

Carbono Azul



FUNDAÇÃO
CALOUSTE GULBENKIAN

RELATÓRIO CIENTÍFICO I

Avaliação dos ecossistemas
de carbono azul
em Portugal continental

RELATÓRIO CIENTÍFICO I

Avaliação dos ecossistemas de carbono azul em Portugal continental

Rui Santos

Paula Ito

Carmen B. de los Santos

Índice

Lista de abreviaturas	06
Lista de unidades e conversões	07
Lista de tabelas	08
Lista de figuras	09
<hr/>	
I. Enquadramento	12
II. Sumário	13
III. Âmbito e Objetivos	16
IV. Metodologia	19
4.1 Sistemas estudados	19
4.2 Compilação de informação sobre carbono azul	19
4.3 Stocks e taxas de sequestro de carbono	26
4.4 Estatutos de proteção, ameaças, conservação e partes interessadas	29
4.5 Mapas e fichas técnicas de cada sistema	30
V. Resultados	31
5.1 Compilação de dados	31
5.2 Mapeamento dos ecossistemas de carbono azul	32
5.3 Dados de carbono azul	35
5.4 Qualidade dos dados	39
5.5 Estimativas de armazenamento e sequestro de carbono	40
5.6 Estatutos de proteção	45
5.7 Qualidade ambiental e ameaças	47
5.8 Medidas de intervenção	49
VI. Bibliografia	52



Lista de abreviaturas

ANP WWF	Associação Natureza Portugal em associação com a WWF
APA	Agência Portuguesa do Ambiente
C	Carbano
CO₂	Dióxido de carbono
DL	Decreto-Lei
ECA	Ecosistemas de carbono azul
FCG	Fundação Calouste Gulbenkian
ICNF	Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas
OC	Carbano orgânico (pelas suas siglas em inglês)
OM	Matéria orgânica (pelas suas siglas em inglês)
PF	Peso fresco
PN	Parque Natural
PS	Peso seco
RJCNB	Regime Jurídico da Conservação da Natureza e da Biodiversidade
RN	Reserva Natural
RNAP	Rede Nacional de Áreas Protegidas
SIC	Sítio de Importância Comunitária
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
WoS	<i>Web of Knowledge</i>
ZPE	Zona de Proteção Especial

Lista de unidades e conversões

cm³	Centímetro cúbico
g	Gramma
ha	Hectare (1 ha = 10 000 m ²)
kg	Quilograma
m²	Metro quadrado
Mg	Megagrama (1 Mg = 1 000 kg = 1 tonelada métrica)
Gg	Gigagrama (1 Gg = 1 000 Mg = 1 000 toneladas métricas)

Lista de tabelas

Tabela 1.

Campos incluídos na tabela de atributos das camadas vetoriais de informação geográfica.

Tabela 2.

Categorias de qualidade dos dados geográficos. A qualidade de extração considerou a qualidade de extração dos dados e a qualidade da metodologia considerou a qualidade da metodologia utilizada na obtenção dos dados geográficos pelos autores originais.

Tabela 3.

Variáveis compiladas para as estimativas do carbono armazenado na vegetação dos ecossistemas de carbono azul. PS: peso seco.

Tabela 4.

Variáveis compiladas para as estimativas do carbono armazenado e sequestrado no sedimento dos ecossistemas de carbono azul. PS: peso seco. OC: carbono orgânico.

Tabela 5.

Categorias da qualidade de dados em cada sistema, que foram definidas para cada nível de informação (dados geográficos ou áreas, dados de vegetação e dados de sedimento) para cada sistema.

Tabela 6.

Relações usadas para as estimativas de conteúdo em carbono orgânico (OC) no sedimento a partir de medidas de matéria orgânica (OM) nos diferentes tipos de ecossistemas. Fonte: Howard et al. (2014).

Tabela 7.

Informação relevante do protocolo PRISMA durante o processo de pesquisa de dados de interesse em cada um dos sistemas de estudo.

Tabela 8.

Área ocupada pelos ecossistemas de carbono azul, ervas marinhas e sapal, em cada um dos sistemas de estudo em Portugal continental.

Tabela 9.

Disponibilidade de dados para os cálculos de stocks e taxas de sequestro de carbono no sedimento em cada um dos sistemas de estudo.

Tabela 10.

Stock de carbono armazenado nos dois ecossistemas de carbono azul – ervas marinhas e sapal, em cada um dos sistemas de estudo.

Tabela 11.

Taxa de sequestro de carbono orgânico no sedimento estimado nos dois ecossistemas de carbono azul – ervas marinhas e sapal, em cada um dos sistemas de estudo.

Tabela 12.

Estatutos de proteção presentes nos sistemas com ecossistemas de carbono azul em Portugal continental. SIC: Sítio de Importância Comunitária, ZPE: Zona de Proteção Especial, RNAP: Rede Nacional de Áreas Protegidas. DL: Decreto-Lei.

Lista de figuras

Figura 1.

Exemplos de ecossistemas de carbono azul em Portugal:

- A) pradaria de ervas marinhas subtidais;
- B) pradaria de ervas marinhas intertidais durante a maré baixa;
- C) sapal baixo durante a maré baixa;
- D) sapal médio e alto.

Fotografias: © Rui Santos

Figura 2.

Processos de acumulação de carbono na biomassa e sedimento dos ecossistemas de carbono azul – ervas marinhas e sapal.

Figura 3.

Localização dos sistemas estudados, mostrando as figuras de proteção em cada um deles: Rede Natura 2000 (ZPE e SIC), Rede Nacional de Áreas Protegidas (PN e RN) e da Convenção de Ramsar.

Figura 4.

Esquema do fluxo de trabalho utilizado na pesquisa de informação, de acordo com o protocolo PRISMA.

Figura 5.

Distribuição dos registos identificados e incluídos nas bases de dados de áreas, vegetação e sedimento, para cada sistema de estudo.

Figura 6. Área ocupada pelos dois ecossistemas de carbono azul – ervas marinhas e sapal, em Portugal continental.

Figura 7.

Área ocupada pelos dois ecossistemas de carbono azul – ervas marinhas e sapal, em cada um dos sistemas de estudo em Portugal continental.

Figura 8.

Área de sapal (ha e % do total) em cada um dos sistemas de estudo em Portugal continental.

Figura 9.

Área de ervas marinhas (ha e % do total) em cada um dos sistemas de estudo em Portugal continental.

Figura 10.

Biomassa epígea (aérea) e hipógea (subterrânea) nos dois ecossistemas de carbono azul – ervas marinhas e sapal, no conjunto de todos os sistemas de estudo. O valor médio está representado com o símbolo +.

Figura 11.

Conteúdo em carbono na biomassa epígea (aérea) e hipógea (subterrânea) nos dois ecossistemas de carbono azul – ervas marinhas e sapal, no conjunto de todos os sistemas de estudo. O valor médio está representado com o símbolo +.

Figura 12.

Número de valores compilados para a biomassa epígea (aérea) e hipógea (subterrânea), e o conteúdo em carbono nos ecossistemas de carbono azul – ervas marinhas e sapal, em cada um dos sistemas de estudo em Portugal continental. Não se encontraram nenhuns dados de vegetação para os sistemas Lagoa de Óbidos, Ria de Alvor e Estuário do Arade, pelo que não foram representados no gráfico.

Figura 13.

Número de sistemas por cada categoria de qualidade dos dados (numa escala de 0 a 3) nos três níveis (área, vegetação e sedimento) para cada tipo de ecossistemas de carbono azul, ervas marinhas e sapal.

Figura 14.

Qualidade dos dados (numa escala de 0 a 3) nos três níveis (área, vegetação e sedimento) para cada tipo de ecossistemas de carbono azul – ervas marinhas e sapal, nos sistemas de estudo.

Figura 15.

Stock de carbono na biomassa da vegetação e no sedimento dos ecossistemas de carbono azul – ervas marinhas e sapal, em Portugal continental.

Figura 16.

Stock de carbono dos ecossistemas de carbono azul – ervas marinhas e sapal, em cada um dos sistemas de estudo.

Figura 17.

Stock de carbono nas pradarias de ervas marinhas de cada um dos sistemas de estudo, ordenados do maior para o menor pela sua contribuição ao stock total das ervas marinhas (%).

Figura 18.

Stock de carbono nos sapais de cada um dos sistemas de estudo da costa portuguesa, ordenados por ordem descendente da sua contribuição para o stock total do sapal (%).

Figura 19.

Taxa de sequestro de carbono orgânico no sedimento dos dois ecossistemas de carbono azul – ervas marinhas e sapal, em cada um dos sistemas de estudo.

Figura 20.

Taxa de sequestro de carbono orgânico no sedimento das pradarias de ervas marinhas em cada um dos sistemas de estudo, ordenados por ordem descendente da sua contribuição para o sequestro total das ervas marinhas (%).

Figura 21.

Taxa de sequestro de carbono orgânico no sedimento do sapal em cada um dos sistemas de estudo, ordenados por ordem descendente da sua contribuição para o sequestro total do sapal (%).

Figura 22.

Número de massas de água e estado ecológico (baseado em elementos biológicos) em cada um dos sistemas de estudo.

Figura 23.

Número de massas de água dos sistemas de estudo ameaçadas por diferentes categorias de pressões humanas, em todos os sistemas de estudo.

I. Enquadramento

Por ocasião da Conferência do Oceano das Nações Unidas, que decorreu em Lisboa em junho de 2022, a Fundação Calouste Gulbenkian lançou o projeto Gulbenkian Carbono Azul, em parceria com o Centro de Ciências do Mar (CCMAR) da Universidade do Algarve e a Associação Natureza Portugal em associação com a WWF – *World Wide Fund for Nature* (ANP|WWF), com o objetivo de investigar as informações disponíveis para mapear os ecossistemas marinhos e costeiros em Portugal continental que têm o potencial de sequestrar dióxido de carbono da atmosfera – os ecossistemas de carbono azul. Esta investigação científica, feita de norte a sul do país, caracteriza os ecossistemas (localização, áreas de distribuição, estado ambiental, reservas e taxas de sequestro de carbono, entre outras características) e propõe medidas adequadas de proteção e restauro.

Desta forma, a Fundação Calouste Gulbenkian visa destacar o potencial dos ecossistemas de carbono azul para contribuir para a redução de emissões de gases com efeito de estufa no combate às alterações climáticas e para a descarbonização da economia em Portugal, enquanto fornecem cobenefícios como o suporte da biodiversidade ou a melhoria da qualidade da água das zonas costeiras. Ambiciona ainda, através do presente relatório científico, dividido em dois volumes, divulgar o estado da arte nesta área, esclarecendo em que ponto estamos ao nível da investigação científica dos ecossistemas de carbono azul em território português.

A disponibilização desta informação às organizações governamentais e do setor privado visa encorajar o investimento na conservação e restauro ecológicos destes habitats marinhos e costeiros, através do financiamento de projetos de carbono azul nas áreas identificadas. Tal financiamento permitirá não só aprofundar o nível de conhecimento científico existente sobre estes ecossistemas costeiros e marinhos, mas também criar as bases para a integração de projetos de carbono azul no mercado voluntário de carbono em Portugal.

Este é um passo vital para alcançar os objetivos definidos para a conservação e sustentabilidade do oceano pela União Europeia no âmbito da missão “Restaurar os nossos oceanos e águas até 2030” e pelas Nações Unidas no âmbito da Década das Ciências do Oceano para o Desenvolvimento Sustentável (2021-2030). É também essencial para concretizar a Estratégia Nacional de Conservação da Natureza e Biodiversidade e a Estratégia Nacional para o Mar 2021-2030, e para promover o combate à crise climática e a proteção da biodiversidade, compromissos globais assumidos no Acordo de Paris de 2015 e no Quadro Global de Biodiversidade Kunming-Montreal de 2022.

II. Sumário

No âmbito do projeto Gulbenkian Carbono Azul da Fundação Calouste Gulbenkian (FCG), coligiu-se toda a informação disponível sobre a distribuição, as figuras de proteção, as ameaças e a conservação dos ecossistemas de carbono azul (ECA) dos principais sistemas estuarino-lagunares da costa continental de Portugal e criou-se uma base de dados que inclui todas as variáveis relevantes para a estimativa dos reservatórios e das taxas de sequestro de carbono. Este trabalho pretende evidenciar as lacunas que terão de ser suplantadas para a avaliação fiável do carbono azul em Portugal, constituir a base de referência para o delineamento e a implementação de futuros projetos de compensação de emissões de CO₂ e contribuir para a apreciação da inclusão dos ECA no inventário nacional de emissões de gases de efeito de estufa.

Este sumário relata as conclusões e recomendações mais importantes que resultaram da avaliação dos ECA dos 10 maiores sistemas estuarino-lagunares da costa continental portuguesa: a Ria de Aveiro, o Estuário do Mondego, a Lagoa de Óbidos, o Estuário do Tejo, o Estuário do Sado, o Estuário do Mira, a Ria de Alvor, o Estuário do Arade, a Ria Formosa e Estuário do Guadiana. Está dividido em seções que genericamente seguem a estrutura do trabalho:

i) **Informação disponível**

- Os ECA em Portugal continental são constituídos por 86% de sapal e 14% de pradarias de ervas marinhas.
- Os dados disponíveis para calcular o armazenamento de carbono azul em Portugal continental são escassos ou, quando existentes, estão desatualizados e incompletos. Consequentemente, as estimativas dos stocks de carbono azul apresentadas neste relatório são muito pouco precisas e devem de ser usadas com muita precaução.
- O único sistema para o qual foram estimadas taxas de sequestro de carbono dos ECA foi a Ria Formosa, pelo que os cálculos realizados para os outros sistemas usam estes valores. Consequentemente, as taxas de sequestro de carbono dos outros sistemas dependem apenas das áreas ocupadas pelos ECA nesses sistemas, sendo por isso muito pouco fiáveis.

ii) Estimativa dos stocks e taxas de sequestro de carbono

- É crucial investir em investigação focada na obtenção de dados específicos sobre os reservatórios e as taxas de sequestro de carbono dos ECA de cada sistema estuarino-lagunar de Portugal continental, para se poderem obter estimativas mais fiáveis.
- Estima-se que o stock total de carbono nos ECA de Portugal continental seja de 845 Gg, com 87% armazenado nas áreas de sapal (733 Gg) e 13% nas pradarias de ervas marinhas (113 Gg).
- A Ria Formosa, a Ria de Aveiro e o Estuário do Tejo contêm 89% do stock de carbono dos sapais de Portugal continental, enquanto 75% do stock de carbono das ervas marinhas está localizado na Ria Formosa.
- A taxa de sequestro de carbono dos ECA de Portugal continental foi estimada em 3 717 Mg por ano, sendo que o sapal contribui com 79% do total (2 930 Mg ano⁻¹) e as pradarias de ervas marinhas com 21% (787 Mg ano⁻¹).

iii) Estado de conservação dos ECA

- Cinco dos dez sistemas estuarino-lagunares de Portugal continental que foram avaliados não fazem parte da Rede Nacional de Áreas Protegidas, dois não fazem parte da Rede Natura 2000, e quatro não estão reconhecidos como zonas húmidas de importância internacional pela Convenção de Ramsar. Um dos sistemas não tem nenhum destes estatutos de proteção.
- O estado ecológico das 37 massas de água dos sistemas de estudo, aferido pela Agência Portuguesa do Ambiente em 2019 com base em elementos biológicos, foi maioritariamente *Razoável* (49%) ou *Bom* (32%). Apenas uma massa de água foi avaliada com *Excelente*. Cinco massas de água foram avaliadas com *Medíocre* e uma com *Mau*.
- As massas de água dos sistemas de estudo encontram-se sob a pressão de atividades humanas, maioritariamente relacionadas com o desenvolvimento costeiro e turístico, que levam à poluição e alteração da costa através de intervenções e construções costeiras. A introdução de espécies exóticas aparece como um problema em um terço dos sistemas.
- A perda histórica de área coberta por ECA em Portugal continental foi calculada em 33% para os sapais e 10% para as ervas marinhas. A estimativa de perda de ervas marinhas está seguramente subavaliada por haver registos históricos de grandes áreas ocupadas por ervas marinhas que não foram quantificadas.

