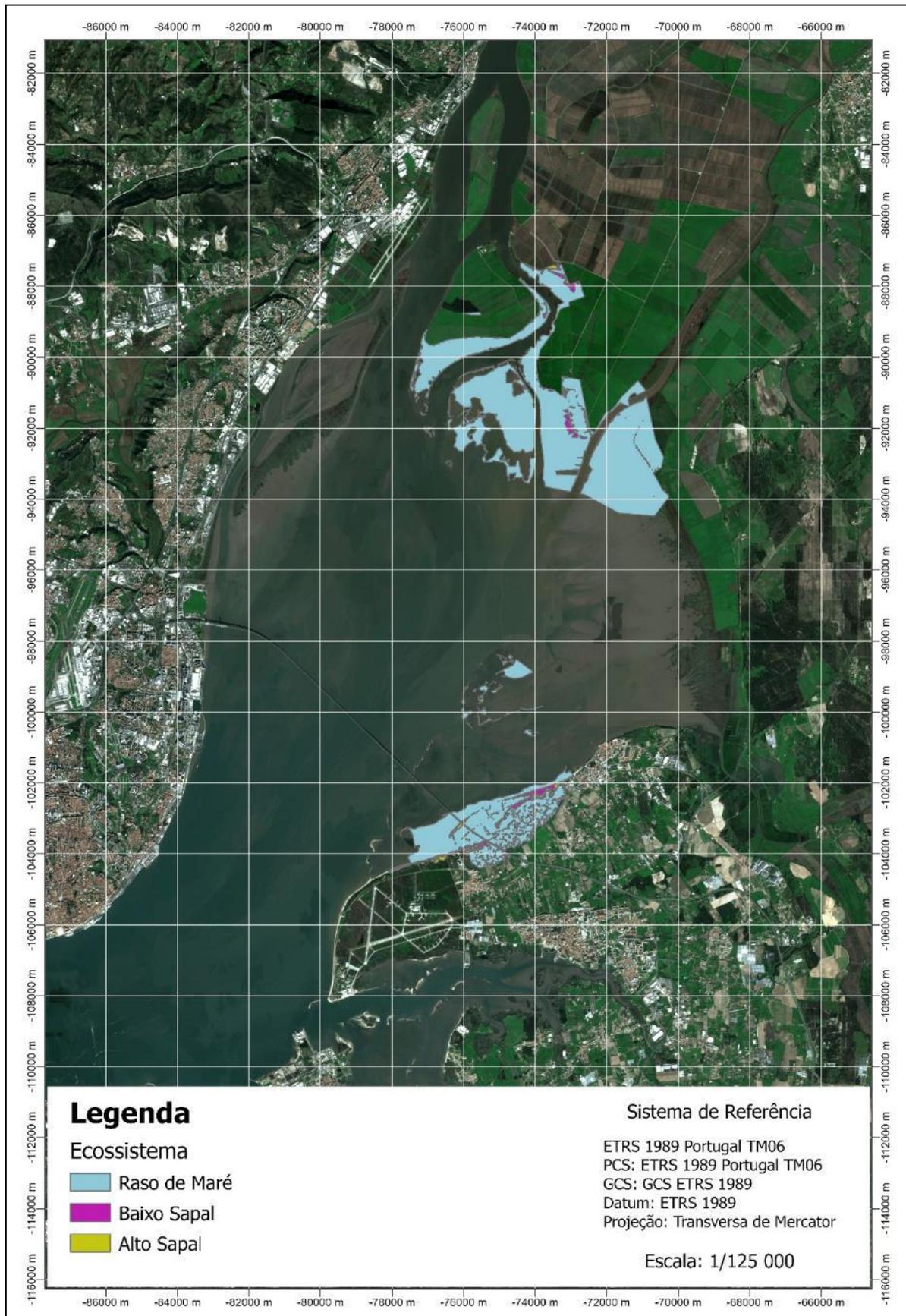


Figura C-42 - Classificação em EI do Home Range (95%) da Espécie *Tringa totanus* para uma subida do NMM de 100 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 115 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) com preservação de áreas agrícolas e artificializadas