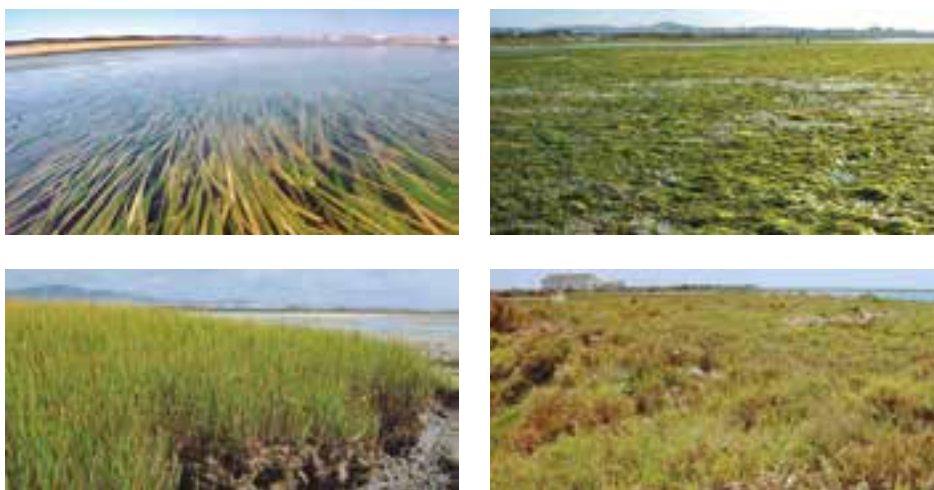
iii) **Recomendações**

- Recomenda-se a implementação de medidas específicas de proteção dos ECA de cada sistema estuarino-lagunar da costa portuguesa para evitar o seu declínio, como, por exemplo, designação de novas áreas protegidas ou a regulamentação das atividades humanas que os ameaçam. A proteção é a medida mais efetiva de conservação, já que o restauro de ECA degradados pode demorar muito tempo.
- Existem poucas intervenções de restauro de sapal em Portugal. No entanto, o restauro a grande escala de sapal deve ser prioritário, uma vez que cobre áreas maiores, historicamente teve maiores perdas e é uma zona mais acessível e menos influenciada por condições hidrodinâmicas adversas do que as ervas marinhas. Para além disso, o restauro de áreas de sapal em outros países tem tido sucesso.
- Existem poucas intervenções de restauro de ervas marinhas em Portugal e as que foram feitas são de pequena escala e tiveram sucesso reduzido, em grande parte devido a pressões ambientais (tempestades, herbivoria, espécies invasoras).
- É necessário investir no desenvolvimento de metodologias mais eficazes de restauro de ervas marinhas e que não danifiquem as populações naturais utilizadas como dadoras de transplantes. Recomenda-se o cultivo de ervas marinhas em sistemas seminaturais onde o fluxo hidrodinâmico e outros parâmetros ambientais possam ser controlados para otimizar a sua produção para ações de restauro de populações naturais (transplantes e sementes) e a obtenção de co-benefícios associados, como por exemplo o sequestro de carbono ou o suporte de biodiversidade.
- É necessário fazer o levantamento nacional das áreas costeiras de domínio público marítimo, artificializadas e inativas, onde historicamente existiram sapal e ervas marinhas, à semelhança do que foi efetuado pela APA para os sistemas estuarino-lagunares do Algarve. Estas áreas são prioritárias para a implementação de projetos de restauro de larga escala de ECA, potencialmente financiáveis por projetos de compensação carbónica.

III. Âmbito e Objetivos do Relatório

Carbono azul é o termo utilizado para designar o carbono capturado e armazenado pelos ecossistemas marinhos e costeiros do mundo (Nellemann et al., 2009), i.e., refere-se à quantidade de dióxido de carbono (CO_2) que é removido da atmosfera e é armazenado na forma de biomassa das plantas dos ecossistemas costeiros, ou na forma de matéria orgânica refratária armazenada no sedimento dos ecossistemas costeiros por centenas ou milhares de anos. Esta capacidade de sequestro de carbono significa que as zonas costeiras fornecem uma solução singular baseada na natureza para mitigar as alterações climáticas, uma vez que reduzem a concentração de CO_2 na atmosfera, que é um dos gases com efeito estufa responsável pelas alterações climáticas. Os mangais, as pradarias marinhas e os sapais são os ecossistemas costeiros atualmente reconhecidos com maior potencial para a mitigação do aumento de CO_2 na atmosfera. Em Portugal, os ecossistemas de carbono azul (ECA) incluem os sapais e as pradarias de ervas marinhas, já que o mangal apenas se desenvolve em zonas tropicais (**Figura 1**).

Figura 1. Exemplos de ecossistemas de carbono azul em Portugal



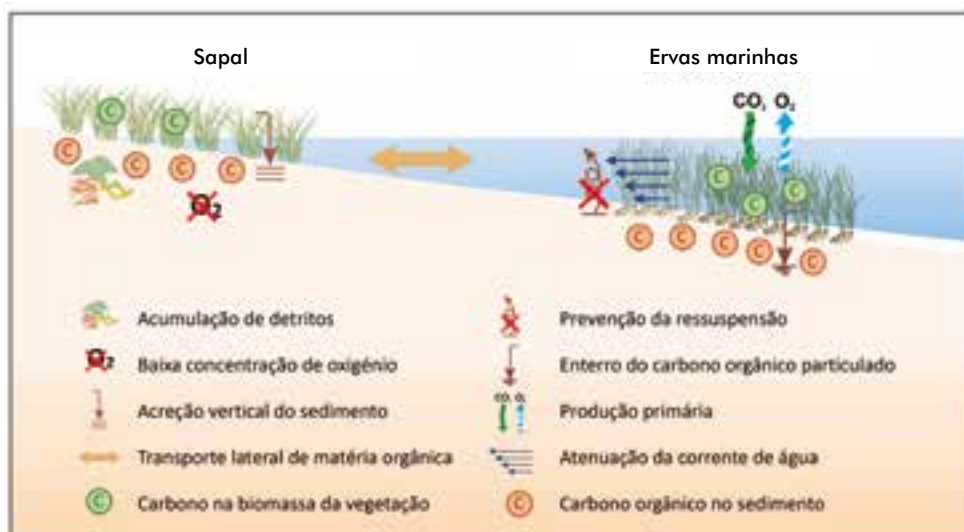
© Rui Santos

- ↖ Pradaria de ervas marinhas subtidais
- ↙ Sapal baixo durante a maré baixa

- ↗ Pradaria de ervas intertidais durante a maré baixa
- ↘ Sapal médio e alto

A capacidade dos ECA de capturar e armazenar grandes quantidades de carbono está relacionada com o facto de serem sistemas com elevada produtividade, ou seja, com taxas elevadas de fotossíntese que absorve CO_2 produzindo a matéria orgânica que constitui as folhas, os ramos, as raízes e os rizomas da vegetação. A biomassa viva é um dos reservatórios (stocks) de carbono orgânico, e pode ser epígea (biomassa aérea) ou hipógea (biomassa subterrânea). O outro, de muito maior dimensão no caso dos sapais e das ervas marinhas, é o reservatório da matéria orgânica que se acumula no sedimento e não é decomposta por fungos e bactérias, o que resultaria na produção de CO_2 . As condições anóxicas ou hipóxicas (ou seja, com pouca ou baixa concentração de oxigénio), observadas nos sedimentos dos ECA, fazem com que a decomposição da matéria orgânica seja mais lenta, limitando a emissão de CO_2 de volta para a atmosfera (**Figura 2**). Por outro lado, as pradarias de sapal e de ervas marinhas atenuam as correntes, reduzindo a ressuspensão de sedimentos finos e promovendo a sedimentação de matéria orgânica alóctone transportada na coluna de água, o que resulta numa contínua acreção vertical de sedimento e de carbono orgânico (**Figura 2**).

Figura 2. Processos de acumulação de carbono na biomassa e sedimento dos ecossistemas de carbono azul, o sapal e as ervas marinhas.



Fonte dos símbolos: IAN Symbol libraries, Integration and Application Network.

Apesar de ocuparem áreas muito menores a nível global do que as florestas terrestres, os ECA sequestram carbono no seu sedimento a uma taxa até 40 vezes mais rápida do que os solos das florestas (Ouyang & Lee, 2014). Este carbono fica estabilizado nos sedimentos por centenas ou mesmo milhares de anos (Duarte et al., 2005; McLeod et al., 2011), enquanto o stock de carbono das florestas pode ser libertado para a atmosfera pelos incêndios. Durante o século XX, o fogo diminuiu o sequestro global de carbono pelos ecossistemas terrestres em cerca de $1,0 \text{ Pg C ano}^{-1}$ (Li et al., 2014).

Pela sua capacidade de absorção e retenção de carbono, os ECA da costa portuguesa poderão integrar as estratégias nacionais para alcançar a neutralidade carbónica até 2050 (APA, 2019), bem como complementar o sequestro de carbono pelas florestas terrestres para efeitos do inventário nacional de emissões de gases de efeito de estufa, no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas (UNFCCC). Embora Portugal tenha reconhecido recentemente o papel destes habitats na mitigação das alterações climáticas (Lei n.º 98/2021 de 31 de dezembro, Lei de Bases do Clima), falta informação de base sobre os stocks e as taxas de sequestro dos ECA portugueses.

Este trabalho, elaborado no âmbito do projeto Carbono Azul da Fundação Calouste Gulbenkian (FCG), e do qual a ANP|WWF (Associação Natureza Portugal), em associação com a WWF também é parceira, visa coligir e analisar toda a informação disponível sobre os ECA dos principais sistemas estuarino-lagunares da costa continental de Portugal, de modo a se poder avaliar a qualidade da informação disponível e as lacunas sobre os stocks e as taxas de sequestro de carbono, bem como as medidas de proteção e de restauro dos ECA que possam ser usadas para projetos de compensação de emissões de CO₂ para a atmosfera, nomeadamente os da FCG.

Neste relatório, apresentam-se as metodologias utilizadas, os resultados e as conclusões obtidas no que respeita: 1) à identificação, ao mapeamento e à caracterização dos ECA nos principais sistemas estuarino-lagunares de Portugal continental; 2) aos dados disponíveis para estimar os stocks e as taxas de sequestro; e 3) às ameaças e medidas de intervenção, de conservação e de restauro dos ECA de cada sistema. Foram elaboradas fichas técnicas para todos os sistemas avaliados, que incluem toda a informação coligida e que se apresentam no “Relatório Científico II: Os 10 principais ecossistemas de carbono azul em Portugal continental”.

IV. Metodologia

4.1 Sistemas estudados

Os ecossistemas de carbono azul (ECAs) que se desenvolvem nas zonas estuarinas e lagunares da costa continental portuguesa incluem as pradarias subtidais de ervas marinhas das espécies *Zostera marina* L. e *Cymodocea nodosa* (Ucria) Asch., as pradarias intertidais da erva marinha *Zostera noltei* Hornem e os sapais, que se desenvolvem na zona intertidal acima de *Z. noltei*. As principais espécies que constituem os sapais estão listadas no “Relatório Científico II: Os 10 principais ecossistemas de carbono azul em Portugal continental”. Não foram consideradas neste trabalho as pradarias aquáticas do género *Ruppia*, que se desenvolvem em águas salobras.

Os principais sistemas estuarinos e lagunares da costa de Portugal continental que albergam ECAs e que foram objeto deste estudo são a Ria de Aveiro, o Estuário do Mondego, a Lagoa de Óbidos, o Estuário do Tejo, o Estuário do Sado, o Estuário do Mira, a Ria de Alvor, o Estuário do Arade, a Ria Formosa e o Estuário do Guadiana (**Figura 3**).

4.2 Compilação de informação sobre carbono azul

4.2.1 Revisão sistemática e tipos de informação

A identificação e o mapeamento dos ECAs e as estimativas dos seus stocks e taxas de sequestro de carbono foram realizados com base numa revisão sistemática de toda a informação publicada na literatura científica bem como de outras fontes de informação não publicadas.

Definiram-se três níveis de informação que foram alvo de revisão sistemática:

Nível 1: Dados geográficos

Inclui todos os dados históricos de distribuição dos ECAs em cada sistema estudado, nomeadamente informação georreferenciada em formato vetorial (polígonos) ou *raster* e informação não georreferenciada de áreas de ocupação.

- ZPE Zona de Proteção Especial
- SIC Sítio de Importância Comunitária
- PN Parque Natural
- RN Reserva Natural
- R Ramsar



Figura 3. Localização dos sistemas estudados, mostrando as figuras de proteção em cada um deles: Rede Natura 2000 (ZPE e SIC), Rede Nacional de Áreas Protegidas (PN e RN) e da Convenção de Ramsar.

Nível 2: Vegetação

Integra todos os dados obtidos sobre a biomassa da vegetação, incluindo as seguintes variáveis: a densidade de biomassa (epígea, hipógea ou total), o conteúdo em carbono nos tecidos das plantas (folhas, ramos, rizomas e raízes) e as estimativas já existentes de stocks de biomassa ou de carbono da vegetação.

Nível 3: Sedimento

Integra todos os dados disponíveis sobre o sedimento, nomeadamente as seguintes variáveis: o conteúdo de carbono orgânico ou de matéria orgânica no sedimento e a taxa de acumulação do sedimento; os stocks de carbono (nível 3A); e as taxas de sequestro de carbono (nível 3B).

As variáveis integradas nas bases de dados que resultam destes níveis de revisão sistemática são necessárias para estimar os stocks e taxas de sequestro de carbono dos ECAs de cada sistema e os stocks e taxas de sequestro totais de cada sistema.

A revisão sistemática da informação de interesse para os três níveis seguiu o protocolo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses; Page et al., 2021), que se desenvolve em 3 etapas: identificação, triagem e inclusão dos dados (**Figura 4**). Na fase de identificação, consultou-se a base de dados Web of Science (WoS, www.webofknowledge.com) no dia 4 de julho de 2022, extraindo-se todos os registos de documentos com informação sobre os sistemas em estudo. Foi usado o algoritmo de pesquisa: [(“seagrass” OR “saltmarsh” OR “salt marsh” OR “sapal” OR “ervas marinhas”) AND (“nome do sistema”)], sendo o “nome do sistema”: “Aveiro”, “Arade”, “Castro Marim” OR “Guadiana”, “Mira”, “Mondego”, “Óbidos”, “Alvor”, “Ria Formosa”, “Sado”, e “Tejo” OR “Tagus”. Foram pesquisados quaisquer tipos de documentos (artigos em jornais e conferências), de qualquer ano e língua. Além das fontes obtidas através do WoS, foram também usadas outras fontes de informação conhecidas dos autores do relatório ou de outros investigadores nacionais que foram contactados.

Do total de registos compilados (WoS + outras fontes), foram excluídos aqueles a que não foi possível ter acesso ao documento original, bem como os registos duplicados. Na fase de triagem, cada registo foi consultado, excluindo-se os que não tratavam dos sistemas de estudo ou dos ECAs, bem como aqueles que não incluíam informação relevante para, pelo menos, um dos três níveis de interesse. Os registos resultantes foram avaliados para elegibilidade, excluindo-se os dados não originais, os dados com unidades não válidas, os dados experimentais, os dados que não se podiam recuperar ou extrair, os dados repetidos em outros registos, os dados completados em outro estudo e os dados de pouca qualidade. Finalmente, na fase de inclusão, contabilizou-se o total de estudos incluídos na revisão e os dados de interesse foram extraídos e armazenados em três bases de dados, uma para cada nível (**Figura 4**).