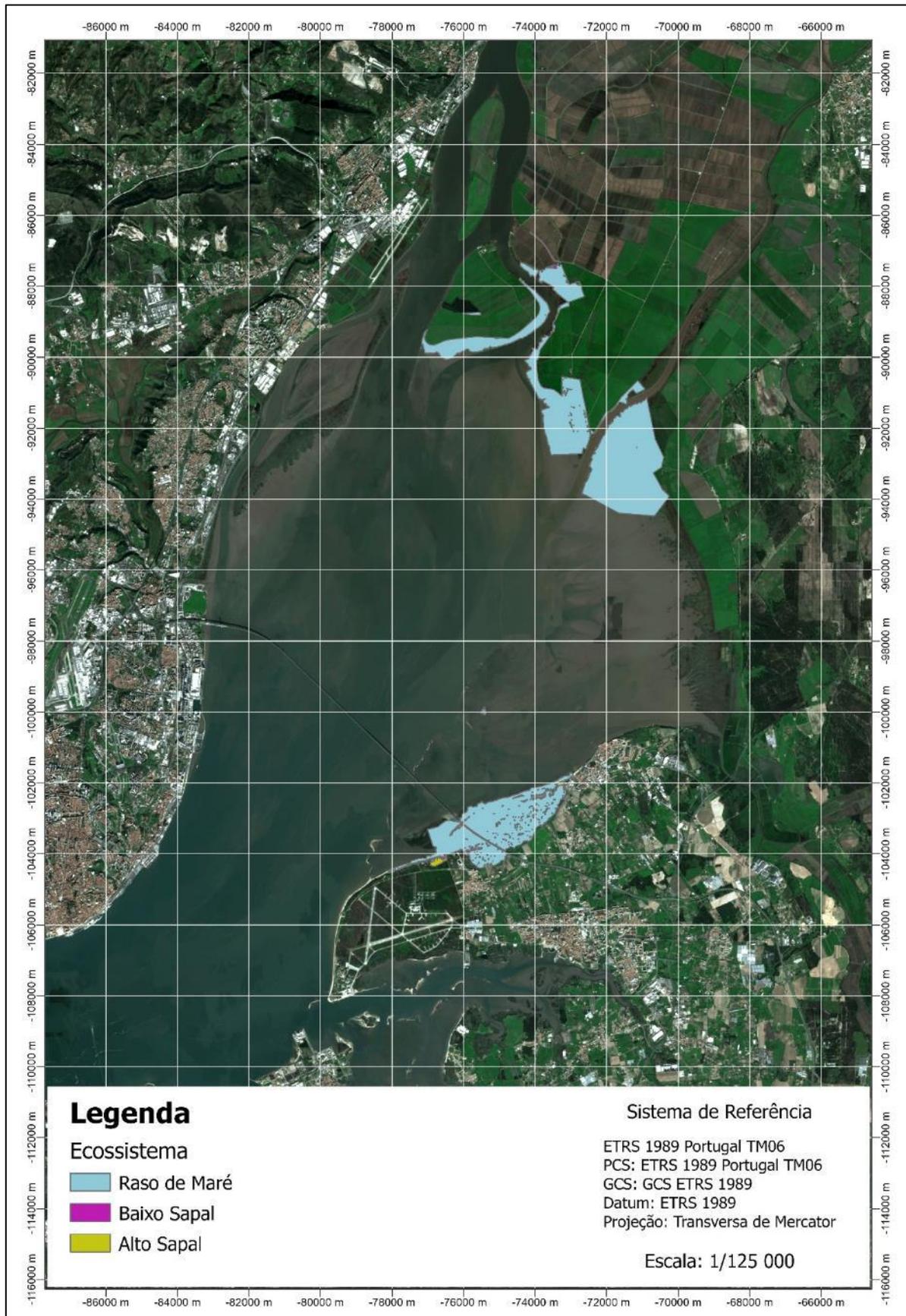


Figura C-43 - Classificação em EI do Home Range (95%) da Espécie *Tringa totanus* para uma subida do NMM de 150 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 165 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) com preservação de áreas agrícolas e artificializadas

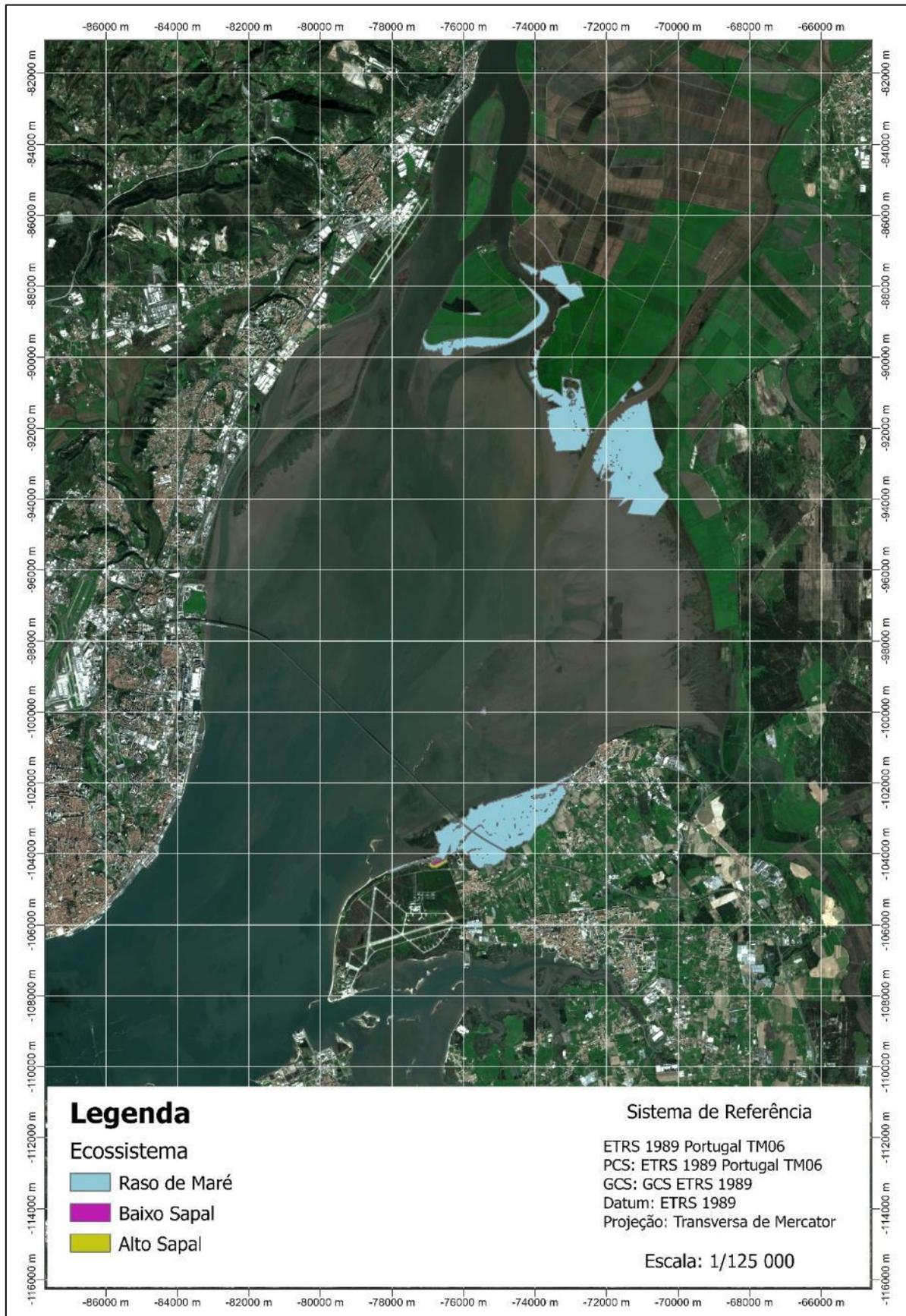


Figura C-44 - Classificação em EI do Home Range (95%) da Espécie *Tringa totanus* para uma subida do NMM de 200 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 215 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) com preservação de áreas agrícolas e artificializadas

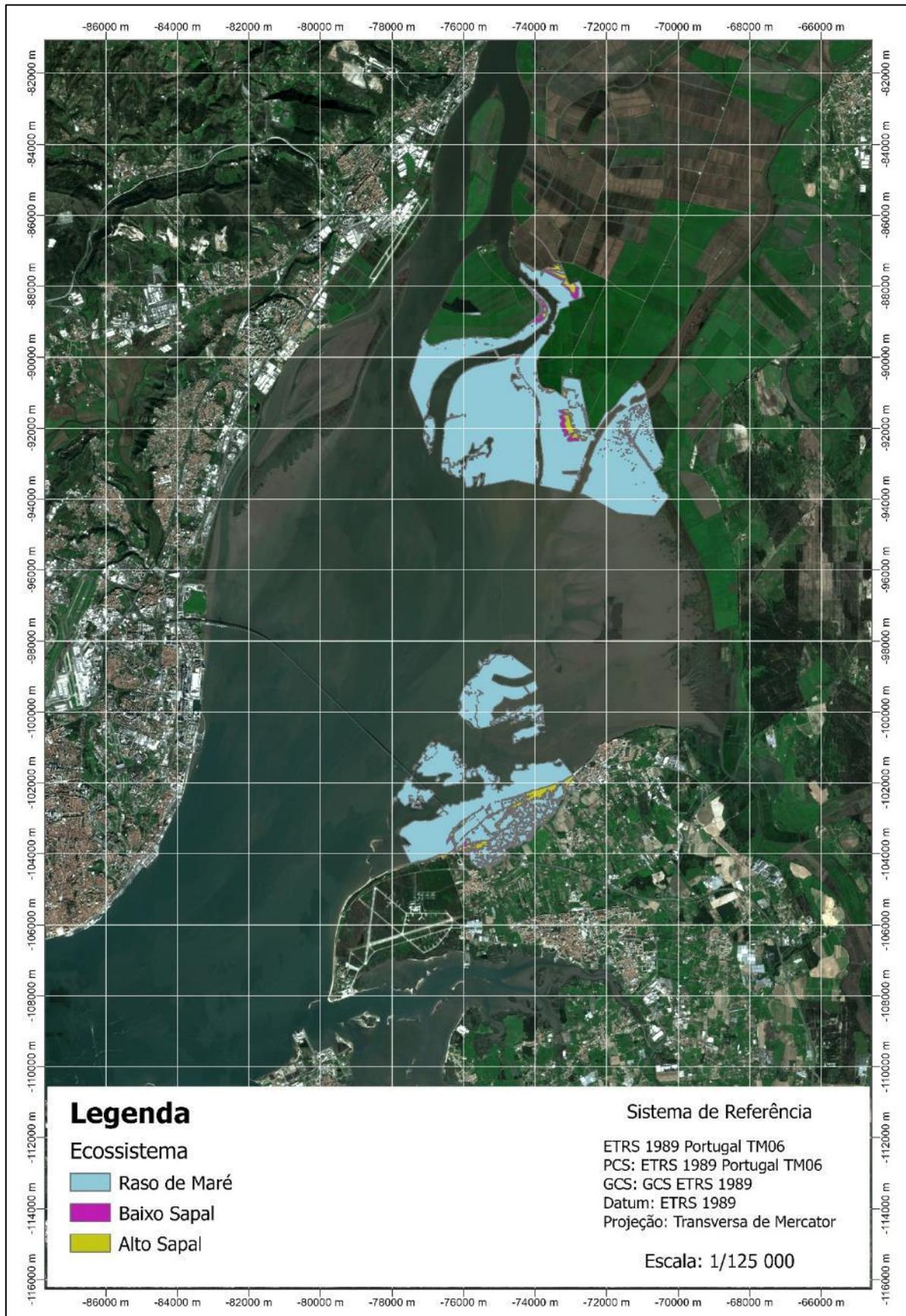


Figura C-45 - Classificação em EI do Home Range (95%) da Espécie *Tringa totanus* para uma subida do NMM de 50 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 65 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) com preservação de áreas agrícolas

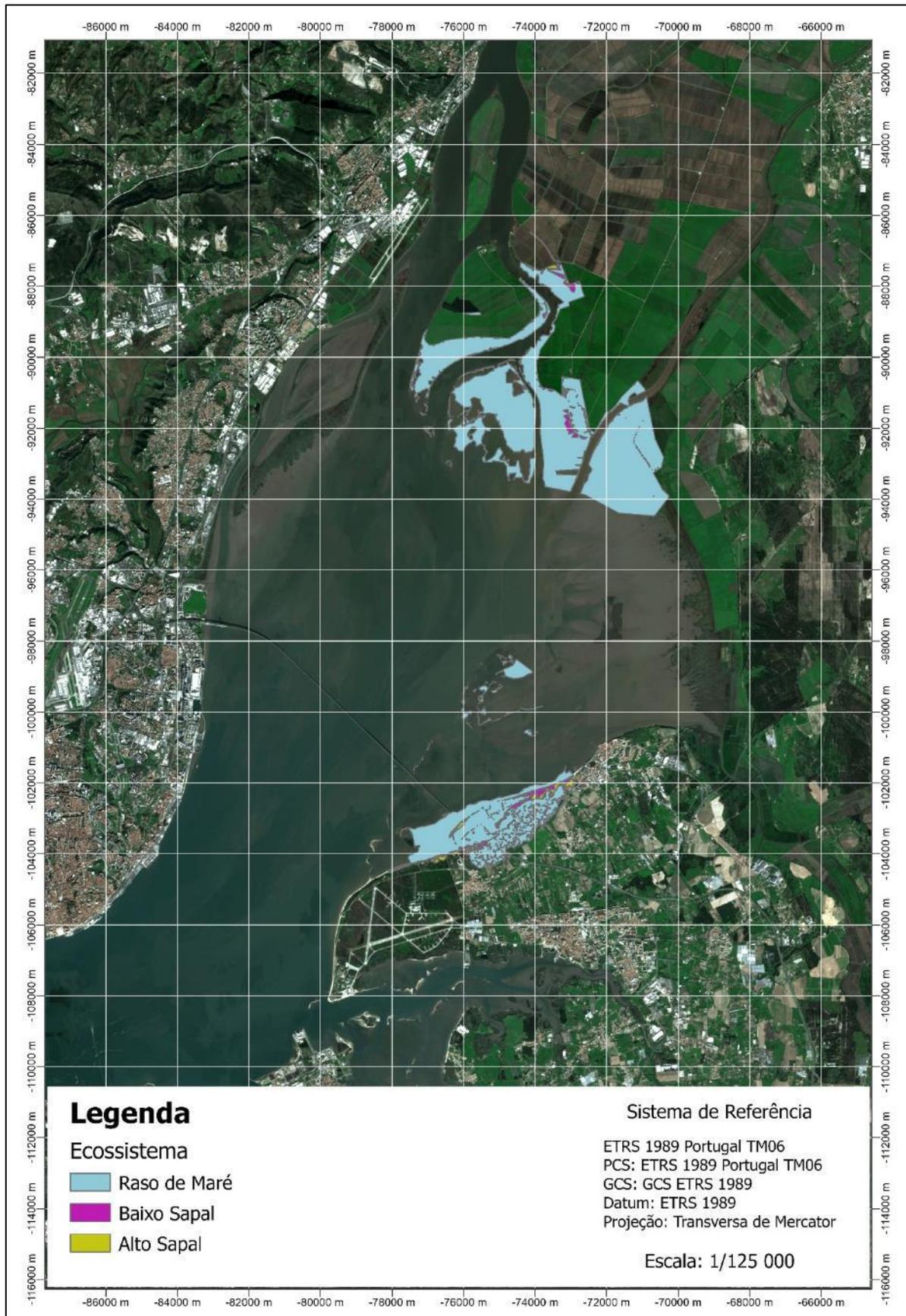


Figura C-46 - Classificação em EI do Home Range (95%) da Espécie *Tringa totanus* para uma subida do NMM de 100 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 115 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) com preservação de áreas agrícolas