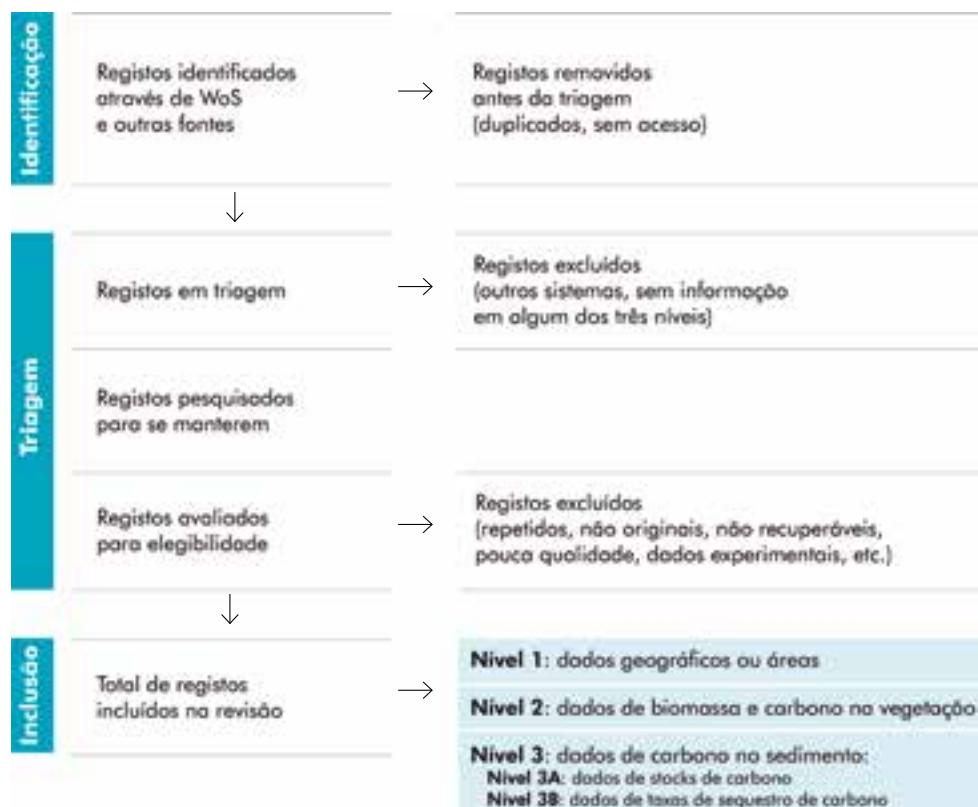


Figura 4. Esquema do fluxo de trabalho utilizado na pesquisa de informação, de acordo com o protocolo PRISMA.

Dos documentos compilados para cada sistema, foi extraída informação sobre os ECA e as espécies vegetais que os compõem. Os nomes das espécies incluídos neste relatório foram atualizados de acordo com a base de dados Plants of the World Online (POWO) do Jardim Botânico Real de Kew (<https://powo.science.kew.org>). No “Relatório Científico II: Estudo dos 10 ecossistemas de carbono azul em Portugal continental”, apresenta-se a correspondência entre os nomes científicos referidos na bibliografia e os nomes atuais.

4.2.2 Extração e standardização de dados geográficos

Foram compilados dois tipos de dados de informação geográfica sobre os ECAs: a) informação espacial explícita em forma vetorial, ou seja, polígonos de presença georreferenciados; e b) informação quantitativa sobre áreas de ocupação. Quando necessário, a informação espacial que não se encontrava originalmente em formato vetorial, mas em *raster*, foi extraída e georreferenciada num Sistema de Informação Geográfica (SIG). Toda a informação espacial em formato vetorial foi standardizada para o sistema de referência de coordenadas ETRS 89/PT-TM06

(EPSG: 3763), com uma tabela de atributos com campos de interesse para metadados e outro tipo de informação (**Tabela 1**), e foi guardada em formato *geopackage*.

A qualidade de extração dos dados geográficos e a da metodologia de mapeamento foi classificada em 4 categorias, de 0 a 3 (**Tabela 2**), que foram incluídas na tabela de atributos (**Tabela 1**). Os critérios usados para a classificação estão enunciados na **Tabela 2**. Foi definida então a categoria final da qualidade dos dados (qualidade final), calculada pela soma dos dois índices anteriores (qualidade extração + qualidade metodologia), cujos valores variam entre 0 e 6 (**Tabela 1**).

Tabela 1. Campos incluídos na tabela de atributos das camadas vetoriais de informação geográfica

Nome do campo	Descrição
ID	Identificador único do elemento
Fonte ID	Identificador único da fonte de informação
Ano	Ano da observação ou mapeamento
Sistema	Sistema de estudo
Classe ECA	Classificação ECA: erva marinha (intertidal, subtidal ou desconhecida) ou sapal (baixo, médio, alto ou desconhecido)
Espécie	Nome da(s) espécie(s) presente(s), se conhecida(s)
Fonte dados	Tipo de fonte de dado (original, derivada ou desconhecida)
Qualidade extração	Qualidade da extração de dados
Qualidade metodologia	Qualidade da metodologia de mapeamento
Qualidade final	Categoria final de qualidade (soma da qualidade extração com a qualidade metodologia)
Área	Área em hectares, calculada no SIG
Notas	Notas adicionais (opcional)

Tabela 2. Categorias de qualidade dos dados geográficos. A qualidade de extração considerou a qualidade de extração dos dados e a qualidade da metodologia considerou a qualidade da metodologia utilizada na obtenção dos dados geográficos pelos autores originais.

Categoria	Qualidade de extração	Qualidade da metodologia
0	Inadquirível	Desconhecida ou desenho manual
1	Falta de detalhes, com poucos pontos para georreferenciar	Imagens aéreas ou de satélite sem validação dos dados
2	Pontos de georreferenciação suficientes para uma boa extração	Trabalho de campo com georreferenciação direta
3	Extração precisa e/ou dados fornecidos diretamente do autor ou produto	Imagens aéreas ou de satélite com validação dos dados

A base de dados final para o nível 1 – dados geográficos incluiu a informação das áreas de ocupação de cada ECA, quer obtida a partir dos dados vetoriais (polígonos) quer da informação quantitativa direta, incluindo os metadados (sistema, ano de observação, tipo de ECA – ervas marinhas ou sapal –, espécies incluídas, e se a área reportada é a área total ou parcial desse ECA nesse sistema). Para cada sistema, foi selecionada a área reportada mais recentemente e uma área histórica de referência, para fazer uma estimativa grosseira das alterações das áreas dos ECA a nível nacional.

4.2.3 Extração e standardização de dados de vegetação

A informação extraída dos registos identificados para o nível 2 – vegetação inclui as variáveis relacionadas com a biomassa e o conteúdo em carbono nos tecidos vegetais (**Tabela 3**). Quando necessário, utilizou-se o software *WebPlotDigitalizer* (Rohatgi, 2022) para extração dos dados apresentados nas figuras das fontes de informação. Os dados foram standardizados para peso seco (PS) (**Tabela 3**). Também foram extraídos dados de conteúdo de carbono (em unidades de % PS) nos diferentes tecidos das plantas (folhas, ramos, raízes e rizomas). Os dados compilados foram acompanhados de informação sobre o sistema, o tipo de ECA, a(s) espécie(s) e ano de amostragem. Os dados finais apresentados nas fichas técnicas de cada sistema (Relatório Científico II: Os 10 principais ecossistemas de carbono azul em Portugal continental) representam o valor médio, sempre que houver mais do que um valor disponível.

Tabela 3. Variáveis compiladas para as estimativas do carbono armazenado na vegetação dos ecossistemas de carbono azul. PS: peso seco.

Nome da variável	Unidades de medida
Biomassa epígea de vegetação	g PS m ⁻²
Biomassa hipógea de vegetação	g PS m ⁻²
Biomassa total de vegetação	g PS m ⁻²
Stock de biomassa por área	Mg PS ha ⁻¹
Stock de biomassa total	Mg PS
Conteúdo em carbono em tecido vegetal	% PS
Stock de carbono na biomassa	Mg C ha ⁻¹

4.2.4 Extração e standardização de dados de sedimento

A informação extraída dos registos identificados para o nível 3 – sedimento inclui as variáveis geoquímicas necessárias para os cálculos de stocks e de sequestro de carbono no sedimento (**Tabela 4**). Quando necessário, utilizou-se o software *WebPlotDigitalizer* (Rohatgi, 2022) para extração dos dados apresentados nas figuras das fontes de informação. Os dados compilados foram acompanhados do sistema de estudo, do tipo de ECA, da(s) espécie(s), ano de amostragem e da profundidade do sedimento na qual foram medidas as variáveis. Quando um estudo apresentou dados de stock ou de taxas de sequestro para um mesmo local ou ecossistema, a média e o desvio padrão foram calculados. Os dados finais apresentados nas fichas técnicas de cada sistema (Relatório Científico II: Os 10 principais ecossistemas de carbono azul em Portugal continental) representam o valor médio sempre que houver mais do que um valor disponível.

Tabela 4. Variáveis compiladas para as estimativas do carbono armazenado e sequestrado no sedimento dos ecossistemas de carbono azul. PS: peso seco. OC: carbono orgânico.

Nome da variável	Unidades de medida
Densidade do sedimento	g PS cm ⁻³
Conteúdo em carbono orgânico do sedimento	% PS
Conteúdo em matéria orgânica do sedimento	% PS
Stock de carbono orgânico no sedimento	Mg OC ha ⁻¹
Taxa de acumulação do sedimento (linear)	mm ano ⁻¹
Taxa de sequestro de carbono orgânico no sedimento	g OC m ⁻² ano ⁻¹

Os dados no nível 3 – sedimento foram resumidos em dois níveis de interesse, os dados de stocks de carbono (nível 3A) e os dados de taxas de sequestro de carbono (nível 3B). Verificou-se que a informação disponível sobre as taxas de sequestro de carbono dos ECA na costa continental portuguesa é extremamente deficitária, sendo que os únicos dados disponíveis foram obtidos nas ervas marinhas subtidais (pradarias mistas de *Z. marina* e *C. nodosa*) e intertidais (*Z. noltei*), e no sapal inferior (*S. maritimus*) da Ria Formosa.

4.2.5 Qualidade dos dados em casa sistema

Para cada sistema de estudo, compilou-se a informação extraída numa base de dados e identificaram-se as variáveis em falta para as estimativas do stock de carbono azul na vegetação e no sedimento. Tendo em conta a qualidade dos dados disponíveis, a atualidade dos mesmos (consideraram-se dados antigos aqueles de há mais de 5 anos, ou seja, anteriores a 2018) e a deficiência ou não de dados, classificou-se cada sistema numa categoria de 0 a 3 (**Tabela 5**). A partir destas tabelas, criou-se uma lista de dados que serão precisos obter em cada sistema para melhorar a qualidade das estimativas de carbono azul.

Tabela 5. Categorias da qualidade de dados em cada sistema, que foram definidas para cada nível de informação (dados geográficos ou áreas, dados de vegetação e dados de sedimento) para cada sistema.

Categoria	Descrição
0	Não existem dados para este sistema
1	Existem alguns dados, mas estão incompletos ou são de pouca qualidade (metodologia pouco precisa) para fazer as estimativas
2	Existem dados completos, mas são pouco representativos ou antigos (< 2018)
3	Existem dados completos, representativos e atuais (\geq 2018)

4.3 Stocks e taxas de sequestro de carbono

4.3.1 Stocks de carbono na vegetação

O carbono armazenado na biomassa da vegetação (SV) foi calculado como a soma dos stocks de carbono de cada componente da vegetação com a componente epígea (aérea) e a componente hipógea (subterrânea) (**Equação 1**).

$$\text{Equação 1. } SV = BE \times CE/100 + BH \times CH/100$$

Onde SV é o stock de carbono na vegetação (Mg C ha^{-1}), BE a biomassa epígea (Mg PS ha^{-1}), CE o conteúdo em C da biomassa epígea (% PS), BH a biomassa hipógea (Mg PS ha^{-1}) e CH o conteúdo em C da biomassa hipógea (% PS).

Quando os dados originais de biomassa de ervas marinhas se encontraram expressos em unidades de peso fresco (PF), foi aplicado o fator de conversão de 0,15 (Phillips e McRoy, 1990) para obter o peso seco (PS). De forma semelhante, quando os dados originais de biomassa se encontraram expressos em unidades de peso seco livre de cinzas, foi aplicado um fator de conversão de 2 para obter o peso seco (Martins & Bandeira, 2001).

O stock de carbono total na biomassa da vegetação (SVT, Mg C) para cada ECA em cada um dos sistemas foi obtido como o produto da área ocupada por esse ECA (A, ha) e o valor estimado de stock por unidade de área (SV, Mg C ha^{-1}) (**Equação 2**).

$$\text{Equação 2. } SVT = A \times SV$$

Quando possível, o stock de carbono na biomassa foi calculado para várias classes de ECA (sapal baixo, sapal médio, sapal alto; ervas marinhas intertidais, ervas marinhas subtidais) ou por espécie, que foram somadas para obter o stock de carbono desse ECA no sistema. No caso de não haver dados de densidade de biomassa ou de conteúdo em carbono para um ECA de um determinado sistema, foram usados os valores disponíveis para o sistema mais próximo.

4.3.2 Stocks de carbono no sedimento

O carbono orgânico (OC) armazenado no sedimento foi calculado, sempre que possível, considerando uma camada de 1 m do sedimento, em unidades de megagramas de carbono orgânico por hectare (Mg OC ha⁻¹). Nos casos em que não há dados disponíveis até esta profundidade, apresentam-se os valores considerando apenas a profundidade disponível, que se refere nos mapas e tabelas produzidas.

Nos casos em que o conteúdo em carbono no sedimento não foi medido, mas a matéria orgânica foi, usaram-se as relações carbono orgânico / matéria orgânica apresentadas na **Tabela 6** para obter as estimativas.

Tabela 6. Relações usadas para as estimativas de conteúdo em carbono orgânico (OC) no sedimento a partir de medidas de matéria orgânica (OM) nos diferentes tipos de ecossistemas. Fonte: Howard et al. (2014).

Tipo de ECA	Relação
Sapal	$OC (\% PS) = 0,40 * OM + 0,0025 * OM^2 (R^2 = 0,98)$
Ervas marinhas	$OC (\% PS) = 0,43 * OM - 0,33 (R^2 = 0,96)$

O stock de carbono no sedimento por unidade de área (SS, g C cm⁻³) foi calculado como a soma do produto da densidade do sedimento seco (D, g PS cm⁻³), com o conteúdo em carbono orgânico no sedimento (OC, % PS) e a espessura da amostra de sedimento (G, cm) ao longo das camadas do sedimento amostrado (**Equação 3**).

Equação 3. $SS = \sum (D \times OC \times G)$

O stock de carbono total no sedimento (SST, Mg C) foi obtido como o produto da área ocupada pelo ECA (A, ha) e do valor estimado de stock por unidade de área considerando uma profundidade de 1 m (SS, Mg C ha⁻¹) (**Equação 4**).

Equação 4. $SST = A \times SS$

Quando possível, o stock de carbono no sedimento foi calculado para várias classes de ECA (sapal baixo, sapal médio, sapal alto; ervas marinhas intertidais, ervas marinhas subtidais) ou por espécie, que foram somadas para obter o stock de carbono desse ECA no sistema. No caso de não haver dados da densidade e do conteúdo em carbono do sedimento para um ECA de um determinado sistema, foram usados os valores disponíveis para o sistema mais próximo.

4.3.3. Stocks totais de carbono

Os stocks totais de carbono azul em cada ECA e em cada sistema foram estimados com um modelo aditivo simples de dois compartimentos: biomassa e sedimento. O stock total (**Equação 5**) foi calculado como o produto da área de ECA (A, ha) e da soma dos stocks de sedimento (SS, Mg OC ha⁻¹) e vegetação (SV, Mg OC ha⁻¹) obtidos nas secções 4.3.1 e 4.3.2.

Equação 5. **ST = A x (SV + SS) = SST + SSV**

Considerou-se a área mais recente de cada ECA, que foi obtida na compilação de dados do nível 1. Quando existiam dados para o mesmo ano, mas de fontes de informação diversas, utilizou-se a que foi obtida com a metodologia mais precisa.