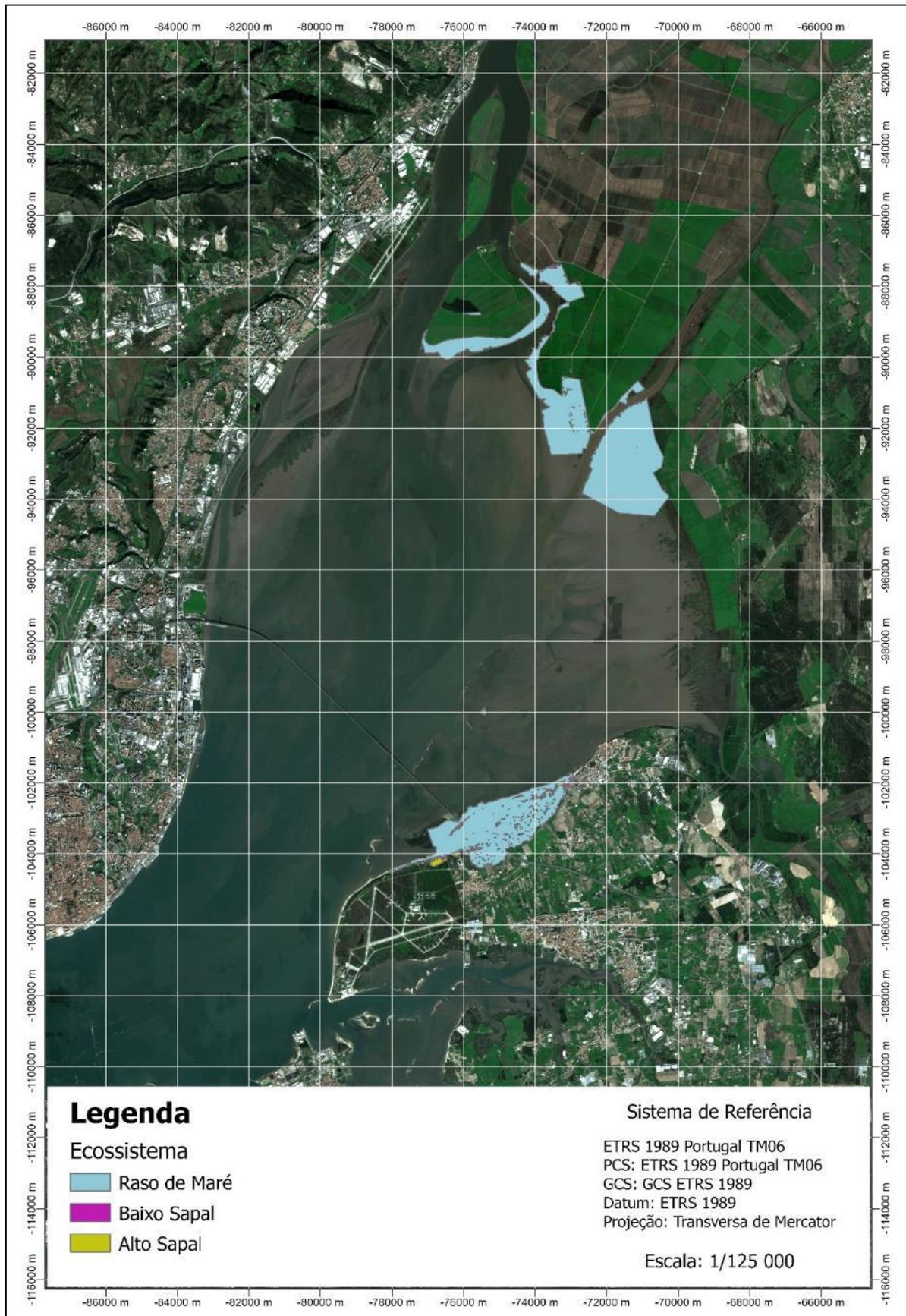


Figura C-47 - Classificação em EI do Home Range (95%) da Espécie *Tringa totanus* para uma subida do NMM de 150 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 165 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) com preservação de áreas agrícolas

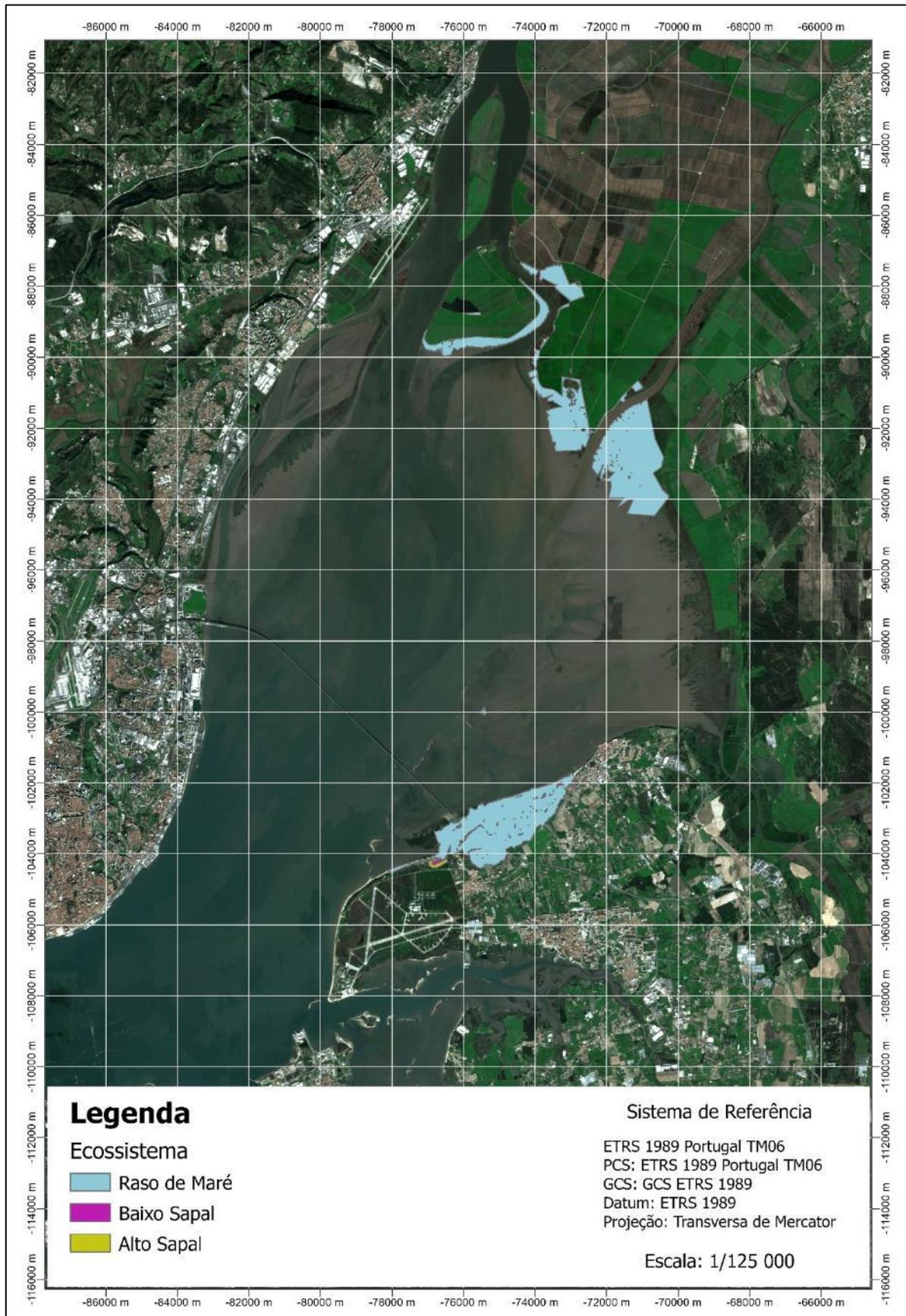


Figura C-48 - Classificação em EI do Home Range (95%) da Espécie *Tringa totanus* para uma subida do NMM de 200 cm face ao Período de Referência (subida do NMM de 215 cm em relação ao Datum Altimétrico de Cascais) com preservação de áreas agrícolas

D. EVOLUÇÃO DA ÁREA DOS EI DA AVIFAUNA PARA OS VÁRIOS CENÁRIOS DE SUBIDA DO NMM

i. *Pluvialis squatarola*

a. Evolução da área dos EI da *Core Area* (50%)

Tabela D-1- Evolução da Área de Raso de Maré da *Core Area* (50%) da Espécie *Pluvialis squatarola* face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas agrícolas e artificializadas

| RASO DE MARÉ | | | | | |
|--------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
| Cenário Inundação | Área Total (km²) | Var. Global (km²) | Var. Global (%) | Var. Gradual (km²) | Var. Gradual (%) |
| Referência | 6.15 | | | | |
| +50 cm | 8.18 | 2.03 | 33 | 2.03 | 33 |
| +100 cm | 7.79 | 1.64 | 27 | -0.39 | -5 |
| +150 cm | 5.78 | -0.37 | -6 | -2.01 | -26 |
| +200 cm | 4.54 | -1.61 | -26 | -1.24 | -22 |

Tabela D-2 - Evolução da Área de Baixo Sapal da *Core Area* (50%) da Espécie *Pluvialis squatarola* face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas agrícolas e artificializadas

| BAIXO SAPAL | | | | | |
|--------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
| Cenário Inundação | Área Total (km²) | Var. Global (km²) | Var. Global (%) | Var. Gradual (km²) | Var. Gradual (%) |
| Referência | 1.18 | | | | |
| +50 cm | 0.31 | -0.87 | -74 | -0.87 | -74 |
| +100 cm | 0.21 | -0.97 | -82 | -0.10 | -32 |
| +150 cm | 0.03 | -1.15 | -97 | -0.18 | -84 |
| +200 cm | 0.01 | -1.17 | -99 | -0.02 | -61 |

Tabela D-3 - Evolução da Área de Alto Sapal da *Core Area* (50%) da Espécie *Pluvialis squatarola* face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas agrícolas e artificializadas

| ALTO SAPAL | | | | | |
|--------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
| Cenário Inundação | Área Total (km²) | Var. Global (km²) | Var. Global (%) | Var. Gradual (km²) | Var. Gradual (%) |
| Referência | 1.04 | | | | |
| +50 cm | 0.30 | -0.74 | -71 | -0.74 | -71 |
| +100 cm | 0.06 | -0.98 | -94 | -0.24 | -80 |
| +150 cm | 0.02 | -1.02 | -98 | -0.04 | -62 |
| +200 cm | 0.02 | -1.02 | -98 | -0.00 | -15 |

Tabela D-4 - Evolução da Área de Raso de Maré da *Core Area* (50%) da Espécie *Pluvialis squatarola* face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas agrícolas

| RASO DE MARÉ | | | | | |
|--------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
| Cenário Inundação | Área Total (km²) | Var. Global (km²) | Var. Global (%) | Var. Gradual (km²) | Var. Gradual (%) |
| Referência | 6.15 | | | | |
| +50 cm | 8.18 | 2.03 | 33 | 2.03 | 33 |
| +100 cm | 7.80 | 1.64 | 27 | -0.39 | -5 |
| +150 cm | 5.79 | -0.36 | -6 | -2.00 | -26 |
| +200 cm | 4.56 | -1.59 | -26 | -1.23 | -21 |

Tabela D-5 - Evolução da Área de Baixo Sapal da Core Area (50%) da Espécie *Pluvialis squatarola* face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas agrícolas

| BAIXO SAPAL | | | | | |
|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------------|
| Cenário Inundação | Área Total (km ²) | Var. Global (km ²) | Var. Global (%) | Var. Gradual (km ²) | Var. Gradual (%) |
| Referência | 1.18 | | | | |
| +50 cm | 0.31 | -0.87 | -74 | -0.87 | -74 |
| +100 cm | 0.21 | -0.97 | -82 | -0.10 | -31 |
| +150 cm | 0.04 | -1.14 | -96 | -0.17 | -81 |
| +200 cm | 0.02 | -1.16 | -98 | -0.02 | -44 |

Tabela D-6 - Evolução da Área de Alto Sapal da Core Area (50%) da Espécie *Pluvialis squatarola* face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas agrícolas

| ALTO SAPAL | | | | | |
|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------------|
| Cenário Inundação | Área Total (km ²) | Var. Global (km ²) | Var. Global (%) | Var. Gradual (km ²) | Var. Gradual (%) |
| Referência | 1.04 | | | | |
| +50 cm | 0.31 | -0.74 | -71 | -0.74 | -71 |
| +100 cm | 0.08 | -0.96 | -93 | -0.23 | -75 |
| +150 cm | 0.04 | -1.00 | -96 | -0.04 | -49 |
| +200 cm | 0.03 | -1.01 | -97 | -0.01 | -17 |

b. Evolução da área dos EI do *Home Range* (95%)