4.3.4 Taxas de sequestro no sedimento

As taxas de sequestro de carbono orgânico no sedimento (TS) em cada ECA e em cada sistema foram compiladas diretamente das fontes de informação, e standardizadas a unidades de g OC m⁻² ano⁻¹.

A taxa anual total de sequestro de carbono orgânico no sedimento (TTS, Mg C ano⁻¹) para cada ECA em cada um dos sistemas foi obtida através do produto da área ocupada por esse ECA (A, ha) e do valor da taxa por unidade de área (TS, g OC m⁻² ano⁻¹) (**Equação 6**).

Equação 6. **TTS = A x TS/100**

Quando possível, o stock de carbono no sedimento foi calculado para várias classes de ECA (sapal baixo, sapal médio, sapal alto; ervas marinhas intertidais, ervas marinhas subtidais) ou por espécie, que foram somadas para obter o stock de carbono desse ECA no sistema. No caso de não haver dados de taxa de sequestro de carbono orgânico para um ECA de um sistema, foram usados os valores disponíveis para o sistema mais próximo.

4.4 Estatutos de proteção, ameaças, conservação e partes interessadas

Os estatutos de proteção considerados ao nível nacional foram os da Rede Nacional de Áreas Protegidas (RNAP), com qualquer das tipologias definidas pelo Regime Jurídico da Conservação da Natureza e da Biodiversidade (RJCNB): Parque Nacional, Parque Natural, Reserva Natural, Paisagem Protegida e Monumento Natural. Ao nível europeu, foram consideradas as áreas que integram a rede Natura 2000, que compreende as áreas classificadas como Zonas Especiais de Conservação (ZEC) ao abrigo da Diretiva Habitats e as áreas classificadas como Zonas de Proteção Especial (ZPE) ao abrigo da Diretiva Aves. Foram também consideradas áreas classificadas ao abrigo de compromissos internacionais, nomeadamente os Sítios Ramsar da Convenção sobre as Zonas Húmidas (Secretariado da Convenção de Ramsar, 1971). A informação sobre as áreas protegidas foi obtida nos sites do Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF, <https://www.icnf.pt>), da Convenção sobre as Zonas Húmidas ou Convenção de Ramsar (<https://www.ramsar.org/>) e do Sistema Europeu de Informação sobre a Natureza (EUNIS; <https://eunis.eea.europa.eu/>) da Agência Europeia do Ambiente. Para cada área classificada, foi compilada a seguinte informação: o estatuto de proteção, o ano de designação, a referência da designação, a extensão (em hectares) da área classificada e os limites para uso em SIG. Ao nível de espécie, foram consideradas as categorias de proteção definidas pelo Convenção de Berna (Conselho da Europa, 1979), a Lista Vermelha de Flora Vasculares de Portugal Continental (Carapeto et al., 2020) e a Convenção OSPAR (Comissão OSPAR, 1992).

A avaliação da qualidade ambiental e das ameaças nos sistemas de estudo e respetivos ECA foi baseada nos relatórios de qualidade ambiental da Agência Portuguesa do Ambiente (APA) e nos documentos científicos compilados na revisão sistemática. Relativamente à qualidade das massas de água que formam parte dos sistemas de estudo, foi compilada informação dos Planos de Gestão de Região Hidrográfica mais recentes em cada região, relativos ao 3.º Ciclo, 2022-2027 (<https://www.apambiente.pt/node/1598>), que respondem aos requisitos da Diretiva-Quadro da Água (DQA).

A revisão de intervenções de conservação passadas ou em curso foi realizada mediante pesquisas na internet, incluindo sites de instituições académicas, associações, jornais nacionais e outras fontes. A lista das partes interessadas locais identificadas em cada sistema foi elaborada a partir da informação encontrada nas fontes de informação consultadas e do conhecimento dos autores do relatório. Esta lista inclui instituições locais de qualquer tipo (públicas ou privadas, académicas, empresariais, de carácter associativo, etc.) que podem ou devem ser envolvidas ou contactadas para as intervenções de conservação propostas nas fichas técnicas.

4.5 Mapas e fichas técnicas de cada sistema

Para cada sistema, criaram-se mapas com a informação disponível de distribuição dos ECA, incluindo dados geográficos de diferentes anos ou fontes de informação. A base dos mapas produzidos foi uma ortoimagem de Portugal Continental de 2018, com resolução de 25 centímetros, cedida pela Direção-Geral do Território (DGT). Com os dados mais recentes de cada ECA, criaram-se mapas adicionais sobrepondo os limites das figuras de proteção em cada sistema.

A informação compilada e as estimativas feitas foram integradas numa *ficha técnica* para cada sistema (Relatório Científico II: Os 10 principais ecossistemas de carbono azul em Portugal continental). Estas fichas incluem as seguintes secções: localização geográfica, tipo de ECA, estatutos de proteção, área total de cada ECA, estimativas de stocks e taxas de sequestro de carbono, qualidade ambiental e ameaças, intervenções de conservação, partes interessadas locais e bibliografia. Na secção de intervenções de conservação, foram incluídas propostas de intervenção considerando a informação compilada, o conhecimento e a experiência dos autores do relatório.

V. Resultados

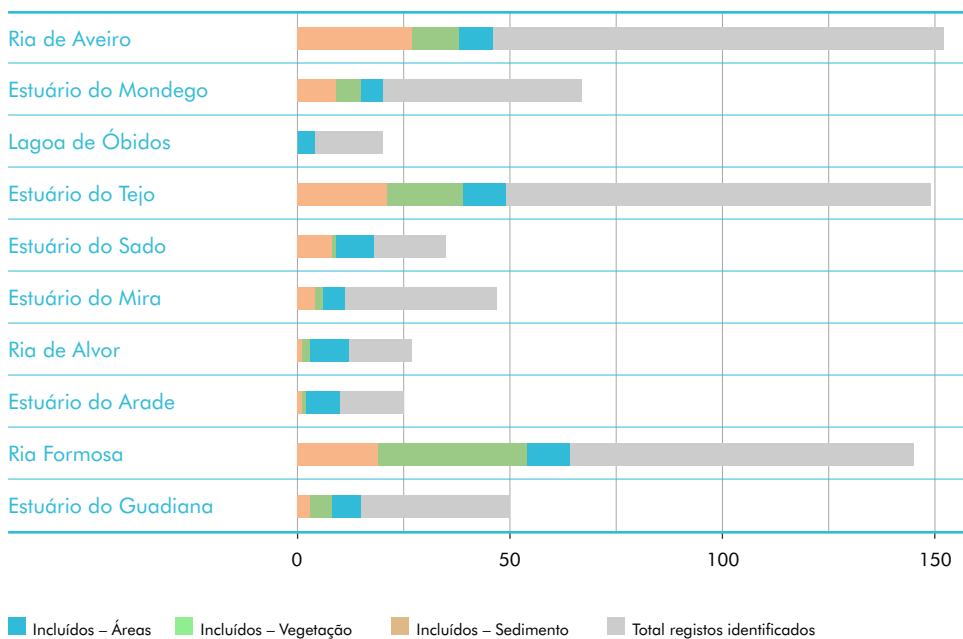
5.1. Compilação de dados

Foram compilados um total de 717 documentos entre todos os sistemas, sendo que apenas 75 continham dados de áreas, 82 de vegetação e 92 de sedimento (**Tabela 7, Figura 5**). A distribuição de registos pelos sistemas não foi equilibrada, sendo a Ria de Aveiro, o Estuário do Tejo e a Ria Formosa os sistemas com maior quantidade de informação disponível (**Tabela 7, Figura 5**). A Lagoa de Óbidos foi o sistema com menor quantidade de informação disponível.

Tabela 7. Informação relevante do protocolo PRISMA durante o processo de pesquisa de dados de interesse em cada um dos sistemas de estudo.(dados geográficos ou áreas, dados de vegetação e dados de sedimento) para cada sistema.

Sistema	Registos identificados (WoS)	Registos identificados (outras fontes)	Registos incluídos na categoria "áreas"	Registos incluídos na categoria "vegetação"	Registos incluídos na categoria "sedimento"
Ria de Aveiro	142	10	8	11	27
Estuário do Mondego	50	17	5	6	9
Lagoa de Óbidos	2	18	4	0	0
Estuário do Tejo	132	17	10	18	21
Estuário do Sado	18	17	9	1	8
Estuário do Mira	32	15	5	2	4
Ria de Alvor	2	25	9	2	1
Estuário do Arade	2	23	8	1	1
Ria Formosa	128	17	10	36	18
Estuário do Guadiana	36	14	7	5	3
TOTAL	544	173	75	82	92

Figura 5. Distribuição dos registos identificados e incluídos nas bases de dados de áreas, de vegetação e de sedimento, para cada sistema de estudo.



5.2 Mapeamento dos ecossistemas de carbono azul

Com base nos dados mais recentes obtidos para cada sistema, estima-se que exista uma área total de 11 724 ha de ECA em Portugal continental, sendo 86% de sapal (10 040 ha) e 14% de ervas marinhas (1 684 ha) (**Tabela 8, Figura 6**). A Ria Formosa é o sistema com maior área de ECA, com um total de 4 604 ha, seguida da Ria de Aveiro (3 681 ha), do Estuário do Tejo (1 830 ha) e do Estuário do Sado (1 060 ha) (**Tabela 8, Figura 7**).

A Ria Formosa e a Ria de Aveiro são os sistemas onde se concentra a maior área de sapal de Portugal continental (35% e 34%, respetivamente), seguidos do Estuário do Tejo (18%) e do Estuário do Sado (8%) (**Tabela 8, Figura 8**). Os restantes sistemas apresentam áreas de sapal que contribuem com 1% ou menos, para a área total estimada. Relativamente às pradarias de ervas marinhas, é na Ria Formosa que existe a maior área de Portugal (67% do total), seguida da Ria de Aveiro e do Estuário do Sado (13% em cada), e do estuário do Tejo (4%). Nos restantes sistemas, a área de pradarias é 1% do total ou menos (**Tabela 8, Figura 9**).

A maioria dos levantamentos dos ECA de Portugal foram realizados antes de 2018, pelo que se consideram desatualizados, e as técnicas de mapeamento usadas e a sua precisão são muito variáveis (informação compilada, mas que não se mostra no relatório). Consequentemente, os valores fornecidos neste relatório devem ser utilizados com cautela. Os mapas com a distribuição espacial e a evolução temporal das áreas de ocupação dos ECA encontram-se nas fichas técnicas (Relatório Científico II: Os 10 principais ecossistemas de carbono azul em Portugal continental).

Tabela 8. Área ocupada pelos ecossistemas de carbono azul, ervas marinhas e sapal, em cada um dos sistemas de estudo em Portugal continental.

Sistema	Área de sapal (ha)	% Sapal sobre o total	Área de ervas marinhas (ha)	% Ervas marinhas sobre o total	Área total (sapal + ervas marinhas) (ha)	% sobre o total
Ria de Aveiro	3 455	34%	226	13%	3 681	31%
Estuário do Mondego	54	1%	15	1%	69	1%
Lagoa de Óbidos	15	< 0,1%	1	< 0,1%	17	< 0,1%
Estuário do Tejo	1 763	18%	67	4%	1 830	16%
Estuário do Sado	839	8%	221	13%	1 060	9%
Estuário do Mira	125	1%	15	1%	139	1%
Ria de Alvor	72	1%	3	< 0,1%	75	1%
Estuário do Arade	118	1%	< 0,1	< 0,1%	118	1%
Ria Formosa	3 473	35%	1 131	67%	4 604	39%
Estuário do Guadiana	127	1%	5	< 0,1%	132	1%
TOTAL	10 039	86%	1 684	14%	11 724	100%

Figura 6. Área ocupada pelos dois ecossistemas de carbono azul – ervas marinhas e sapal, em Portugal continental.

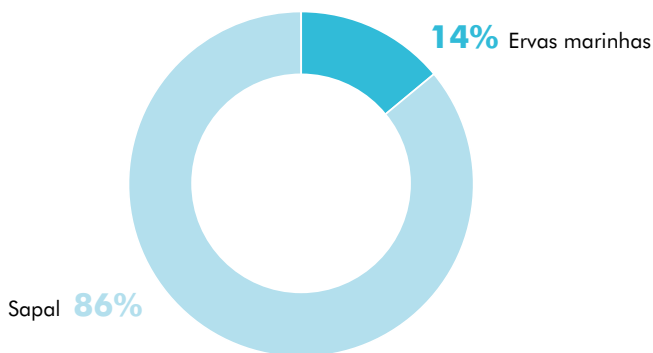


Figura 7. Área ocupada pelos dois ecossistemas de carbono azul – ervas marinhas e sapal, em cada um dos sistemas de estudo em Portugal continental.

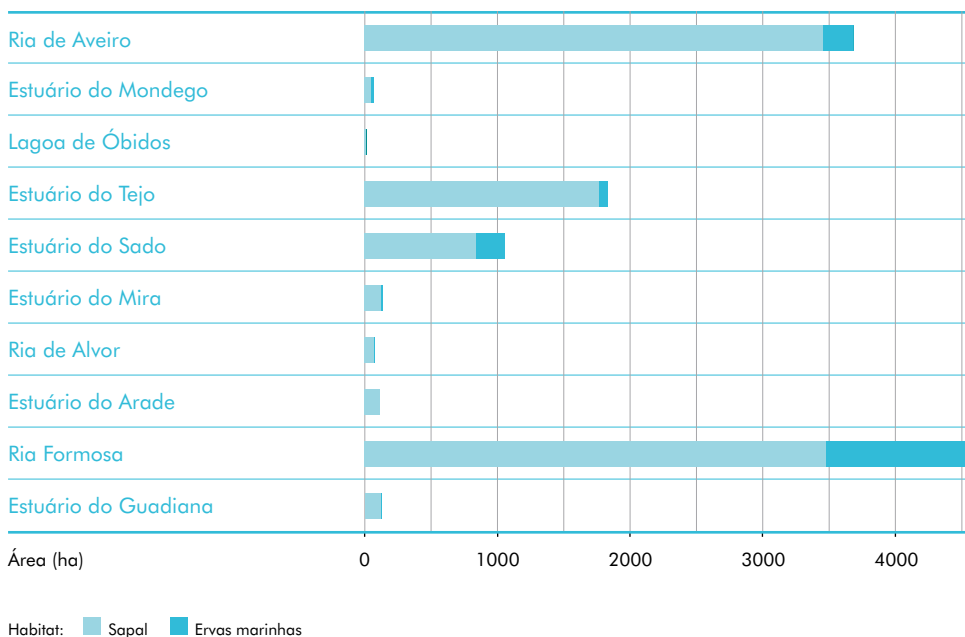


Figura 8. Área de sapal (ha e % do total) em cada um dos sistemas de estudo em Portugal continental.