Tabela D-7 - Evolução da Área de Raso de Maré do *Home Range* (95%) da Espécie *Pluvialis squatarola* face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas agrícolas

| RASO DE MARÉ | | | | | |
|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------------|
| Cenário Inundação | Área Total (km ²) | Var. Global (km ²) | Var. Global (%) | Var. Gradual (km ²) | Var. Gradual (%) |
| Referência | 54.76 | | | | |
| +50 cm | 61.52 | 6.77 | 12 | 6.77 | 12 |
| +100 cm | 50.69 | -4.07 | -7 | -10.83 | -18 |
| +150 cm | 33.16 | -21.60 | -39 | -17.53 | -35 |
| +200 cm | 27.48 | -27.27 | -50 | -5.68 | -17 |

Tabela D-8 - Evolução da Área de Baixo Sapal do *Home Range* (95%) da Espécie *Pluvialis squatarola* face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas agrícolas

| BAIXO SAPAL | | | | | |
|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------------|
| Cenário Inundação | Área Total (km ²) | Var. Global (km ²) | Var. Global (%) | Var. Gradual (km ²) | Var. Gradual (%) |
| Referência | 7.55 | | | | |
| +50 cm | 3.22 | -4.33 | -57 | -4.33 | -57 |
| +100 cm | 1.68 | -5.87 | -78 | -1.54 | -48 |
| +150 cm | 1.28 | -6.27 | -83 | -0.40 | -24 |
| +200 cm | 0.81 | -6.75 | -89 | -0.47 | -37 |

Tabela D-9 - Evolução da Área de Alto Sapal do Home Range (95%) da Espécie *Pluvialis squatarola* face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas agrícolas

| ALTO SAPAL | | | | | |
|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------------|
| Cenário Inundação | Área Total (km ²) | Var. Global (km ²) | Var. Global (%) | Var. Gradual (km ²) | Var. Gradual (%) |
| Referência | 6.74 | | | | |
| +50 cm | 2.93 | -3.81 | -56 | -3.81 | -56 |
| +100 cm | 2.21 | -4.53 | -67 | -0.73 | -25 |
| +150 cm | 1.36 | -5.38 | -80 | -0.85 | -38 |
| +200 cm | 0.82 | -5.92 | -88 | -0.54 | -40 |

ii. *Limosa limosa*

a. Evolução da área dos EI da Core Area (50%)

Tabela D-10 - Evolução da Área de Raso de Maré da Core Area (50%) da Espécie *Limosa limosa* face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas agrícolas e artificializadas

| RASO DE MARÉ | | | | | |
|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------------|
| Cenário Inundação | Área Total (km ²) | Var. Global (km ²) | Var. Global (%) | Var. Gradual (km ²) | Var. Gradual (%) |
| Referência | 3.97 | | | | |
| +50 cm | 8.10 | 4.13 | 104 | 4.13 | 104 |
| +100 cm | 8.33 | 4.36 | 110 | 0.23 | 3 |
| +150 cm | 8.05 | 4.09 | 103 | -0.28 | -3 |
| +200 cm | 6.39 | 2.42 | 61 | -1.66 | -21 |

Tabela D-11 - Evolução da Área de Baixo Sapal da Core Area (50%) da Espécie *Limosa limosa* face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas agrícolas e artificializadas

| BAIXO SAPAL | | | | | |
|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------------|
| Cenário Inundação | Área Total (km ²) | Var. Global (km ²) | Var. Global (%) | Var. Gradual (km ²) | Var. Gradual (%) |
| Referência | 2.31 | | | | |
| +50 cm | 0.40 | -1.91 | -83 | -1.91 | -83 |
| +100 cm | 0.16 | -2.15 | -93 | -0.24 | -60 |
| +150 cm | 0.02 | -2.29 | -99 | -0.14 | -89 |
| +200 cm | 0.00 | -2.31 | -100 | -0.02 | -88 |

Tabela D-12 - Evolução da Área de Alto Sapal da Core Area (50%) da Espécie *Limosa limosa* face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas agrícolas e artificializadas

| ALTO SAPAL | | | | | |
|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------------|
| Cenário Inundação | Área Total (km ²) | Var. Global (km ²) | Var. Global (%) | Var. Gradual (km ²) | Var. Gradual (%) |
| Referência | 1.60 | | | | |
| +50 cm | 0.23 | -1.37 | -86 | -1.37 | -86 |
| +100 cm | 0.03 | -1.56 | -98 | -0.20 | -85 |
| +150 cm | 0.00 | -1.59 | -100 | -0.03 | -92 |
| +200 cm | 0.00 | -1.60 | -100 | -0.00 | -96 |

Tabela D-13 - Evolução da Área de Raso de Maré da Core Area (50%) da Espécie *Limosa limosa* face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas agrícolas

| RASO DE MARÉ | | | | | |
|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------------|
| Cenário Inundação | Área Total (km ²) | Var. Global (km ²) | Var. Global (%) | Var. Gradual (km ²) | Var. Gradual (%) |
| Referência | 3.97 | | | | |
| +50 cm | 8.10 | 4.13 | 104 | 4.13 | 104 |
| +100 cm | 8.33 | 4.36 | 110 | 0.23 | 3 |
| +150 cm | 8.05 | 4.09 | 103 | -0.28 | -3 |
| +200 cm | 6.39 | 2.42 | 61 | -1.67 | -21 |

Tabela D-14 - Evolução da Área de Baixo Sapal da Core Area (50%) da Espécie *Limosa limosa* face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas agrícolas

| BAIXO SAPAL | | | | | |
|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------------|
| Cenário Inundação | Área Total (km ²) | Var. Global (km ²) | Var. Global (%) | Var. Gradual (km ²) | Var. Gradual (%) |
| Referência | 2.31 | | | | |
| +50 cm | 0.40 | -1.91 | -83 | -1.91 | -83 |
| +100 cm | 0.16 | -2.15 | -93 | -0.24 | -60 |
| +150 cm | 0.02 | -2.29 | -99 | -0.14 | -89 |
| +200 cm | 0.00 | -2.31 | -100 | -0.02 | -88 |

Tabela D-15 - Evolução da Área de Alto Sapal da Core Area (50%) da Espécie *Limosa limosa* face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas agrícolas

| ALTO SAPAL | | | | | |
|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------------|
| Cenário Inundação | Área Total (km ²) | Var. Global (km ²) | Var. Global (%) | Var. Gradual (km ²) | Var. Gradual (%) |
| Referência | 1.60 | | | | |
| +50 cm | 0.23 | -1.37 | -86 | -1.37 | -86 |
| +100 cm | 0.03 | -1.56 | -98 | -0.20 | -85 |
| +150 cm | 0.03 | -1.57 | -98 | -0.00 | -13 |
| +200 cm | 0.00 | -1.60 | -100 | -0.03 | -100 |

b. Evolução da área dos EI do *Home Range* (95%)

Tabela D-16 - Evolução da Área de Raso de Maré do *Home Range* (95%) da Espécie *Limosa limosa* face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas agrícolas e artificializadas

| RASO DE MARÉ | | | | | |
|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------------|
| Cenário Inundação | Área Total (km ²) | Var. Global (km ²) | Var. Global (%) | Var. Gradual (km ²) | Var. Gradual (%) |
| Referência | 22.68 | | | | |
| +50 cm | 27.65 | 4.98 | 22 | 4.98 | 22 |
| +100 cm | 25.01 | 2.33 | 10 | -2.65 | -10 |
| +150 cm | 16.05 | -6.63 | -29 | -8.96 | -36 |
| +200 cm | 12.57 | -10.11 | -45 | -3.48 | -22 |

Tabela D-17 - Evolução da Área de Baixo Sapal do Home Range (95%) da Espécie *Limosa limosa* face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas agrícolas e artificializadas

| BAIXO SAPAL | | | | | |
|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------------|
| Cenário Inundação | Área Total (km ²) | Var. Global (km ²) | Var. Global (%) | Var. Gradual (km ²) | Var. Gradual (%) |
| Referência | 4.13 | | | | |
| +50 cm | 0.99 | -3.14 | -76 | -3.14 | -76 |
| +100 cm | 0.34 | -3.79 | -92 | -0.65 | -66 |
| +150 cm | 0.07 | -4.07 | -98 | -0.27 | -80 |
| +200 cm | 0.01 | -4.12 | -100 | -0.06 | -83 |

Tabela D-18 - Evolução da Área de Alto Sapal do Home Range (95%) da Espécie *Limosa limosa* face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas agrícolas e artificializadas

| ALTO SAPAL | | | | | |
|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------------|
| Cenário Inundação | Área Total (km ²) | Var. Global (km ²) | Var. Global (%) | Var. Gradual (km ²) | Var. Gradual (%) |
| Referência | 3.02 | | | | |
| +50 cm | 0.51 | -2.51 | -83 | -2.51 | -83 |
| +100 cm | 0.11 | -2.91 | -96 | -0.40 | -79 |
| +150 cm | 0.02 | -3.00 | -99 | -0.09 | -85 |
| +200 cm | 0.00 | -3.02 | -100 | -0.02 | -91 |

Tabela D-19 - Evolução da Área de Raso de Maré do Home Range (95%) da Espécie *Limosa limosa* face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas agrícolas

| RASO DE MARÉ | | | | | |
|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------------|
| Cenário Inundação | Área Total (km ²) | Var. Global (km ²) | Var. Global (%) | Var. Gradual (km ²) | Var. Gradual (%) |
| Referência | 22.68 | | | | |
| +50 cm | 27.69 | 5.01 | 22 | 5.01 | 22 |
| +100 cm | 25.04 | 2.36 | 10 | -2.65 | -10 |
| +150 cm | 16.07 | -6.60 | -29 | -8.96 | -36 |
| +200 cm | 12.60 | -10.08 | -44 | -3.47 | -22 |

Tabela D-20 - Evolução da Área de Baixo Sapal do Home Range (95%) da Espécie *Limosa limosa* face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas agrícolas

| BAIXO SAPAL | | | | | |
|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------------|
| Cenário Inundação | Área Total (km ²) | Var. Global (km ²) | Var. Global (%) | Var. Gradual (km ²) | Var. Gradual (%) |
| Referência | 4.13 | | | | |
| +50 cm | 0.99 | -3.14 | -76 | -3.14 | -76 |
| +100 cm | 0.34 | -3.79 | -92 | -0.65 | -66 |
| +150 cm | 0.07 | -4.07 | -98 | -0.27 | -80 |
| +200 cm | 0.01 | -4.12 | -100 | -0.06 | -83 |

Tabela D-21 - Evolução da Área de Alto Sapal do Home Range (95%) da Espécie *Limosa limosa* face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas agrícolas

| ALTO SAPAL | | | | | |
|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------------|
| Cenário Inundação | Área Total (km ²) | Var. Global (km ²) | Var. Global (%) | Var. Gradual (km ²) | Var. Gradual (%) |
| Referência | 3.02 | | | | |
| +50 cm | 0.51 | -2.51 | -83 | -2.51 | -83 |
| +100 cm | 0.11 | -2.91 | -96 | -0.40 | -79 |
| +150 cm | 0.02 | -3.00 | -99 | -0.09 | -85 |
| +200 cm | 0.00 | -3.02 | -100 | -0.02 | -91 |

iii. *Tringa totanus*

a. Evolução da área dos EI da Core Area (50%)

Tabela D-22 - Evolução da Área de Raso de Maré da Core Area (50%) da Espécie *Tringa totanus* face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas agrícolas e artificializadas

| RASO DE MARÉ | | | | | |
|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------------|
| Cenário Inundação | Área Total (km ²) | Var. Global (km ²) | Var. Global (%) | Var. Gradual (km ²) | Var. Gradual (%) |
| Referência | 1.56 | | | | |
| +50 cm | 2.92 | 1.36 | 87 | 1.36 | 87 |
| +100 cm | 2.78 | 1.22 | 78 | -0.14 | -5 |
| +150 cm | 2.89 | 1.33 | 85 | 0.11 | 4 |
| +200 cm | 2.87 | 1.30 | 84 | -0.02 | -1 |

Tabela D-23 - Evolução da Área de Baixo Sapal da Core Area (50%) da Espécie *Tringa totanus* face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas agrícolas e artificializadas

| BAIXO SAPAL | | | | | |
|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------------|
| Cenário Inundação | Área Total (km ²) | Var. Global (km ²) | Var. Global (%) | Var. Gradual (km ²) | Var. Gradual (%) |
| Referência | 1.19 | | | | |
| +50 cm | 0.39 | -0.80 | -67 | -0.80 | -67 |
| +100 cm | 0.29 | -0.90 | -76 | -0.10 | -27 |
| +150 cm | 0.08 | -1.11 | -94 | -0.21 | -74 |
| +200 cm | 0.02 | -1.17 | -98 | -0.06 | -73 |

Tabela D-24 - Evolução da Área de Alto Sapal da Core Area (50%) da Espécie *Tringa totanus* face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas agrícolas e artificializadas

| ALTO SAPAL | | | | | |
|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------------|
| Cenário Inundação | Área Total (km ²) | Var. Global (km ²) | Var. Global (%) | Var. Gradual (km ²) | Var. Gradual (%) |
| Referência | 0.78 | | | | |
| +50 cm | 0.42 | -0.35 | -46 | -0.35 | -46 |
| +100 cm | 0.12 | -0.65 | -84 | -0.30 | -71 |
| +150 cm | 0.03 | -0.75 | -96 | -0.09 | -78 |
| +200 cm | 0.00 | -0.78 | -100 | -0.03 | -97 |