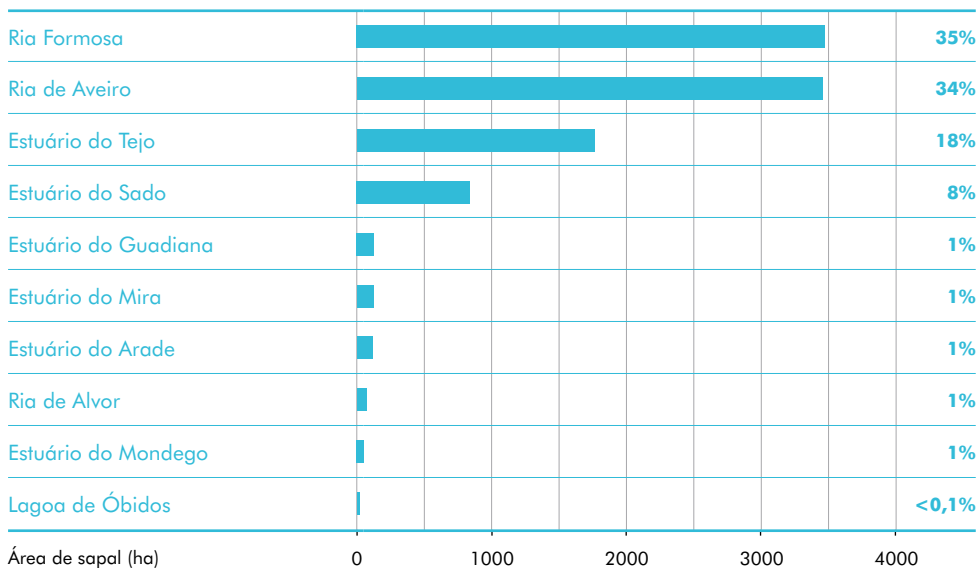
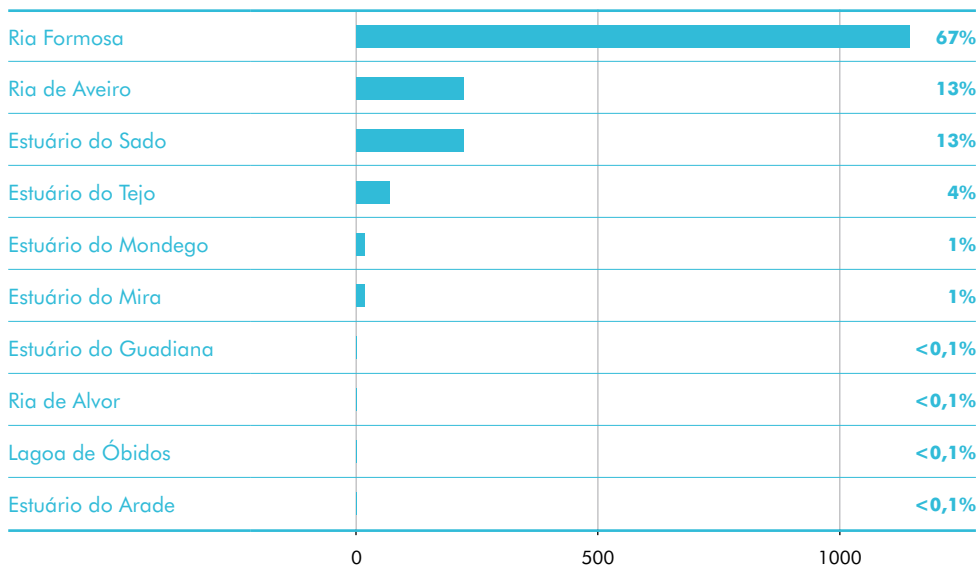


Figura 9. Área de ervas marinhas (ha e % do total) em cada um dos sistemas de estudo em Portugal continental.



5.3 Dados de carbono azul

5.3.1 Dados de vegetação

Compilaram-se um total de 505 valores de biomassa para o sapal e 525 para as ervas marinhas (**Figura 10**), e 79 valores de conteúdo em carbono para o sapal e 219 para as ervas marinhas (**Figura 11**). A biomassa epígea média (\pm SD) de sapal em Portugal é 814 ± 949 g PS m^{-2} e 1608 ± 1588 g PS m^{-2} na parte hipógea. A biomassa média de ervas marinhas é 166 ± 164 g PS m^{-2} na parte epígea e 182 ± 163 g PS m^{-2} na parte hipógea (**Figura 10**). O conteúdo em carbono variou menos entre as duas componentes, com valores médios de $39 \pm 5\%$ e de $35 \pm 8\%$ nos tecidos epígeos e hipógeos do sapal, respetivamente, e de $39 \pm 3\%$ e de $37 \pm 4\%$ nos tecidos epígeos e hipógeos das ervas marinhas, respetivamente (**Figura 11**).

Figura 10. Biomassa epígea (aérea) e hipógea (subterrânea) nos dois ecossistemas de carbono azul – ervas marinhas e sapal, no conjunto de todos os sistemas de estudo. O valor médio está representado pelo símbolo +.

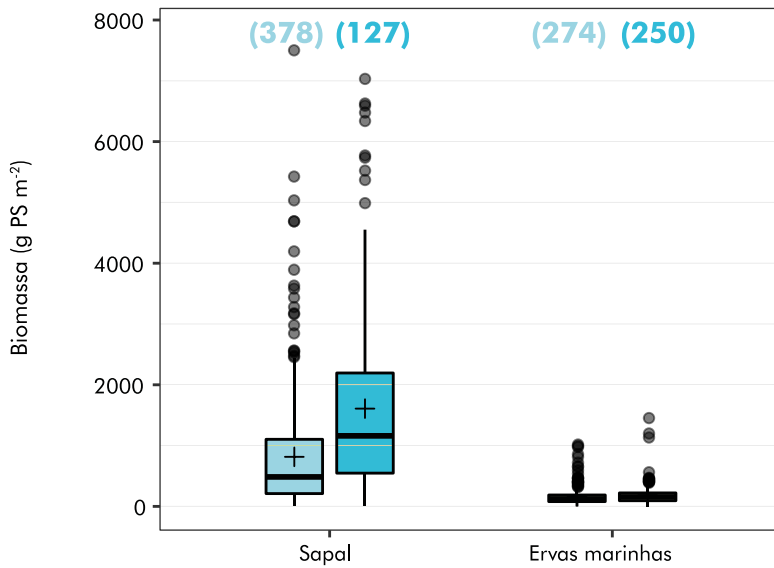
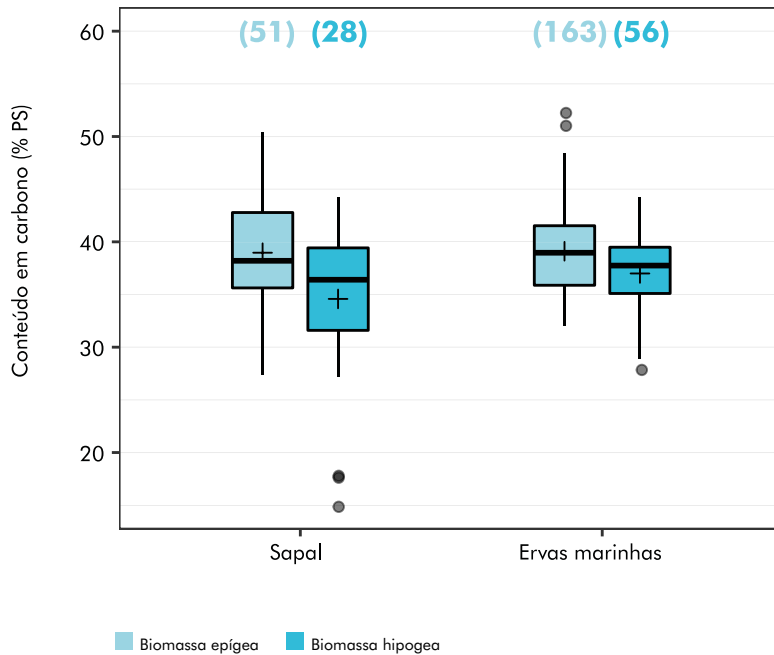


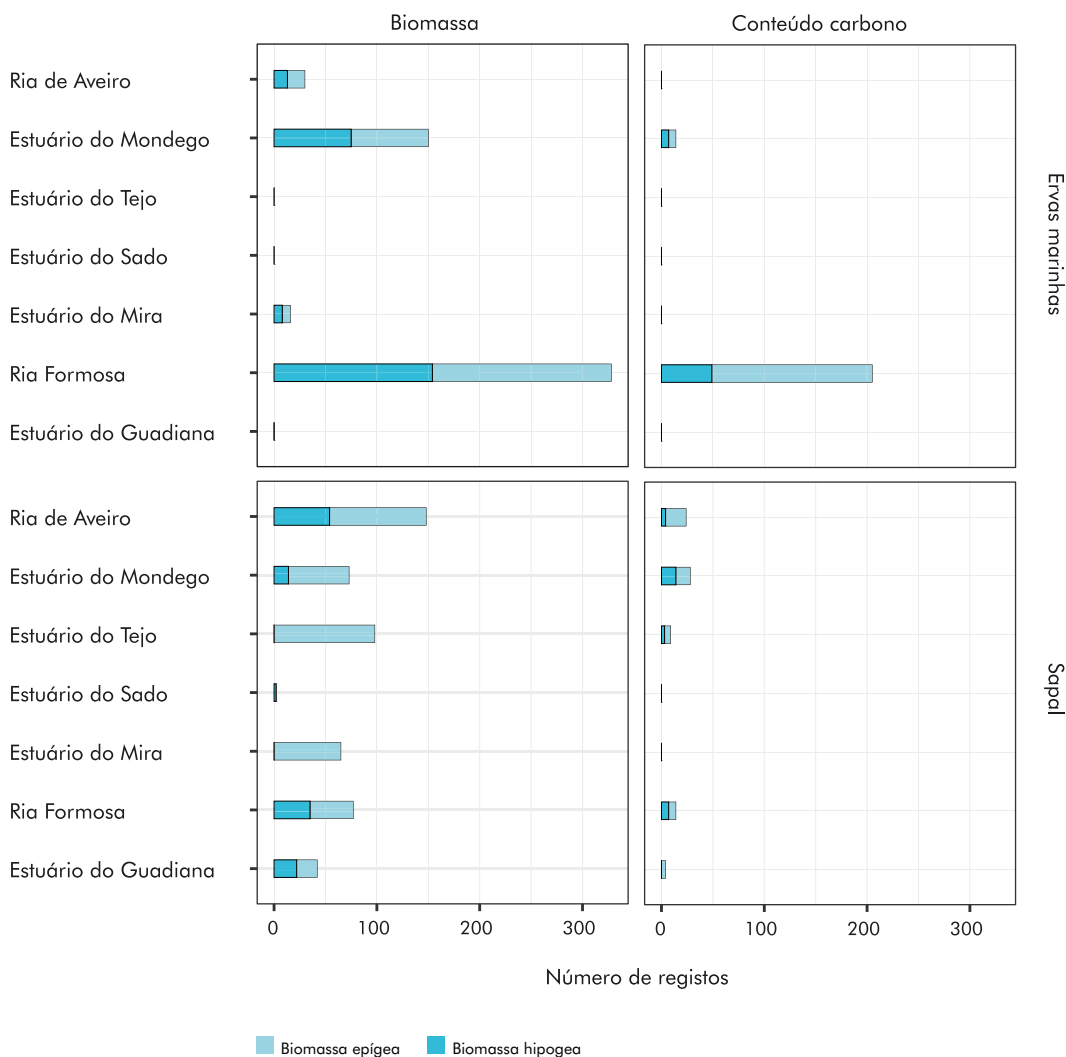
Figura 11. Conteúdo em carbono na biomassa epígea (aérea) e hipógea (subterrânea) nos dois ecossistemas de carbono azul – ervas marinhas e sapal, no conjunto de todos os sistemas de estudo. O valor médio está representado pelo símbolo +.



■ Biomassa epígea ■ Biomassa hipógea

A disponibilidade de dados variou bastante entre as diferentes espécies de sapal e de ervas marinhas e entre os diferentes sistemas de estudo, sendo que para três deles não se encontraram dados de vegetação (Lagoa de Óbidos, Ria de Alvor e Estuário do Arade; **Figura 12**). Por esta razão, as estimativas de carbono azul tiveram de ser muitas vezes feitas com os dados de outros sistemas, escolhendo-se o sistema mais próximo onde havia dados disponíveis.

Figura 12. Número de valores compilados para a biomassa epígea (aérea) e hipógea (subterrânea), e o conteúdo em carbono nos ecossistemas de carbono azul – ervas marinhas e sapal, em cada um dos sistemas de estudo em Portugal continental. Não se encontraram nenhuns dados de vegetação paraos sistemas Lagoa de Óbidos, Ria de Alvor e Estuário do Arade, pelo que não foram representados no gráfico.



5.3.2 Dados de sedimento

Foram compilados dados de matéria orgânica ou de conteúdo em carbono orgânico para a maioria dos sistemas (ver detalhes nas fichas técnicas, Relatório Científico II: Os 10 principais ecossistemas de carbono azul em Portugal continental). No entanto, estes dados não estavam acompanhados da densidade do sedimento, que é necessária para calcular os stocks de carbono orgânico. Apenas a Ria de Aveiro e a Ria Formosa apresentaram dados completos de stocks de carbono no sedimento de sapal e de ervas marinhas, incluindo para diferentes níveis de zonação ou espécies do sapal e para diferentes espécies de ervas marinhas (**Tabela 9**).

Os dados de taxas de sequestro de carbono são ainda mais deficientes. Se bem que se encontraram dados de taxas de sedimentação em alguns sistemas (ver detalhes nas fichas técnicas, Relatório Científico II: Os 10 principais ecossistemas de carbono azul em Portugal continental), não foi possível estimar as taxas de sequestro de carbono por não haver dados disponíveis de conteúdo de carbono no sedimento. A Ria Formosa é o único sistema sobre o qual existem dados de taxas de sequestro de carbono para as ervas marinhas e para um dos três subtipos de sapal, o sapal baixo (**Tabela 9**).

Tabela 9. Disponibilidade de dados para os cálculos de stocks e taxas de sequestro de carbono no sedimento em cada um dos sistemas de estudo.

Sistema	Stocks sapal	Taxas sapal	Stocks ervas marinhas	Taxas ervas marinhas
Ria de Aveiro	Sim (5 espécies)	Não	Sim (1 espécie)	Não
Estuário do Mondego	Não	Não	Não	Não
Lagoa de Óbidos	Não	Não	Não	Não
Estuário do Tejo	Não	Não	Não	Não
Estuário do Sado	Não	Não	Não	Não
Estuário do Mira	Não	Não	Não	Não
Ria de Alvor	Não	Não	Não	Não
Estuário do Arade	Não	Não	Não	Não
Ria Formosa	Sim (3 subtipos)	Sim (1 subtipo)	Sim (2 subtipos)	Sim (2 subtipos)
Estuário do Guadiana	Não	Não	Não	Não

5.4 Qualidade dos dados

A qualidade dos dados para estimar os stocks de carbono azul em Portugal foi maioritariamente baixa (0 ou 1) para os dados de vegetação (nível 2) e de sedimento (nível 3) (**Figura 13**). Por outro lado, os dados de nível 1 – geográficos/áreas são de maior qualidade (2 e 3), existindo dados completos para a maioria dos sistemas e ECAs, se bem que muitos deles estão desatualizados (**Figura 13**).

Os sistemas com maior deficiência de dados foram, em geral, os mais pequenos (Lagoa de Óbidos, Ria de Alvor, Estuário do Arade, Estuário do Guadiana), enquanto os de maior extensão, como a Ria Formosa, a Ria de Aveiro, o Estuário do Sado e o Estuário do Tejo, apresentaram uma maior qualidade de dados (**Figura 14**). O sistema que apresentou dados de maior qualidade foi a Ria Formosa, que apresentou qualidade máxima em todos os níveis de variáveis, exceto de vegetação e de taxas de sequestro de carbono de sapal (**Figura 14**).

Figura 13. Número de sistemas por cada categoria de qualidade dos dados (numa escala de 0 a 3) nos três níveis (área, vegetação e sedimento) para cada tipo de ecossistemas de carbono azul, as ervas marinhas e o sapal.

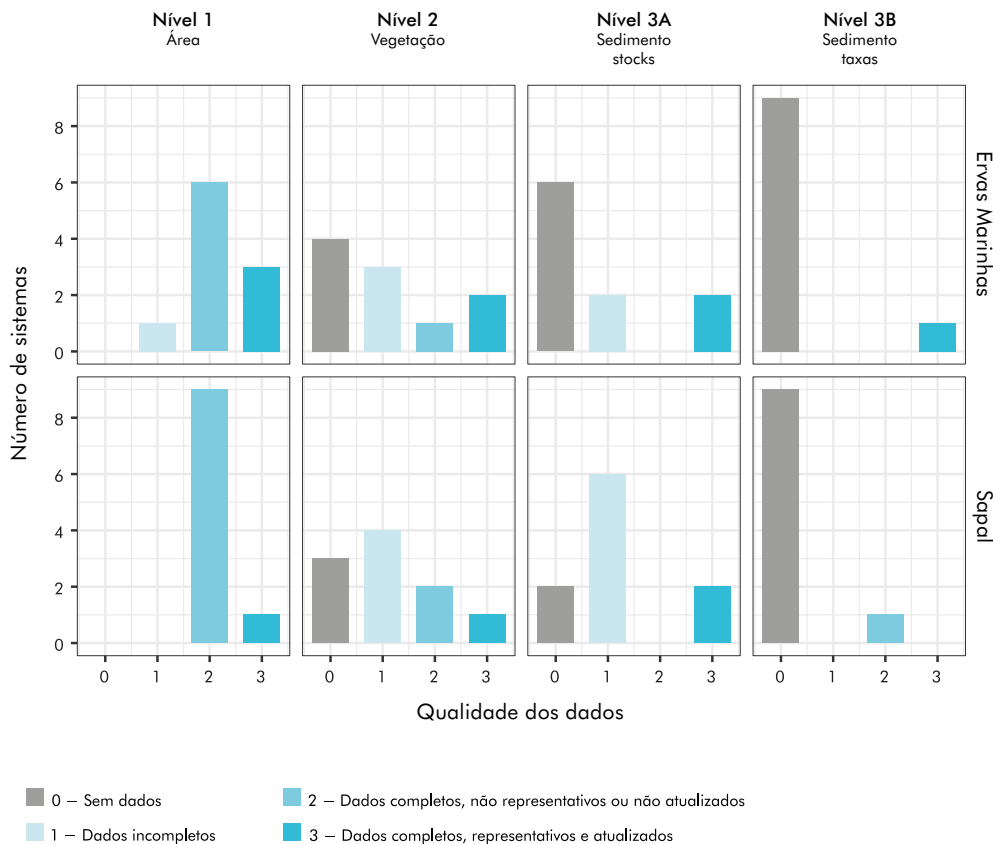
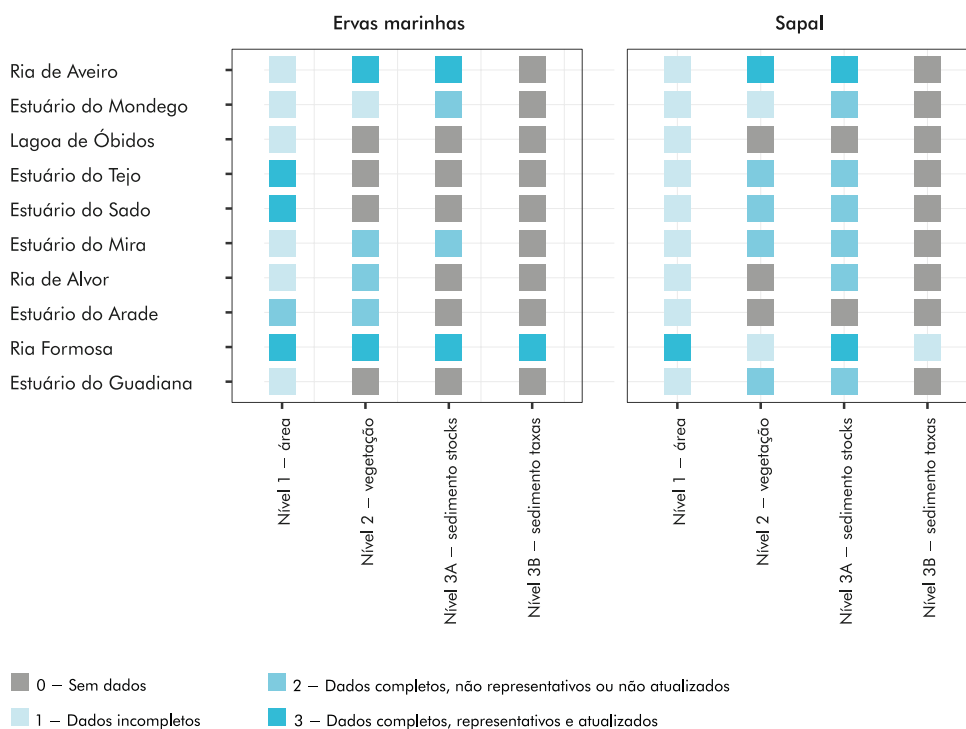


Figura 14. Qualidade dos dados (numa escala de 0 a 3) nos três níveis (área, vegetação e sedimento) para cada tipo de ecossistemas de carbono azul – ervas marinhas e sapal, nos sistemas de estudo.



5.5 Estimativas de armazenamento e sequestro de carbono

5.5.1 Stocks de carbono

Estima-se que haja um stock de carbono de 845 Gg nos ECA de Portugal continental, com 87% armazenado nas áreas de sapal (733 Gg) e 13% nas pradarias de ervas marinhas (113 Gg) (**Tabela 10**). Nas ervas marinhas, 98% do carbono encontra-se armazenado no sedimento e apenas 2% na biomassa, valor que aumenta para 13% no sapal (**Figura 15**).

A Ria Formosa é o sistema que contribui em maior proporção para o stock total nacional de carbono (38%), seguido da Ria de Aveiro (30%), do Estuário do Tejo (21%) e do Estuário do Sado (8%). Os restantes sistemas têm uma contribuição de 1% ou menos (**Tabela 10**, **Figura 16**). A maior parte do stock nacional de carbono das pradarias de ervas marinhas encontra-se na Ria Formosa (75%), seguindo-se o Estuário do Sado (16%) (**Figura 17**). O stock de carbono nas ervas marinhas da Ria de Aveiro deve estar subestimado, uma vez que só estavam disponíveis dados para a camada mais superficial do sedimento (Sousa et al., 2019). A Ria Formosa (32%), a Ria de Aveiro (34%), o Estuário do Tejo (23%) e o Estuário do Sado (7%) são os sistemas com os maiores stocks de carbono de sapal (**Figura 18**).

Tabela 10. Stock de carbono armazenado nos dois ecossistemas de carbono azul – ervas marinhas e sapal, em cada um dos sistemas de estudo.

Sistema	Stock C Sapal (Gg)	% Sapal	Stock C Ervas marinhas (Gg)	% Ervas marinhas	Stock Total (Gg) (sapal + ervas marinhas)	% sobre o total
Ria de Aveiro	252,1	34	0,5	< 1	252,6	30
Estuário do Mondego	1,9	< 1	1,4	1	3,3	< 1
Lagoa de Óbidos	0,9	< 1	< 0,1	< 1	0,9	< 1
Estuário do Tejo	167,5	23	6,2	5	173,6	21
Estuário do Sado	48,4	7	18,3	16	66,7	8
Estuário do Mira	6,4	1	1,3	1	7,7	1
Ria de Alvor	4,2	1	0,2	< 1	4,5	1
Estuário do Arade	6,9	1	< 0,1	< 1	6,9	1
Ria Formosa	235,1	32	84,4	75	319,5	38
Estuário do Guadiana	9,2	1	0,5	< 1	9,6	1
TOTAL	732	87	113	13	845	100

Figura 15. Stock de carbono na biomassa da vegetação e no sedimento dos ecossistemas de carbono azul – ervas marinhas e sapal, em Portugal continental.

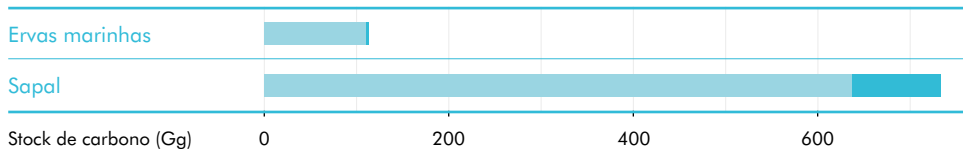


Figura 16. Stock de carbono nos ecossistemas de carbono azul – ervas marinhas e sapal, em cada um dos sistemas de estudo.

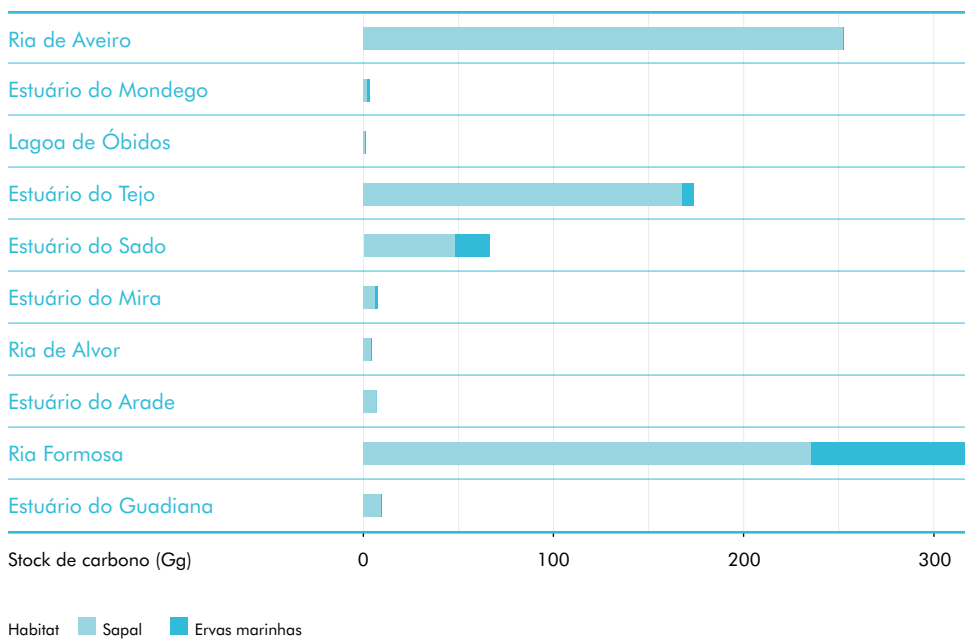


Figura 17. Stock de carbono nas pradarias de ervas marinhas de cada um dos sistemas de estudo, ordenados do maior para o menor pela sua contribuição ao stock total das ervas marinhas (%).

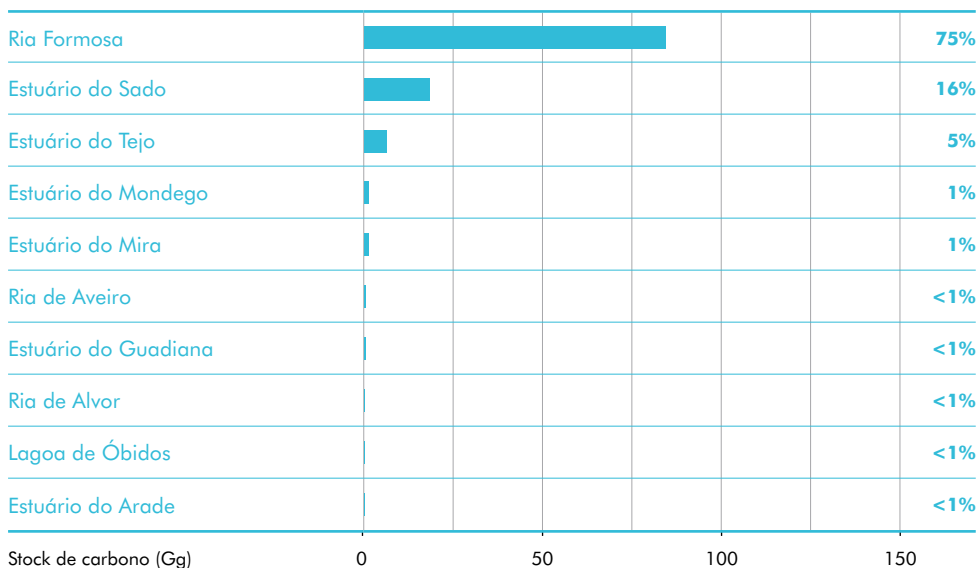
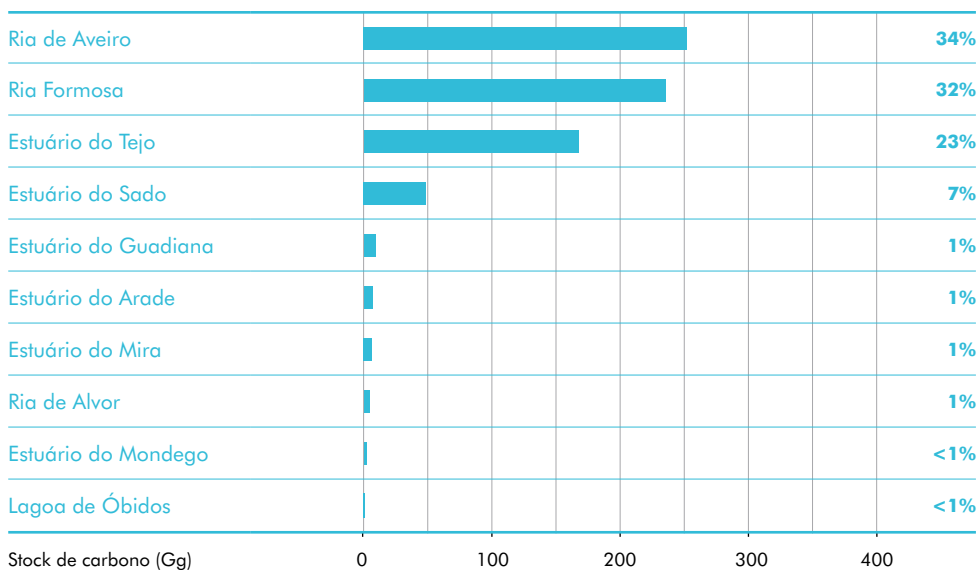


Figura 18. Stock de carbono nos sapais de cada um dos sistemas de estudo, ordenados por ordem decrescente da sua contribuição para o stock total do sapal (%).



5.5.2. Taxas de sequestro de carbono

Estima-se que o sequestro anual de carbono nos ECA de Portugal continental seja de 3 717 Mg, com 79% sequestrado nas áreas de sapal (2 930 Mg ano⁻¹) e 21% nas pradarias de ervas marinhas (787 Mg ano⁻¹) (**Tabela 11**).

A Ria Formosa é o sistema que contribui em maior proporção para o sequestro de carbono nacional, com 40% do total, seguido da Ria de Aveiro (31%), do Estuário do Tejo (15%) e do Estuário do Sado (10%). Os restantes sistemas têm uma contribuição de 1% ou menos (**Tabela 11, Figura 19**). Relativamente ao sequestro de carbono nas pradarias de ervas marinhas, a Ria Formosa (62%), a Ria de Aveiro (16%) e o Estuário do Sado (14%) são os sistemas com uma maior contribuição (**Figura 20**), enquanto no sapal são a Ria Formosa (35%), a Ria de Aveiro (34%), e o Estuário do Tejo (18%) (**Figura 21**).

Tabela 11. Taxa de sequestro de carbono orgânico no sedimento estimada nos dois ecossistemas de carbono azul – ervas marinhas e sapal, em cada um dos sistemas de estudo.

Sistema	Taxa sapal (Mg ano ⁻¹)	% Sapal sobre o total	Taxa ervas marinhas (Mg ano ⁻¹)	% Ervas marinhas sobre o total	Taxa total (Mg ano ⁻¹) <small>(sapal + ervas marinhas)</small>	% Sobre o total
Ria de Aveiro	1 009	34	127	16	1 136	30
Estuário do Mondego	16	1	9	1	24	1
Lagoa de Óbidos	5	< 1	< 1	< 1	5	< 1
Estuário do Tejo	514	18	38	5	552	15
Estuário do Sado	245	8	110	14	355	10
Estuário do Mira	36	1	8	1	45	1
Ria de Alvor	21	1	1	< 1	22	1
Estuário do Arade	34	1	< 1	< 1	34	1
Ria Formosa	1 013	35	490	62	1 503	40
Estuário do Guadiana	37	1	3	< 1	40	1
TOTAL	2 930	79	787	21	3 717	100

Figura 19. Taxa de sequestro de carbono orgânico no sedimento dos dois ecossistemas de carbono azul – ervas marinhas e sapal, em cada um dos sistemas de estudo.