Tabela D-25 - Evolução da Área de Raso de Maré da Core Area (50%) da Espécie *Tringa totanus* face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas agrícolas

| RASO DE MARÉ | | | | | |
|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------------|
| Cenário Inundação | Área Total (km ²) | Var. Global (km ²) | Var. Global (%) | Var. Gradual (km ²) | Var. Gradual (%) |
| Referência | 1.56 | | | | |
| +50 cm | 2.97 | 1.41 | 91 | 1.41 | 91 |
| +100 cm | 2.83 | 1.27 | 81 | -0.14 | -5 |
| +150 cm | 2.94 | 1.38 | 89 | 0.11 | 4 |
| +200 cm | 2.90 | 1.34 | 86 | -0.04 | -2 |

Tabela D-26 - Evolução da Área de Baixo Sapal da Core Area (50%) da Espécie *Tringa totanus* face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas agrícolas

| BAIXO SAPAL | | | | | |
|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------------|
| Cenário Inundação | Área Total (km ²) | Var. Global (km ²) | Var. Global (%) | Var. Gradual (km ²) | Var. Gradual (%) |
| Referência | 1.19 | | | | |
| +50 cm | 0.40 | -0.79 | -66 | -0.79 | -66 |
| +100 cm | 0.29 | -0.80 | -76 | -0.11 | -27 |
| +150 cm | 0.08 | -1.11 | -93 | -0.21 | -72 |
| +200 cm | 0.02 | -1.17 | -98 | -0.06 | -73 |

Tabela D-27 - Evolução da Área de Alto Sapal da Core Area (50%) da Espécie *Tringa totanus* face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas agrícolas

| ALTO SAPAL | | | | | |
|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------------|
| Cenário Inundação | Área Total (km ²) | Var. Global (km ²) | Var. Global (%) | Var. Gradual (km ²) | Var. Gradual (%) |
| Referência | 0.78 | | | | |
| +50 cm | 0.43 | -0.34 | -44 | -0.34 | -44 |
| +100 cm | 0.13 | -0.65 | -83 | -0.30 | -70 |
| +150 cm | 0.03 | -0.75 | -96 | -0.10 | -78 |
| +200 cm | 0.00 | -0.78 | -100 | -0.03 | -97 |

b. Evolução da área dos EI do *Home Range* (95%)

Tabela D-28 - Evolução da Área de Raso de Maré do *Home Range* (95%) da Espécie *Tringa totanus* face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas agrícolas e artificializadas

| RASO DE MARÉ | | | | | |
|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------------|
| Cenário Inundação | Área Total (km ²) | Var. Global (km ²) | Var. Global (%) | Var. Gradual (km ²) | Var. Gradual (%) |
| Referência | 28.90 | | | | |
| +50 cm | 30.55 | 1.65 | 6 | 1.65 | 6 |
| +100 cm | 21.18 | -7.73 | -27 | -9.38 | -31 |
| +150 cm | 14.55 | -14.35 | -50 | -6.62 | -31 |
| +200 cm | 12.42 | -16.48 | -57 | -2.13 | -15 |

Tabela D-29 - Evolução da Área de Baixo Sapal do Home Range (95%) da Espécie *Tringa totanus* face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas agrícolas e artificializadas

| BAIXO SAPAL | | | | | |
|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------------|
| Cenário Inundação | Área Total (km ²) | Var. Global (km ²) | Var. Global (%) | Var. Gradual (km ²) | Var. Gradual (%) |
| Referência | 4.14 | | | | |
| +50 cm | 1.34 | -2.80 | -68 | -2.80 | -68 |
| +100 cm | 0.84 | -3.31 | -80 | -0.50 | -38 |
| +150 cm | 0.21 | -3.93 | -95 | -0.62 | -74 |
| +200 cm | 0.09 | -4.05 | -98 | -0.12 | -57 |

Tabela D-30 - Evolução da Área de Alto Sapal do Home Range (95%) da Espécie *Tringa totanus* face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas agrícolas e artificializadas

| ALTO SAPAL | | | | | |
|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------------|
| Cenário Inundação | Área Total (km ²) | Var. Global (km ²) | Var. Global (%) | Var. Gradual (km ²) | Var. Gradual (%) |
| Referência | 3.38 | | | | |
| +50 cm | 1.24 | -2.14 | -63 | -2.14 | -63 |
| +100 cm | 0.37 | -3.01 | -89 | -0.87 | -70 |
| +150 cm | 0.14 | -3.24 | -96 | -0.23 | -61 |
| +200 cm | 0.08 | -3.31 | -98 | -0.07 | -47 |

Tabela D-31 - Evolução da Área de Raso de Maré do Home Range (95%) da Espécie *Tringa totanus* face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas agrícolas

| RASO DE MARÉ | | | | | |
|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------------|
| Cenário Inundação | Área Total (km ²) | Var. Global (km ²) | Var. Global (%) | Var. Gradual (km ²) | Var. Gradual (%) |
| Referência | 28.90 | | | | |
| +50 cm | 30.61 | 1.72 | 6 | 1.72 | 6 |
| +100 cm | 21.22 | -7.68 | -27 | -9.39 | -31 |
| +150 cm | 14.64 | -14.25 | -49 | -6.58 | -31 |
| +200 cm | 12.58 | -16.32 | -56 | -2.07 | -14 |

Tabela D-32 - Evolução da Área de Baixo Sapal do Home Range (95%) da Espécie *Tringa totanus* face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas agrícolas

| BAIXO SAPAL | | | | | |
|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------------|
| Cenário Inundação | Área Total (km ²) | Var. Global (km ²) | Var. Global (%) | Var. Gradual (km ²) | Var. Gradual (%) |
| Referência | 4.14 | | | | |
| +50 cm | 1.35 | -2.80 | -67 | -2.80 | -67 |
| +100 cm | 0.88 | -3.27 | -79 | -0.47 | -35 |
| +150 cm | 0.27 | -3.87 | -93 | -0.60 | -69 |
| +200 cm | 0.12 | -4.03 | -97 | -0.16 | -57 |

Tabela D-33 - Evolução da Área de Alto Sapal do Home Range (95%) da Espécie *Tringa totanus* face à subida do NMM para um cenário de preservação das áreas agrícolas

| ALTO SAPAL | | | | | |
|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------------|
| Cenário Inundação | Área Total (km ²) | Var. Global (km ²) | Var. Global (%) | Var. Gradual (km ²) | Var. Gradual (%) |
| Referência | 3.38 | | | | |
| +50 cm | 1.33 | -2.05 | -61 | -2.05 | -61 |
| +100 cm | 0.47 | -2.91 | -86 | -0.86 | -65 |
| +150 cm | 0.18 | -3.20 | -95 | -0.29 | -61 |
| +200 cm | 0.10 | -3.28 | -97 | -0.08 | -44 |