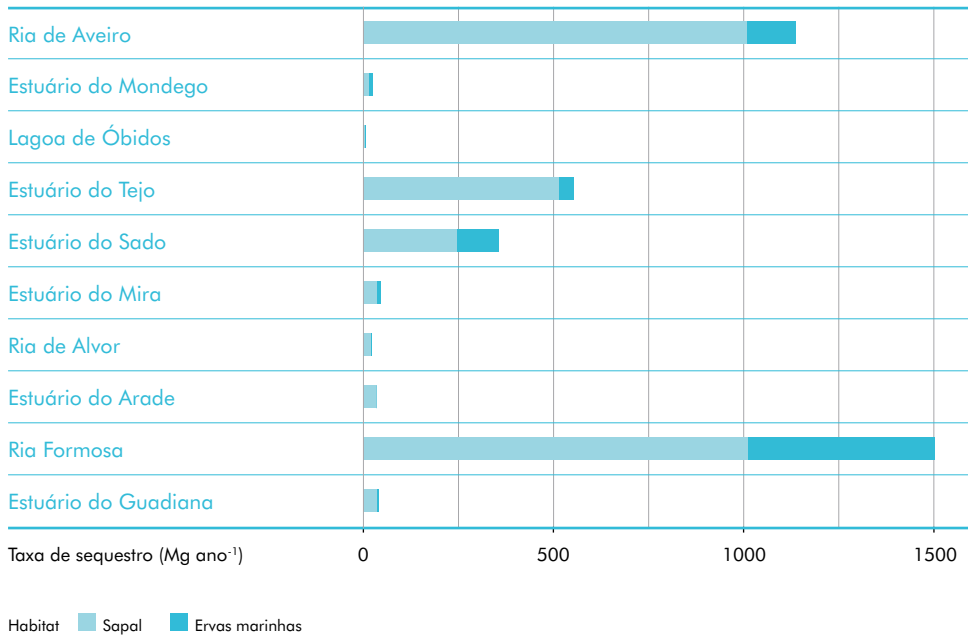


Figura 20. Taxa de sequestro de carbono orgânico no sedimento das pradarias de ervas marinhas em cada um dos sistemas de estudo, ordenados por ordem decrescente da sua contribuição para o sequestro total das ervas marinhas (%).

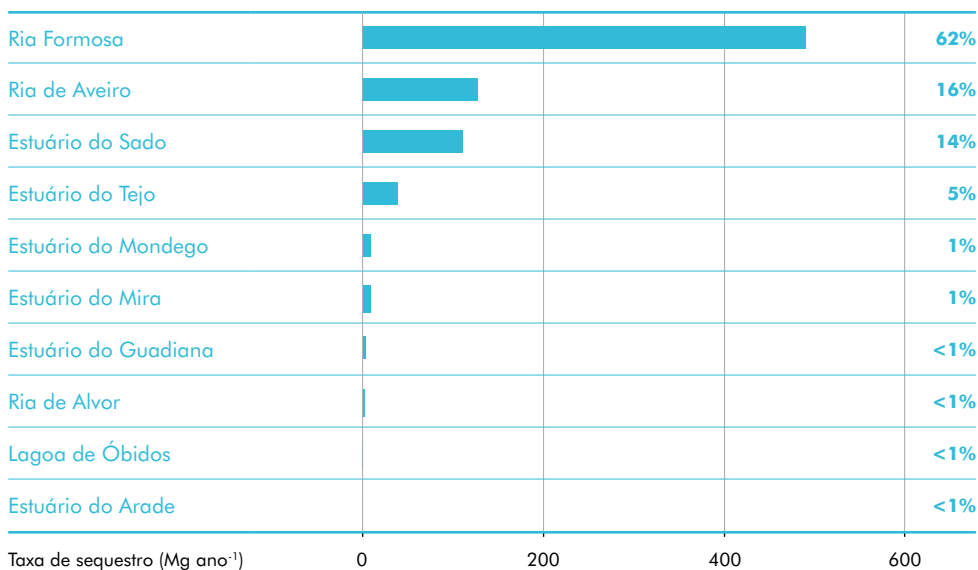
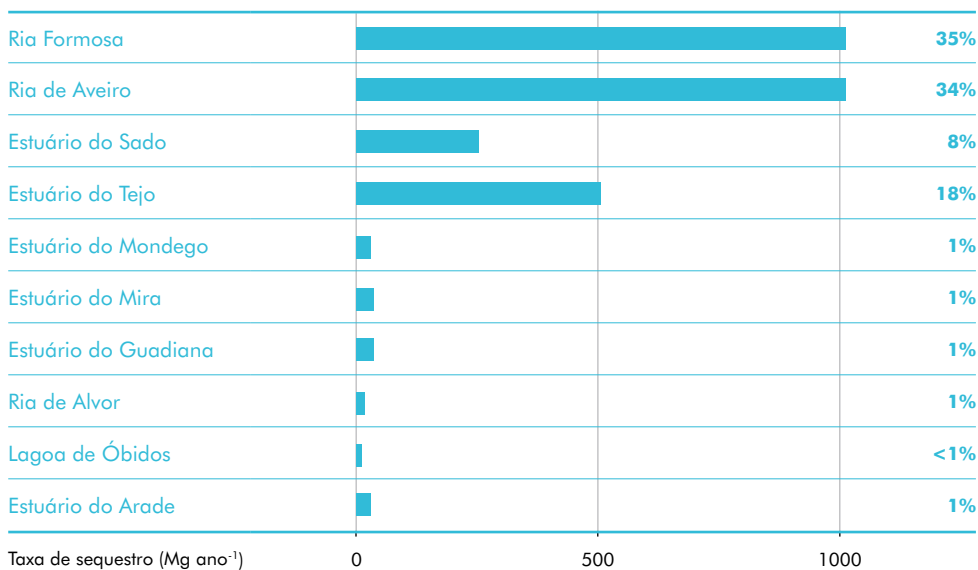


Figura 21. Taxa de sequestro de carbono orgânico no sedimento do sapal em cada um dos sistemas de estudo, ordenados por ordem decrescente da sua contribuição para o sequestro total do sapal (%).



5.6. Estatutos de proteção

Todos os sistemas, à exceção da Lagoa de Óbidos, apresentam algum estatuto de proteção, quer seja ao nível nacional no âmbito da Rede Nacional de Áreas Protegidas (RNAP), quer ao nível europeu no âmbito da Rede Natura 2000, com as figuras de Sítio de Importância Comunitária (SIC) ou de Zona de Proteção Especial (ZPE) ou como zonas húmidas designadas de importância internacional pela Convenção de Ramsar (Sítios Ramsar) (**Tabela 12**).

Ao nível nacional, apenas dois sistemas com ECA se encontram designados como parques naturais, que são a Ria Formosa (Parque Natural da Ria Formosa) e o Estuário do Mira, que está integrado no Parque Natural do Sudoeste Alentejano e Costa Vicentina. Os estuários do Tejo, do Sado e do Guadiana estão classificados como Reserva Natural, se bem que nem sempre a área protegida abranja a totalidade dos ECA (mais informação nas fichas técnicas, Relatório Científico II: Os 10 principais ecossistemas de carbono azul em Portugal continental). Parte da Ria de Aveiro está também protegida como Reserva Natural, a Reserva Natural das Dunas de São Jacinto, mas esta reserva não inclui zonas húmidas. Ao nível da União Europeia, oito dos sistemas estuarino-lagunares portugueses fazem parte da Rede Natura 2000 como SICs ou como SICs e ZPEs, sendo que seis deles estão reconhecidos como sítios Ramsar (**Tabela 12**).

Tabela 12. Estatutos de proteção presentes nos sistemas com ecossistemas de carbono azul em Portugal continental.

Sistema	Sítio Ramsar	SIC (Natura 2000)	ZPE (Natura 2000)	Parque Natural (RNAP)	Reserva Natural (RNAP)
Ria de Aveiro	-	PTCON0061	PTZPE0004	-	DL n.º 41/79*
Estuário do Mondego	n.º 1617	-	-	-	-
Lagoa de Óbidos	-	-	-	-	-
Estuário do Tejo	n.º 211	PTCON0009	PTZPE0010	-	DL n.º 565/76
Estuário do Sado	n.º 826	PTCON0011	PTZPE0011	-	DL n.º 430/80
Estuário do Mira	-	PTCON0012	PTZPE0015	DL n.º 241/88	-
Ria de Alvor	n.º 827	PTCON0058	-	-	-
Estuário do Arade	-	PTCON0052	-	-	-
Ria Formosa	n.º 212	PTCON0013	PTZPE0017	DL n.º 373/87	-
Estuário do Guadiana	n.º 829	PTCON0013	PTZPE0018	-	DL n.º 162/75
N.º de sistemas	6	8	6	2	4

SIC: Sítio de Importância Comunitária | ZPE: Zona de Proteção Especial | RNAP: Rede Nacional de Áreas Protegidas | DL: Decreto-Lei.

* Não abrange zonas húmidas

Em resumo, cinco dos sistemas estuarino-lagunares não apresentam nenhum tipo de estatuto de proteção ao nível nacional (Ria de Aveiro, Estuário do Mondego, Lagoa de Óbidos, Ria de Alvor e Estuário do Arade), dois não fazem parte da Rede Natura 2000 (Estuário do Mondego e Lagoa de Óbidos) e quatro não estão reconhecidos como zonas húmidas de importância internacional pela Convenção Ramsar (Ria de Aveiro, Lagoa de Óbidos, Estuário do Mira, e Estuário do Arade).

Por outro lado, mesmo nos sistemas com estatuto de proteção, a sobreposição das áreas de sapal e de pradarias de ervas marinhas com os limites das áreas classificadas mostrou que há áreas de ECA que não se encontram legalmente protegidas (mais informação nas fichas técnicas, Relatório Científico II: Os 10 principais ecossistemas de carbono azul em Portugal continental).

5.7 Qualidade ambiental e ameaça

5.7.1 Qualidade ambiental

Os sistemas de estudo incluem um total de 37 massas de águas categorizadas no Plano de Gestão de Região Hidrográfica (3º Ciclo, 2022 - 2027; APA, 2022): a Ria de Aveiro e o Estuário do Mondego na região de Vouga, Mondego e Lis (RH4A); a Lagoa de Óbidos e o Estuário do Tejo na região do Tejo e Ribeiras do Oeste (RH5A); o Estuário do Sado e o Estuário do Mira na região de Sado e Mira (RH6); a Ria de Alvor, o Estuário do Arade e a Ria Formosa na região das Ribeiras do Algarve (RH8); e o Estuário do Guadiana na região do Guadiana (RH7). Do total das 37 massas de água, 8 são águas costeiras (na Ria Formosa, da Ria de Alvor e na Lagoa de Óbidos) e 29 são águas de transição (os restantes sistemas).

O estado ecológico das massas de água avaliado com base em elementos biológicos (peixes, macroinvertebrados bentónicos, fitoplâncton, ervas marinhas, sapais) na última monitorização de 2019, foi maioritariamente *Razoável* (49%) ou *Bom* (32%); 5 massas de água foram classificadas como *Medíocre*, 1 como *Mau* e 1 como *Excelente* (**Figura 22**). Os sistemas que apresentaram massas de água com estados ecológicos piores que *Razoável* foram a Ria de Aveiro, o Estuário do Mondego, o Estuário do Arade e o Estuário do Guadiana (**Figura 22**).

5.7.2 Pressões e ameaças

Segundo o relatório de diagnóstico e caracterização das massas de água dos sistemas de estudo elaborado pela APA em 2019 (APA, 2022), as infraestruturas portuárias (cais, marinhas, portos, etc.) e a poluição (pontual e difusa, devido aos setores industrial, urbano e turístico) são as pressões mais frequentes (**Figura 23**). Outras ameaças são a alteração do leito dos rios e das lagoas, as intervenções costeiras (por exemplo, a construção de quebra-mares, diques, pontões, etc.), a introdução de espécies exóticas e a remoção de inertes (por exemplo, por dragagem) (**Figura 23**). Estas pressões poderão ter um efeito negativo direto ou indireto sobre os ECA. Para detalhes sobre estas pressões e outras ameaças em cada sistema, consultar as fichas técnicas (Relatório Científico II: Os 10 principais ecossistemas de carbono azul em Portugal continental).

Figura 22. Número de massas de água e o estado ecológico (baseado em elementos biológicos) em cada um dos sistemas de estudo.

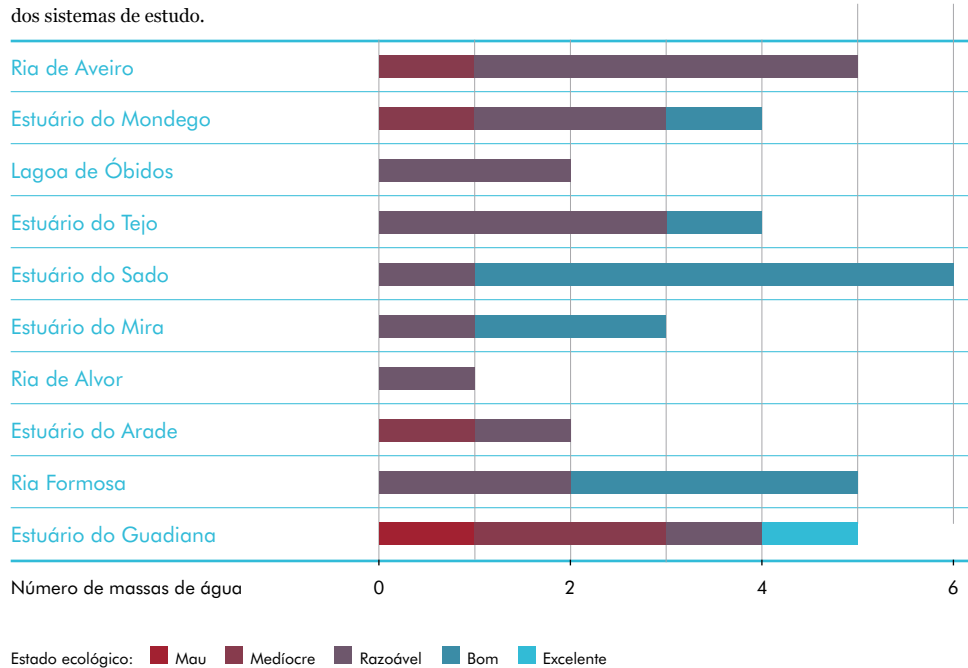
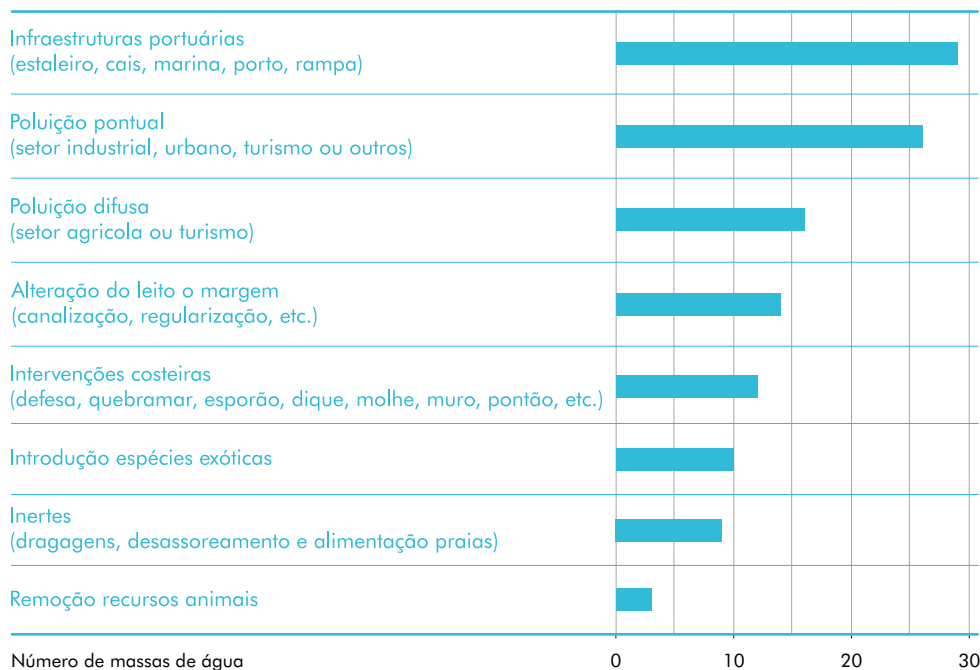


Figura 23. Número de massas de água dos sistemas de estudo ameaçadas por diferentes categorias de pressões humanas, em todos os sistemas de estudo.



5.7.3 Declínio dos ecossistemas de carbono azul

É difícil quantificar com precisão a variação das áreas de ECA ao longo do tempo, uma vez que os métodos usados para o seu mapeamento foram diversos e, sobretudo, porque os critérios de classificação dos habitats não foram os mesmos, particularmente no caso do sapal. Diferentes tipos de sapal foram considerados em diferentes trabalhos, sendo muitas vezes impossível determinar se as áreas de sapal mapeadas foram de sapal natural ou de sapal reclamado para outras atividades (uso para aquacultura ou salinas). Na base de dados que foi coligida neste trabalho, a soma das áreas históricas de sapal referidas em cada sistema de estudo foi de 15 042 ha (área de referência) e a área total avaliada mais recentemente foi de 10 040 ha, o que representa uma perda de 33% em relação à área total de referência. Este parece ser um valor credível tendo em conta que, na Ria Formosa, Sousa et al., (2020) reportaram uma perda de 20% de sapal em relação à área estimada no final do século XIX.

No caso das ervas marinhas, a área de referência obtida foi de 1 867 ha e a área atual de 1 648 ha, o que representa um decréscimo de 10%. Esta perda refere-se apenas ao período mais recente em que há estimativas das áreas ocupadas por ervas marinhas. Do ponto de vista histórico, a estimativa de perda está certamente subavaliada, uma vez que há relatos de pradarias de ervas marinhas que desapareceram de zonas onde historicamente eram muito abundantes (Cunha et al., 2013), mas que não são consideradas neste trabalho por não haver dados quantitativos sobre as áreas ocupadas. Para mais detalhes sobre a avaliação ao longo do tempo dos ECAs nos sistemas de estudo, e as causas do seu declínio, consultar as fichas técnicas (Relatório Científico II: Os 10 principais ecossistemas de carbono azul em Portugal continental).

5.8 Medidas de intervenção

5.8.1 Monitorização

A qualidade dos dados sobre os ECA da costa portuguesa é em geral muito baixa, à exceção da distribuição e do mapeamento em cada sistema (**Figura 14**). No entanto, mesmo este tipo de dados estão na sua maioria desatualizados e foram obtidos com metodologias diversas, o que dificulta a avaliação da evolução temporal dos ECA em cada sistema e a comparações entre sistemas. É de particular relevância avaliar com precisão as áreas dos ECAs que foram reclamadas ao longo do tempo para usos diversos e que poderão ser alvo de projetos de restauro, recuperando a capacidade de sequestro de carbono e os cobenefícios relativos aos serviços ecossistémicos perdidos. Propõe-se, por isso, que a distribuição atual dos ECAs da costa portuguesa seja mapeada usando metodologias de deteção remota de última geração, que têm sido recentemente desenvolvidas usando algoritmos de inteligência artificial para cartografar os habitats alvo (Pham et al., 2019), e que seja implementado um programa de monitorização a breve prazo, de modo a se poder avaliar mudanças significativas na extensão dos ECAs e, conseqüentemente, no seu

potencial de sequestro de carbono. Esta informação é essencial para se implementarem políticas de proteção, sustentabilidade e conservação destes ecossistemas.

No que respeita aos dados necessários para as estimativas dos stocks e das taxas de sequestro de carbono azul dos ECA do país, tem de se realçar que não existem dados apropriados específicos para cada sistema, pelo que as estimativas apresentadas neste relatório são demasiado imprecisas para poderem ser usadas como linha de base para projetos de compensação de emissões de carbono ou para estimar a contribuição dos ECA para as emissões nacionais de gases com efeito de estufa. A única exceção a este quadro é a Ria Formosa, onde os stocks e as taxas de sequestro de carbono estão bem avaliados (até à profundidade de 1 m, como é internacionalmente estipulado), muito embora os dados do sapal médio e alto sejam demasiado pontuais. A variação espacial dos stocks e das taxas de sequestro de carbono é elevada, mesmo dentro do mesmo sistema (Martins et al., 2022; de los Santos et al., 2022), pelo que o uso de dados da Ria Formosa para as estimativas realizadas nos outros sistemas da costa portuguesa, como foi feito neste relatório, é cientificamente inapropriada. É, portanto, fundamental implementar a avaliação *in situ* dos stocks e das taxas de sequestro dos ECA da costa portuguesa.

5.8.2 Proteção

A maior parte dos sistemas estuarino-lagunares da costa portuguesa têm estatutos de proteção nacional ou internacional, à exceção da Lagoa de Óbidos. Em alguns dos sistemas avaliados, nem toda a área de ECA está dentro dos limites das figuras de proteção, mas estas áreas são reduzidas em comparação com as que têm estatuto de proteção.

Recomenda-se reforçar as medidas de proteção e conservação das áreas ocupadas por ECA e apoiar algumas iniciativas atualmente em curso, como por exemplo, a criação de um Parque Natural da Região de Aveiro ou a candidatura para declarar a Lagoa de Óbidos como Zona Húmida de Interesse Internacional no âmbito da Convenção de Ramsar.

5.8.3 Restauro

O restauro ecológico pode ser do tipo passivo ou ativo. O restauro passivo acontece quando se removem os fatores que levaram ao declínio do ecossistema por forma que este recupere naturalmente sem intervenção direta. No restauro ativo, são implementadas técnicas de gestão que visam acelerar a recuperação natural, tais como a plantação de sementes, de plântulas ou de plantas adultas.

Os ECA nos sistemas estuarino-lagunares portugueses têm sido historicamente sujeitos a grandes pressões antropogénicas que resultaram na reclamação de grandes áreas naturais para uma série de outras utilizações, como a agricultura, o desenvolvimento urbanístico e portuário, a aquacultura, a produção de sal, etc. Estas áreas, previamente ocupadas por

ECA e que estão presentemente inativas, devem ser consideradas prioritárias para o restauro passivo destes ecossistemas, desde que se reconstituam as condições ambientais propícias para o seu desenvolvimento. Métodos de ecoengenharia de intervenção nos muros e nas cotas de nível (Portela, 2004) devem ser usados para restabelecer o regime hídrico das marés e a topografia adequada ao natural estabelecimento de ervas marinhas subtidais e intertidais e, acima destas, de sapal baixo, médio e alto. Propõe-se o levantamento destas áreas inativas nos sistemas estuarino-lagunares da costa portuguesa, à semelhança do que foi feito para a região do Algarve pela APA (Furtado et al., 2021). É preciso ter em conta que o restauro ecológico de ervas marinhas e de sapal demora bastante tempo até atingir os valores iniciais de stocks de carbono. Por exemplo, um sapal restaurado em Huelva, passados 2,5 anos do restauro, ainda apresentava um stock de carbono no sedimento cerca de 5 vezes mais baixo do que o de sapais naturais (Curado et al., 2013).

O restauro ecológico ativo deve ser feito de forma a não danificar as populações naturais, que geralmente são utilizadas como dadoras de transplantes. É crucial desenvolver metodologias de cultivo de plantas de sapal e de ervas marinhas em grande escala (van Katwijk et al., 2021). No caso das plantas de sapal, por serem plantas terrestres, métodos agrícolas convencionais podem ser utilizados a partir da germinação de sementes. No caso das ervas marinhas, em muito casos é difícil obter rebentos viáveis a partir de sementes para serem utilizados em projetos de restauro de grande escala (Cabaço & Santos, 2010; Alexandre et al., 2018), pelo que a melhor estratégia é cultivar ervas marinhas em sistemas seminaturais, por exemplo em áreas artificializadas inativas onde as condições ambientais possam ser controladas.

VI. Bibliografia

- APA, Agência Portuguesa do Ambiente (2019). *Roadmap for carbon neutrality 2050 (RNC2050), long-term strategy for carbon neutrality of the Portuguese Economy by 2050*. 102 pp. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/RNC2050_EN_PT%20Long%20Term%20Strategy.pdf
- APA, Agência Portuguesa do Ambiente. (2022). Plano de Gestão de Região Hidrográfica, 3º Ciclo 2022 – 2027. <https://www.apambiente.pt/node/1598> [Acedido 2 de setembro de 2022].
- Alexandre, A., Silva, J., & Santos, R. (2018). Light Is More Important Than Nutrient Ratios of Fertilization for *Cymodocea nodosa* Seedling Development. *Frontiers in Plant Science*, 9, 768. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00768>
- Cabaço, S., & Santos, R. (2010). Reproduction of the eelgrass *Zostera marina* at the species southern distributional limit in the Eastern Atlantic. *Marine Ecology*, 31(2), 300–308. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0485.2009.00331>
- Carapeto, A., Francisco, A., Pereira, P., & Porto, M. (eds.) (2020). Lista vermelha da flora vascular de Portugal continental. Sociedade Portuguesa de Botânica e Associação Portuguesa de Ciência da Vegetação – PHYTOS e Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (coord.) Coleção “Botânica em Português”, Volume 7. Lisboa. Imprensa Nacional, 374 pp. <https://listavermelha-flora.pt/>
- Comissão OSPAR (1992). Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-east Atlantic.
- Conselho da Europa, 1979. Convenção Relativa à Protecção da Vida Selvagem e do Ambiente Natural na Europa.
- Cunha, A. H., Assis, J. F., and Serrão, E. A. (2013). Seagrasses in Portugal: a most endangered marine habitat. *Aquatic Botany*, 104, 193-203. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2011.08.007>
- Curado, G., Rubio-Casal, A.E., Figueroa, E. et al. Native plant restoration combats environmental change: development of carbon and nitrogen sequestration capacity using small cordgrass in European salt marshes. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185, 8439–8449. <https://doi.org/10.1007/s10661-013-3185-4>
- de los Santos, C. B., Lahuna, F., Silva, A., Freitas, C., Martins, M., Carrasco, A. R., & Santos, R. (2022). Vertical intertidal variation of organic matter stocks and patterns of sediment deposition in a mesotidal coastal wetland. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 272, 107896. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2022.107896>

Duarte, C. M., Middelburg, J. J., & Caraco, N. (2005). Major role of marine vegetation on the oceanic carbon cycle. *Biogeosciences*, 2(1), 1–8. <https://doi.org/10.5194/bg-2-1-2005>

Furtado, A., Gaspar, P., & Correia, S. (2021). Áreas artificializadas nas zonas estuarinas e lagunares, região hidrográfica RH8. Levantamento cartográfico e sugestões para a recuperação/reconversão de áreas artificializadas degradadas (p. 19) [Relatório técnico]. Agência Portuguesa do Ambiente, Administração da Região Hidrográfica do Algarve.

Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Pidgeon, E., & Telszewski, M. (2014). *Coastal blue carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrass meadows* (p. 186) [Manual]. Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, International Union for Conservation of Nature.

Lei n.º 98/2021 de 31 de dezembro, Lei de Bases do Clima. Diário da República n.º 253/2021, Série I de 2021-12-31, páginas 5 - 32. <https://data.dre.pt/eli/lei/98/2021/12/31/p/dre/pt/html>

Li, F., Bond-Lamberty, B., & Levis, S. (2014). Quantifying the role of fire in the Earth system – Part 2: Impact on the net carbon balance of global terrestrial ecosystems for the 20th century. *Biogeosciences*, 11(5), 1345–1360. <https://doi.org/10.5194/bg-11-1345-2014>

Martins, M., de los Santos, C. B., Masque, P., Carrasco, A. R., Veiga-Pires, C., & Santos, R. (2022). Carbon and nitrogen stocks and burial rates in intertidal vegetated habitats of a mesotidal coastal lagoon. *Ecosystems*, 25(2), 372–386. <https://doi.org/10.1007/s10021-021-00660-6>

Martins, A. R. O., & Bandeira, S. O. (2001). Biomass distribution and leaf nutrient concentrations and resorption of *Thalassia hemprichii* at Inhaca Island, Mozambique. *South African Journal of Botany*, 67(3), 439–442. [https://doi.org/10.1016/S0254-6299\(15\)31161-3](https://doi.org/10.1016/S0254-6299(15)31161-3)

Mcowen, C. J., Weatherdon, L. V., Van Bochove, J. W., Sullivan, E., Blyth, S., et al. (2017). A global map of saltmarshes. *Biodiversity data journal*, 5, e11764. <https://doi.org/10.3897/BDJ.5.e11764>

Nellemann, C., Corcoran, E., Duarte, C. M., Valdrés, L., Young, C. D., Fonseca, L., & Grimsditch, G. (2009). Blue Carbon: The Role of Healthy Oceans in Binding Carbon. UN Environment, GRID-Arendal. <http://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/7772>

Ouyang, X., & Lee, S. Y. (2014). Updated estimates of carbon accumulation rates in coastal marsh sediments. *Biogeosciences*, 11(18), 5057–5071. <https://doi.org/10.5194/bg-11-5057-2014>

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>

Pham, T. D., Xia, J., Ha, N. T., Bui, D. T., Le, N. N., & Tekeuchi, W. (2019). A review of remote sensing approaches for monitoring blue carbon ecosystems: Mangroves, seagrasses and salt marshes during 2010–2018. *Sensors*, 19(8), 1933. <https://doi.org/10.3390/s19081933>

Phillips, R. C., & McRoy, C. P. (Eds.). (1990). *Seagrass Research Methods*. UNESCO. 210 pp.
<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pfo000004630>

Portela, L. (2004). *Recuperação de Áreas de Sapal – Conceito, métodos e sua aplicação em Portugal*. 7º Congresso da Água.

The Ramsar Convention Secretariat, 1971. *The Ramsar Sites Criteria*. Ramsar, Iran: Ramsar.org.

Rohatgi, A. (2022). *WebPlotDigitizer* (4,6). <https://automeris.io/WebPlotDigitizer>

Sousa, C. A. M., Cunha, M. E., & Ribeiro, L. (2020). Tracking 130 years of coastal wetland reclamation in Ria Formosa, Portugal: Opportunities for conservation and aquaculture. *Land Use Policy*, 94, 104544. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104544>

Ficha Técnica

FUNDAÇÃO CALOUSTE GULBENKIAN

Relatório científico I

Avaliação dos ecossistemas de carbono azul em Portugal continental

Relatório produzido no âmbito do projeto Gulbenkian Carbono Azul

AUTORES

Rui Santos

Paula Ito

Carmen B. de los Santos

COORDENAÇÃO EDITORIAL

Sofia Barbeiro (coordenadora)

Clara Vilar

Patrícia Fernandes

AGRADECIMENTOS

Ricardo Melo

Ricardo Mendes

Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

Raquel Gaspar

Ocean Alive

CAPA

Ria Formosa © Carmen B. de los Santos – CCMAR

DESIGN GRÁFICO

Andreia Constantino

Catarina Castro

Inês Bento

ISBN

978-989-8380-45-6

DEPÓSITO LEGAL

521327/23

SETEMBRO 2023

—

CITAÇÃO

Santos, R., Ito, P., de los Santos, C.B. (2023). *Relatório Científico I: Avaliação dos ecossistemas de carbono azul em Portugal continental*. Projeto Gulbenkian Carbono Azul.

Relatório científico. Centro de Ciências do Mar. Faro, setembro 2023. 56 pp."

